МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

РОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ»

(грант РФФИ 13-08-06853)



Том 1

Томск
3-4 декабря 2013 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ»

СБОРНИК ТРУДОВ РОССИЙСКОЙ МОЛОДЕЖНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

В двух томах

Том 1

Томск - 2013

УДК 620.9+621.3(063)
ББК 31+31.2л.0
Э651

Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: сборник трудов Российской молодежной научной конференции. В 2 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ООО «СКАН», 2013. – 429 с.

Настоящий сборник содержит материалы Российской молодежной научной конференции, проведенной 3-4 декабря 2013 г. на базе ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». Основной целью проекта является развитие научного потенциала молодых исследователей в области электроэнергетики и электромеханики, активизация процесса обмена новыми идеями и разработками, стимулирование творческого мышления среди молодежи.

УДК 620.9+621.3(063)
ББК 31+31.2л.0

Редакционная коллегия:

Ивашутенко А.С., к.т.н., доцент каф. ЭПП ЭНИН ТПУ
Богданов Е.П., к.т.н., доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ
Усачева Т.В., к.т.н., доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ

Редакционная коллегия уведомляет:
труды конференции представлены в авторской редакции

Российская молодежная научная конференции «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи» проводится по гранту РФФИ 13-08-06853

© Авторы, 2013

Состав организационного и программного комитетов
Российской молодежной научной конференции
**«Энергетика, электромеханика
и энергоэффективные технологии
глазами молодежи»**

Пестряков А.Н.	д.х.н., профессор, проректор по научной работе и инновациям ТПУ, председатель оргкомитета
Боровиков Ю. С.	к.т.н., доцент, проректор-директор ЭНИН ТПУ, сопредседатель оргкомитета
Стрижак П.А.	д.ф.-м.н., профессор, зам. директора ЭНИН ТПУ по научной работе
Прохоров А.В.	к.т.н., доцент, зам. директора ЭНИН ТПУ по учебной работе.
Ивашутенко А.С.	к.т.н., доцент каф. ЭПП ЭНИН ТПУ, руководитель проекта
Муравлев О.П.	д.т.н., профессор каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, председатель секции 1, круглого стола 4
Анненков Ю.М.	д.ф.-м.н., профессор каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, председатель секции 2, круглого стола 3
Богданов Е.П.	к.т.н., доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, зам. руководителя проекта
Усачева Т.В.	к.т.н., доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, ученый секретарь оргкомитета
Лукутин А.В.	к.т.н., доцент, начальник учебно-методического отдела ЭНИН ТПУ
Флеминг И.В.	старший преподаватель каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, секретарь секции 1
Дорохина Е.С.	ассистент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, секретарь секции 2

СЕКЦИЯ 1.
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИКЕ

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Федюк Р.С., Даниленко В.В., Комардин Д.В., Миронов К.К., Пуйка И.А.
Дальневосточный федеральный университет, Россия, г. Владивосток

Под переходным (динамическим, нестационарным) процессом или режимом в электрических цепях понимается процесс перехода цепи из одного установившегося (периодического) состояния (режима) в другое (обычно также периодическое). При установившихся, или стационарных, режимах в цепях постоянного тока напряжения и токи неизменны во времени, а в цепях переменного тока они представляют собой периодические функции времени. Установившиеся режимы при заданных и неизменных параметрах цепи полностью определяются только источником энергии. Следовательно, источники постоянного напряжения (или тока) создают в цепи постоянный ток, а источники переменного напряжения (или тока) – переменный ток той же частоты, что и частота источника энергии.

Периодическими являются режимы синусоидального и постоянного тока, а также режим отсутствия тока в ветвях цепи.

Переходные процессы возникают при любых изменениях режима электрической цепи: при подключении и отключении цепи (коммутация), при изменении нагрузки, при возникновении аварийных режимов (короткое замыкание, обрыв провода и т.д.). Изменения в электрической цепи можно представить в виде тех или иных переключений, называемых в общем случае коммутацией. Физически переходные процессы представляют собой процессы перехода от энергетического состояния, соответствующего до коммутационному режиму, к энергетическому состоянию, соответствующему послекоммутационному режиму.

Переходные процессы обычно быстро протекающие: длительность их составляет десятые, сотые, а иногда и миллиардные доли секунды. Сравнительно редко длительность переходных процессов достигает секунд и десятков секунд. Тем не менее изучение переходных процессов весьма важно, так как позволяет установить, как деформируется по форме и амплитуде сигнал, выявить превышения напряжения на отдельных участках цепи, которые могут оказаться опасными для изоляции установки, увеличения амплитуд токов, которые могут в десятки раз превышать амплитуду тока установившегося периодического процесса, а

также определять продолжительность переходного процесса. С другой стороны, работа многих электротехнических устройств, особенно устройств промышленной электроники, основана на переходных процессах. Например, в электрических нагревательных печах качество выпускаемого материала зависит от характера протекания переходного процесса. Чрезмерно быстрое нагревание может стать причиной брака, а чрезмерно медленное отрицательно оказывается на качестве материала и приводит к снижению производительности [1].

Рассмотрим переходные процессы на примере синхронной машины, в которой они возникают при изменении нагрузки, синхронизации машины и различных аварийных режимах. Изучение переходных процессов необходимо для проектирования и эксплуатации синхронных машин.

В настоящее время теория переходных процессов в синхронных машинах разработана достаточно широко. Имеются стандартные программы, позволяющие исследовать динамику с учетом нескольких полей в воздушном зазоре, нелинейностей и нескольких контуров. Большой вклад в изучение переходных процессов в синхронных машинах внесли А.И. Важнов, И.А. Глебов, А.И. Иванов-Смоленский, Е.Я. Казовский, И.И. Трещев и др [2].

Проверка электрооборудования выполняется по наиболее тяжелому в отношении токов короткого замыкания (КЗ) режиму судовых электроэнергетических систем (СЭЭС). При этом расчетным видом КЗ является трехфазное металлическое КЗ. Токи КЗ возрастают при увеличении суммарной номинальной мощности включенных параллельно генераторов, их начальной нагрузки и суммарной номинальной мощности асинхронных двигателей, работающих в соответствующих режимах. Поэтому для каждого элемента СЭЭС выбирается такой предшествующий КЗ режим, в котором все указанные мощности имеют максимальные значения [3].

Классическим методом расчёта переходных процессов называют метод расчёта, в котором решение дифференциального уравнения представляет собой сумму принужденной и свободной составляющих, а определение постоянной интегрирования, входящих в выражение для свободного тока (напряжения), производят путём совместного решения системы линейных алгебраических уравнений по известным значениям корней характеристического уравнения, а также по известным значения свободной составляющей тока (напряжения) и её производных.

Расчет переходных процессов синхронных генераторов (СГ) начинается с выбора токопроводов. Выбор кабеля и шин генератора производится по его номинальному току I_i. Для синхронных генераторов применяют трехфазные кабели марки КНР с сечением жилы, как правило,

не более 150 мм2, так как при прокладке кабелей с большим сечением жилы значительно возрастает трудоемкость электромонтажных работ. Не следует выбирать и кабели с сечением жил менее 70 мм, так как при большом числе включенных параллельно кабелей с малым сечением жил возрастают стоимость кабелей фидера генератора и потери мощности в нем, снижается термическая стойкость фидера к току короткого замыкания в нем или на выводах генератора [3].

Генераторы судовых электростанций должны иметь защиту от двух- и трехфазных замыканий, от перегрузок, от обратного тока или обратной мощности, а также от минимального напряжения. Защита генератора от внешних коротких замыканий (КЗ) осуществляется выключателями с расцепителями КЗ во всех фазах. Эта защита должна иметь выдержку времени для отстройки от ложных срабатываний при КЗ в сети. Уставка защиты от токов КЗ, как и любого другого элемента СЭЭС, должна соответствовать не менее чем 200% номинального тока [3].

Далее производится выбор расчетного режима и точек КЗ. Проверка электрооборудования выполняется по наиболее тяжелому в отношении токов КЗ режиму СЭЭС. При этом расчетным видом КЗ является трехфазное металлическое КЗ. Токи КЗ возрастают при увеличении суммарной номинальной мощности включенных параллельно генераторов, их начальной нагрузки и суммарной номинальной мощности асинхронных двигателей, работающих в соответсвующих режимах. Поэтому для каждого элемента СЭЭС выбирается такой предшествующий КЗ режим, в котором все указанные мощности имеют максимальные значения.

Сопротивление токопроводов находится по формулам

$$x = \frac{x_{1M} \cdot l}{n_к}; \qquad r = \frac{r_{1M} \cdot l}{n_к},$$

где x_{1i} и r_{1i} – фазные индуктивное и активное сопротивления одного метра кабелей или шин, которые находятся по приложениям 1 и 2, $ï_ê$ – число параллельно включенных кабелей (для шин и кабеля двигателя $ï_ê = 1$), l – длина токопровода [3].

Параллельно работающие генераторы с одинаковыми или близкими мощностями заменяют эквивалентным, если сопротивления их линий близки между собой. (Это условие не выполняется, например, при наличии межсекционных токоограничивающих реакторов). Мощность эквивалентного генератора (ЭГ) равна суммарной мощности заменяемых им генераторов. Сопротивление ветви от ЭДС ЭГ до точки параллельного соединения генераторов находится как сопротивление параллельно

включенных генераторных ветвей. Сверхпереходные, переходные и установившиеся значения ЭДС ЭГ расчитываются на основании соответствующих ЭДС исходных генераторов и сопротивлений их ветвей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородянко В.Н. Переходные процессы в линейных электрических цепях [Электронный ресурс]. Адрес доступа: http://model.exponenta.ru/electro/0060.htm

2. Копылов И.П. Электрические машины. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.

3. Кувшинов Г.Е. Судовая автоматизированная электростанция: Учеб. пособие. ч. 2. – Владивосток: Изд-во Дальневост. гос. техн. ун-та, 2001.-58 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЯГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА МЕТОДОМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Шабанов А.С.
Новосибирский государственный технический университет,
г.Новосибирск

На современном уровне развития электротехники электромагниты постоянного тока, обладающие простотой и компактностью конструкции, находят широкое применение в качестве электромагнитных приводов.

При разработке электромагнита, определяющего функциональные возможности электромагнитного привода, актуальной задачей является создание модели магнитной цепи электромагнита, обеспечивающего совершение полезной механической работы при рациональном использовании активных материалов. Решение задачи в данном случае сводится к определению геометрических размеров магнитной цепи электромагнита и построению статических тяговых характеристик.

Основным отличием используемых при расчете магнитных системы электромагнитов методов является наглядность, повторяемость, точность, ресурсоемкость.

Численные методы расчета магнитных систем электромагнита являются достаточно простыми в реализации модели электромагнита в программной среде, при этом обеспечивают высокую точность расчетов в рамках заданной физической модели.

Программный пакет FEMM – Finite Element Method Magnetics (Магнитные расчеты методом конечных элементов) позволяет на персональном компьютере под управлением операционной системы Windows создавать физико-математические модели для расчета плоскопараллельного или плоскомеридианного (осесимметричного) стационарного и квазистационарного магнитного полей, а также стационарного электростатического поля, определить полевые и цепные параметры и построить картины данных полей [1].

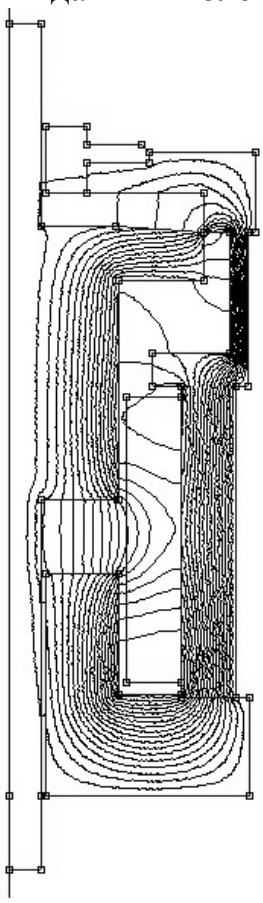


Рис. 1. Модель электромагнита втяжного типа и картина распределения силовых электромагнитных линий

На рисунке 1 в качестве примера представлена созданная в программном пакете FEMM модель электромагнита втяжного типа и картина распределения силовых электромагнитных линий.

Распределение силовых линий магнитного поля показывает, что большая часть основного магнитного потока замыкается по магнитопроводу, частично основной магнитный поток расходуется на магнитный поток рассеяния, который замыкается, проходя через обусловленную конструкцией воздушную среду. Концентрация силовых линий магнитного потока в структуре исследуемого электромагнита

неравномерна, что объясняется нелинейностью материала магнитопровода.

При исследовании электромагнита приняты следующие допущения.

Ток в обмотке исследуемого электромагнита принимаем неизменным. Ход якоря, под которым понимается перемещения якоря относительно стопа электромагнита, представляем фиксированными точками, соответствующими заданным величинам. Максимальная величина рабочего воздушного зазора равна 20 мм. В частности, фиксированное положение якоря относительно стопа, характеризующее перемещения якоря, соответствует 1 мм. При этих величинах производилось снятие величины тяговых усилий, развиваемых исследуемым элеткромагнитом. В ходе исследований изменениям подвергались магнитные профили электромагнитов при сохранении массо-габаритных показателей.

На рисунке 2 представлены статические характеристики, построенные на основании полученных при моделировании величин тяговых усилий, отражающих изменение величины рабочего воздушного зазора при перемещении якоря.

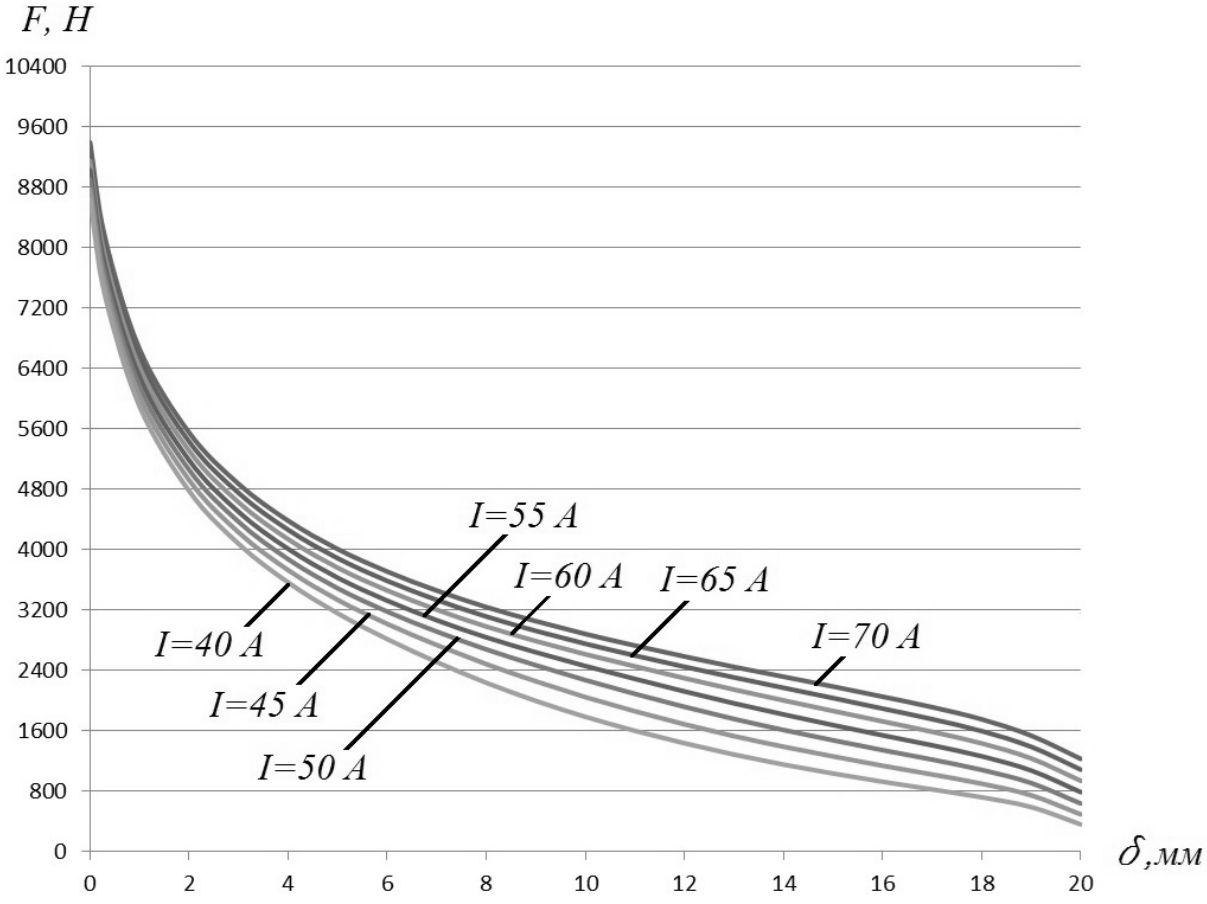


Рис.2. Тяговые характеристики

Исследование тяговых характеристик электромагнитов постоянного тока методом конечно-элементного моделирования позволяет оценить влияние профилей электромагнитов на развиваемые усилия при перемещении якоря, определяя функциональные возможности электромагнитов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буль, О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов: Магнитные цепи, поля и программа FEMM [Текст]: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений– М. : Изд. центр «Академия», 2005. – 336 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ПРОГРАМНОЙ СРЕДЕ LABVIEW

Ле Ван Туан
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

В настоящее время, в сфере высшего образования проводится работа по введению инновационных методов обучения, способствующих получению более качественного образования. В связи с этим многие университеты и техникумы проводят улучшение базы лабораторного оборудования. Одной из проблем является то, что решение данной задачи остается непосильным для многих учебных заведений с экономической точки зрения.

Поэтому в ряде случаев практические исследования и применения информационных технологий в целом наиболее целесообразно проводить на персональных компьютерах. Данный способ решения поставленной задачи является наиболее доступным и довольно эффективным в своем плане.

В настоящее время существование многих программных сред позволяет программистам упростить решение сложнейших в своем роде задач. В данной статье рассматривается использование программной среды LabVIEW для моделирования двигателя постоянного тока, а также его 3D-модели.

LabVIEW предоставляет возможность программирования используя графический язык, предназначенный для создания программ в форме

структурных схем. LabVIEW содержит обширные библиотеки функций и инструментальных средств, предназначенных для создания систем сбора данных и систем автоматизированного управления. LabVIEW также включает стандартные инструментальные средства разработки программ. [1]

Программы в LabVIEW называются виртуальными приборами, так как их вид и функционирование имитируют реальные измерительные приборы, при этом виртуальные приборы подобны функциям в программах стандартных языков программирования.

Электродвигатель постоянного тока (ДПТ) — электрическая машина постоянного тока, преобразующая электрическую энергию постоянного тока в механическую энергию [2]. Электрические машины постоянного тока используют как в качестве генератора, так и в качестве двигателя. Двигатели постоянного тока получили большое распространение:

- они широко используются для привода подъёмных средств в качестве крановых двигателей;
- служат приводом транспортных средств в качестве тяговых двигателей;
- используются для привода устройств автоматики;
- используются для привода прокатных станов;
- используются для привода штатных подъёмников.

Практическая часть.Моделирование двигателя постоянного тока в среде Labview. Для начала использовав физическую модель двигателя разберем входных величин данного проекта:

- напряжение (Voltage) - U,
- момент инерции (Torque) - J
- угловая скорость - ω
- ток - I.

Математическое описание двигателя [3]:

$$U = R \cdot I + k \cdot \omega$$

$$k \cdot I = J(\frac{d\omega}{dt}) + T$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{k \cdot I - T}{J}$$

Все эти величины описаны в подпрограмме « dc_motor_math (Subvi)», структурная схема которой представлена на (Рис.1.).[4]

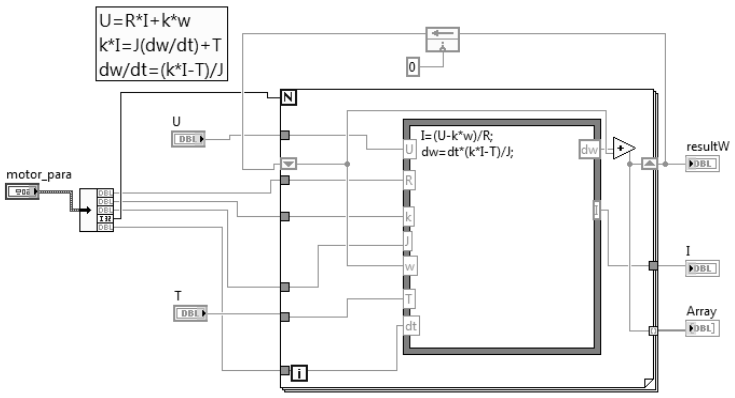


Рис.1. Блок-диаграмма подпрограммы « dc_motor_math (Subvi)»

Ввод параметров двигателя в компоненте Cluster «Motor_para», имеющем сопротивление цепи якоря R, коэффициент ЭДС двигателя k, крутящий момент J и величину времени dt (предположим $dt = 10^{-6} c$).

Далее построена другая подпрограмма «dc_motor_3d (Subvi)» для моделирования двигателя в трехмерном пространстве. Угловая скорость этого двигателя равна угловой скорости двигателя, описывающейся в подпрограмме « dc_motor_math (Subvi)».

Наконец построение главного прибора - это виртуальный двигатель вместе с 3D-моделью в программной среде Labview (рис. 2.) и (рис. 3.) «dcmotor_main (vi)».

Виртуальная двигатель состоит из двух главных частей [5]:

- Блок-диаграммы рис. 2. (блок-диаграмма представляет собой наглядное представление решения задачи и содержит исходные коды для виртуального двигателя);

- Лицевой панели рис. 3. (лицевая панель содержит кнопки управления, переключатель, графики, трехмерное изображение т.п.).

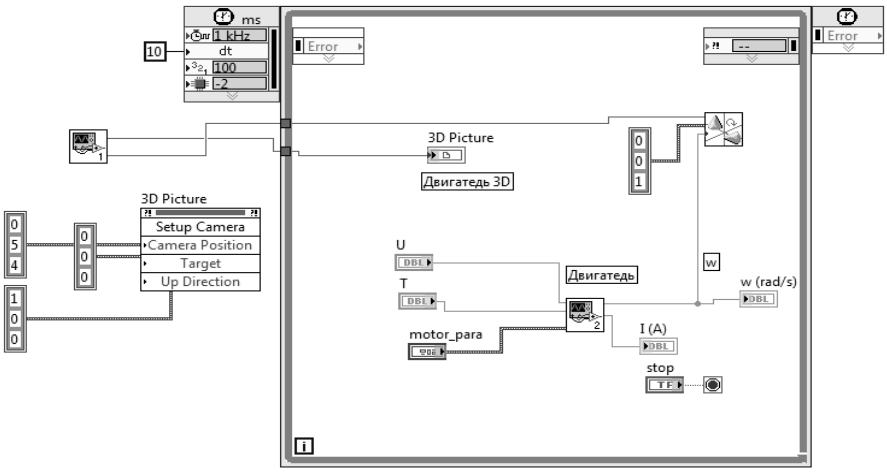


Рис. 2. Блок-диаграмма «dcmotor_main (vi)»

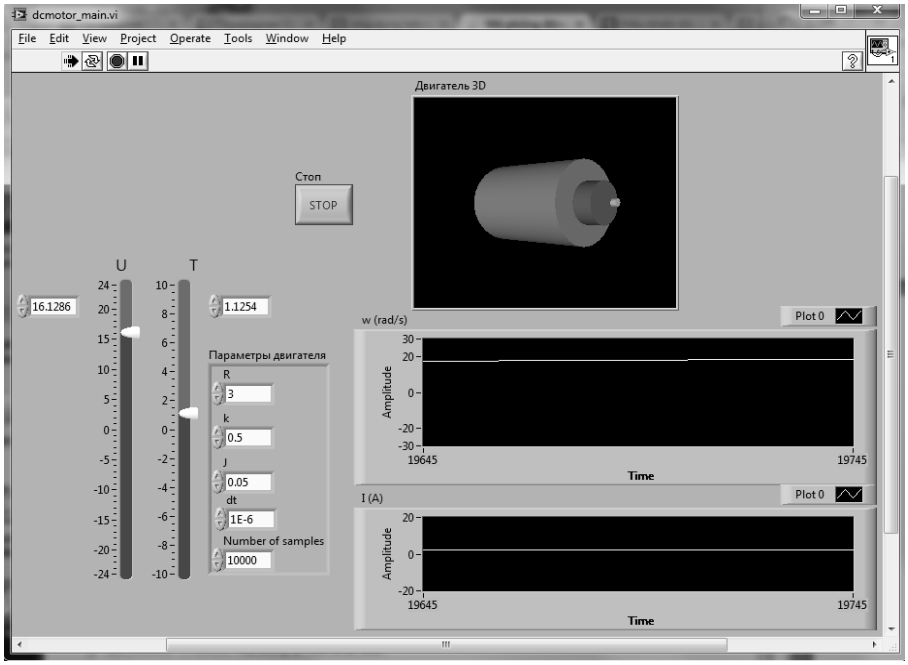


Рис. 3. Лицевая панель «dcmotor_main (vi)»

На рисунке 3 представлена возможность управления входными величинами U, T и задания параметров значений R, k, J, dt, число цикла. Соответственно входным параметрам в результате моделирования получаем выходные значения: угловую скорость ω и ток I.

Заключение

В данном работе представлено использование программной среды Labview для моделирования простого двигателя постоянного тока. Подобным образом возможно моделирование наиболее сложных систем. К примеру, возможно моделирование: двигателя переменного тока, рук робота и много другое.[6]

ЛИТЕРАТУРА

1. Тревис Дж. Labview для всех. –М.: ДМК Пресс, 2005. -544 с.

2. http://ru.wikipedia.org/wiki/Электродвигатель_постоянного_тока

3. http://edu.dvgups.ru/metdoc/gdtran/depen/elmash/emash/metod/yushenko/l1.htm

4. TechTeach [Электронный ресурс] - Режим доступа - http://techteach.no/ свободный - Загл. с экрана

5. Жуков К. Г. Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW. –М.: ДМК Пресс, 2011. – 688 с.

6. Hocdelam Group [Электронный ресурс] - Режим доступа - http://hocdelam.org/ свободный - Загл. с экрана

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДЕЛИ ПРИВОДА ПОДАЧ МАЛОГАБАРИТНОГО 3-Х КООРДИНАТНОГО ГРАВИРОВАЛЬНОГО СТАНКА

Цыганкова М. В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск

В настоящие время мировое сообщество разработчиков проектов и объектов переходит на новый уровень проектирования. Все объекты проектирования изучаются без создания экспериментальных образцов. Такое изучение свойств и параметров возможно посредством создания математических динамических моделей. Создание сложных изделий машиностроения - это длительный процесс проектирования, состоящий из нескольких стадий и последовательных приближений к окончательному варианту. Компьютерные технологии сокращают сроки и затраты при проектировании и технологической подготовке производства сложных изделий машиностроения, а также повышают их качество.

Выявлено то, что изменение конструкционных параметров оказывает большее влияние на характеристику переходного процесса, чем изменение технологических, поэтому рассматривать динамические характеристики привода подач станка необходимо еще на стадии его разработки.

В данной работе рассмотрен привод подач малогабаритного 3х координатного гравировального станка. В станках с ЧПУ перемещение осуществляется следящими приводами [1]. В данной работе в качестве приводного двигателя выбран шаговый двигатель. Шаговые двигатели имеют широкий диапазон угловых разрешений. Преобразователь движения – шариковая винтовая передача (ШВП). Шариковая винтовая передача — наиболее распространенная разновидность передачи винт-гайка качения (винтовая пара с промежуточными телами качения: шариками или роликами). Функционально ШВП служит для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное (и наоборот). ШВП обладает всеми основными техническими преимуществами передачи винт-гайка скольжения, и при этом не имеет ее главных недостатков, таких как низкий КПД, повышенные потери на трение, быстрый износ. Благодаря компактным размерам и простоте конструкции ШПВ могут быть легко интегрированы в различные машины и механизмы [2].

На рис.1 приведена конструктивная схема привода подач по одной из координат. Конструктивно ШВП состоит из винта и гайки с винтовыми канавками криволинейного профиля. Канавки служат дорожками качения для размещенных между витками винта и гайки шариков. Перемещение

шариков происходит по замкнутой траектории — при вращении винта шарики вовлекаются в движение по винтовым канавкам, поступательно перемещают гайку и через перепускной канал (канал возврата) возвращаются в исходное положение. Каналы возврата выполняются в специальных вкладышах, которые вставляются в соответствующее окно гайки, по числу рабочих витков.

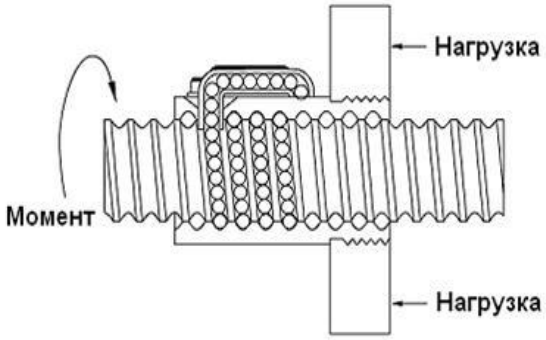


Рис.1. Конструктивная схема ШВП

При работе передачи шарики, пройдя по винтовой канавке на винте свой виток, выкатываются из резьбы в перепускной канал вкладыша, переваливают через выступ резьбы и возвращаются в исходное положение на тот же или на соседний (в зависимости от конструкции) виток. Такая же схема верна и для остальных приводов. Так как оси станка ортогональны, то взаимным влиянием, приводов станка, можно пренебречь.

В данной передачи люфт отсутствует, но если рассматривать систему с наличием люфта, то в модели можно изучить вязкое или сухое трение. Кронштейны металлоконструкции, ШВП и др. стыки деталей обладают жесткостью, она зависит от положения стола и может также быть нелинейной, что тоже возможно учитывать при создании модели. Шаговый двигатель является синхронной машиной, ее движущий момент зависит от отклонения текущего угла от заданного. Эта зависимость при малом отклонении лилейна, при больших отклонениях она существенно нелинейна. Согласующий редуктор не требуется, если шаг винта ШВП меньше 5 мм, при требуемой точности 0,03 мкм. В соединении (муфте) первоначально люфт отсутствует, однако с течением времени он может возникнуть, что также может быть учтено в модели.

Анализировать переходные процессы можно только по модели, учитывающей влияние всех технологических и конструкционных параметров приводов подач станков.

Установим функциональную связь между подводимым к винту крутящим моментом и линейным перемещением гайки. При построении математической модели ШВП примем следующие допущения. Трение в подшипниках опор винта и в паре винт–гайка является линейным, не

учитываются гироскопические и инерционные силы в ШВП, жесткость винта и гайки по длине неизменна, при определении инерции механизма массой шариков как сравнимо малой пренебрежем, не учитываются возможные погрешности изготовления элементов. Составим расчетную схему (рис. 2).

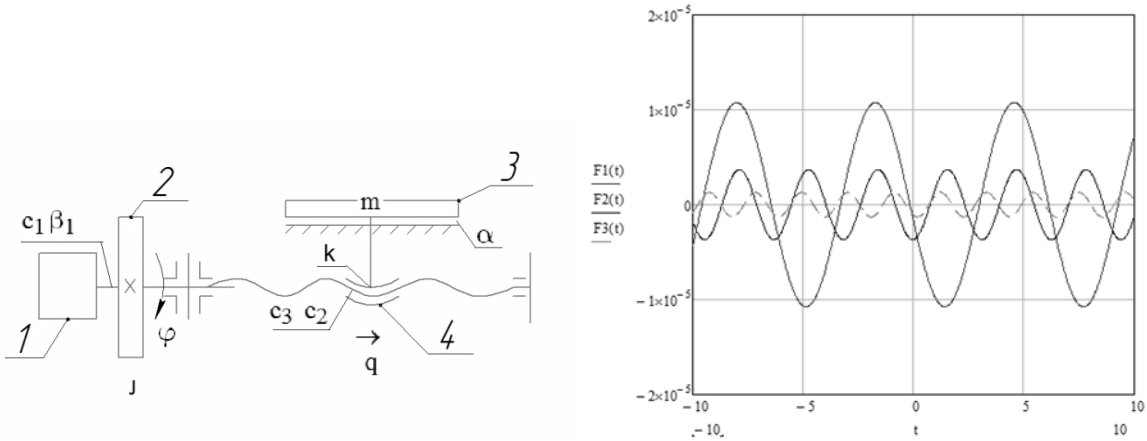


Рис. 2. Расчетная схема ШВП:

Где 1- шаговый двигатель, 2- маховик, 3- стол, 4, винт-гайка. m − масса гайки, J − момент инерции винта, c1, c2, c3 − жесткость винта, передачи винт–гайка, опоры винта, соответственно, β1 и k − коэффициенты демпфирования в подшипниках и ШВП, соответственно, q − линейное перемещение гайки, φ − угол поворота винта

Из теории механических колебаний [3] известно, что дифференциальное уравнение движения под действием произвольно заданной вынуждающей силы имеет вид:

$$a + b + c * q = F(t)$$

где: q − обобщенная координата; a − инерционный коэффициент; b − обобщенный коэффициент трения; c − обобщенный коэффициент жесткости системы; F(t) − вынуждающая внешняя сила. За обобщенную координату (q) примем линейное перемещение гайки.

По расчетной схеме составим уравнения описывающие работу привода подач :

$$J\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \beta_1\frac{d\varphi}{dt} + c_1\varphi = c_1\varphi_0$$

$$m\frac{d^2q}{dt^2} + \alpha\frac{dq}{dt} + (c_1 + c_2)q = \varphi K c_1$$

При моделирование постоянными принимаются - масса (m) и момент инерции винта (J). Остальные величины меняются в заданных границах. Изучалась как целая картина влияния всех параметров, так и влияние каждого из параметров в отдельности.

Моделирование динамических характеристик системы было выполнено по средствам MathCAD. По средствам программы были

созданы графики зависимостей расчетных параметров. Один из графиков представлен на рис.3.

Математическое моделирование позволяет производить изучение привода подач при варьировании всех имеющихся параметров в пределах заданных границ. Проделанная работа была направлена на выявление параметров в большей степени влияющие на работу привода подач.

Рис.3. График изменения собственных колебаний системы в зависимости изменения жесткости системы.

Особую перспективность имеет дальнейшая работа над коррекцией проектируемой системы на основе полученных данных при анализе математической модели, что позволяет наиболее точно прогнозировать варьирование основных параметров системы Изучение математической модели позволит в будущем обходиться без создания масса-габаритных и технологических макетов, тем самым сокращая издержки на первичное аппаратурное проектирование механизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев А.М., Орлова Р.Т., Пальцев А.В. ледящие электроприводы станков с ЧПУ. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 222 с.

2. Пясик И. Б. Шариковинтовые механизмы. Киев: Машгиз, 1962. 199 с.

3. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний: Учебное пособие. — М.: Наука, 1980. — 270 с.

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЦИРКОНИЕВОЙ НАНОКЕРАМИКИ

Сивков А.А., Ивашутенко А.С., Анненков Ю.М.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Разработка высокоэффективных технологий зачастую требуют применение материалов с высокими физико-механическими свойствами. К таким материалам относится циркониевая керамика, перспективность использования которой многократно возрастает, если данной керамике придать наноразмерную структуру.

Для того чтобы получить нанокерамику необходимо выполнить три основных условия: 1) применить ультрадисперсные порошки, 2) использовать методы компактирования порошков, позволяющие получить компакты с плотностью близкой к теоретической, 3) спекать керамику в

условия, максимально ограничивающих рекристаллизационный рост керамических зерен (активированное спекание).

В данной работе представлена разработанная в Томском политехническом университете высокоэнергетическая технология получения циркониевой нанокерамики и результаты исследования этих материалов.

В качестве объекта исследования использовался, полученный методом плазмохимии, нанопорошок оксида циркония, частично стабилизированный диоксидом иттрия [1, 2]. В основе технологии синтеза порошка лежит термическое разложение в плазме высокочастотного разряда сильно диспергированного водного раствора азотнокислого циркония. Частицы порошка на 15 – 20 % состоят из пустотелых кристаллических сфероидов. По данным рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии кристаллиты оболочек сфер и отдельных кристаллических образований имеют средние размеры около 20…30 нм. Кристаллиты объединены слабыми адгезионными силами в агломераты размером 50…2000 нм [1].

Формование нанопорошка проводилось на разработанном авторами магнитно-импульсном прессе в одностороннем и двустороннем режимах. Устройство и принцип действия двустороннего магнитно-импульсного пресса иллюстрирует рис. 1. Индукторы 6 представляют собой плоские спирали из медных лент, витки которых изолированы друг от друга и жестко зафиксированы. Индукторы включены в цепь емкостного накопителя энергии С емкостью 6 мФ. Концентраторы 4 выполнены из инструментальной стали и предназначены для передачи механического усилия на пуансоны 3. Между индукторами и концентраторами установлены медные диски – сателлиты 5, обеспечивающие высокий уровень индукционного тока и, соответственно, большую силу прессования.

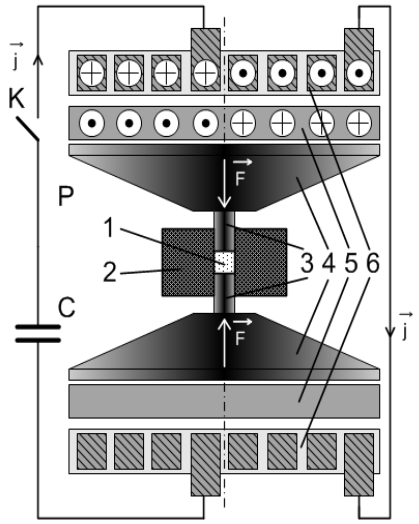


Рис. 1. Принципиальная схема двустороннего магнитно-импульсного пресса: 1-порошок, 2-пресс-форма, 3-пуансоны, 4-концентраторы, 5-сателлиты, 6-индукторы

При замыкании контактов коммутатора К батарея конденсаторов С разряжается на индукторы, вызывая протекание по ним импульсного тока. Этот ток

создает интенсивное магнитное поле, которое наводит в сателлитах ток, противоположный току в индукторах (направления токов на рисунке изображены в виде точек и крестов). Созданные, таким образом, магнитные поля индуктора и сателлита взаимодействуют, что вызывает возникновение силы F, оказывающей давление на концентраторы. Поскольку последние механически соединены с пуансонами 3, то в пресс-форме создается давление прессования, которое может достигать нескольких ГПа. [3]

Прессобразцы представляют собой форму таблеток диаметром 5 мм и высотой 2…4 мм. Прессование проводилось в диапазоне давлений от 0,2 до 1,2 ГПа.

Спекание компактов, полученных по методике двустороннего магнитно-импульсного прессования, проводилось в микроволновой печи мощностью 15 кВт и частотой 30 ГГц. Для предотвращения раскалывания образцов, которое возникает на начальных стадиях микроволнового нагрева, скорость подъема температуры устанавливали 50 град/мин. При достижении температуры спекания образец выдерживался 10 мин. Охлаждение образцов осуществлялось вместе с печью.после выключения питания. Плотность прессовок и спеченных образцов определялась методом взвешивания в жидкости. Микротвердость измерялась на приборе МНТ-4.

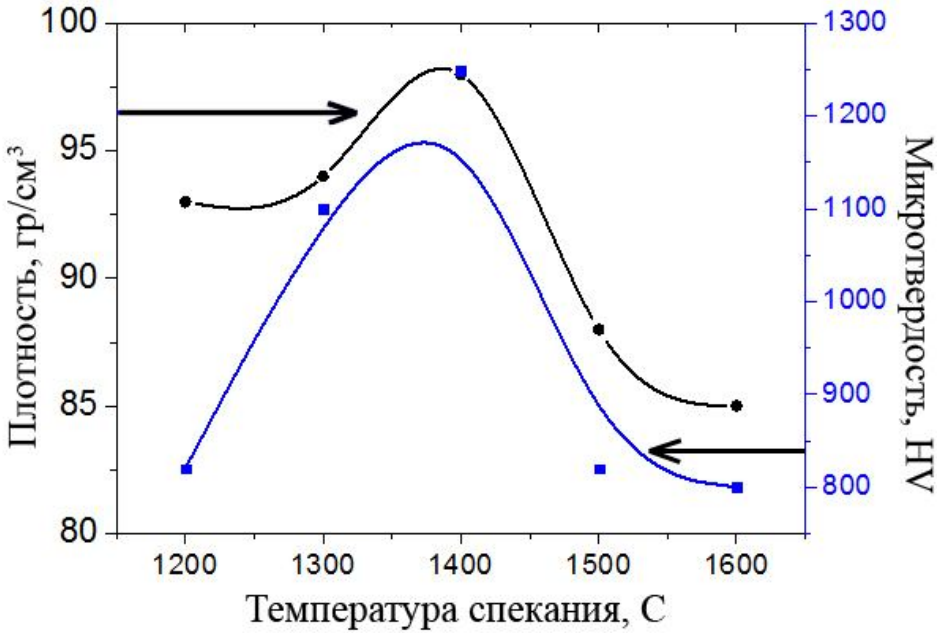


Рис.2. Влияние температуры спекания на плотность и микротвердость керамики ZrO2

Зависимость плотности образцов и микротвердости от температуры спекания в микроволновом поле представлены на рис. 2. Обращает на себя внимание принципиальная идентичность температурного хода обеих характеристик. Из рис. 2 следует, что как плотность, так и микротвердость керамических образцов максимальны при температуре спекания, равной 1400 0С.

Наблюдаемые закономерности объясняются авторами следующим образом. Рост плотности и микротвердости при низких температурах спекания объясняется традиционным образом- интенсификацией спекания с ростом температуры. Однако, явное ухудшение качества керамических образцов при температурах спекания выше 1400 0С явно свидетельствует о протекании процесса, стимулирующего уменьшение плотности керамики. Таким процессом, по мнению авторов, является интенсивная высокотемпературная рекристаллизация (рост зерен). Такой вывод обосновывается следующим образом. Считается, что процесс спекания заканчивается, когда плотность керамики достигает 95…98 % от теоретического значения плотности. Как следует из данных рис. 2, при 1400 0С спекание уже завершилось, плотность достигла 98 %. Отметим, что при традиционном спекании в термической печи

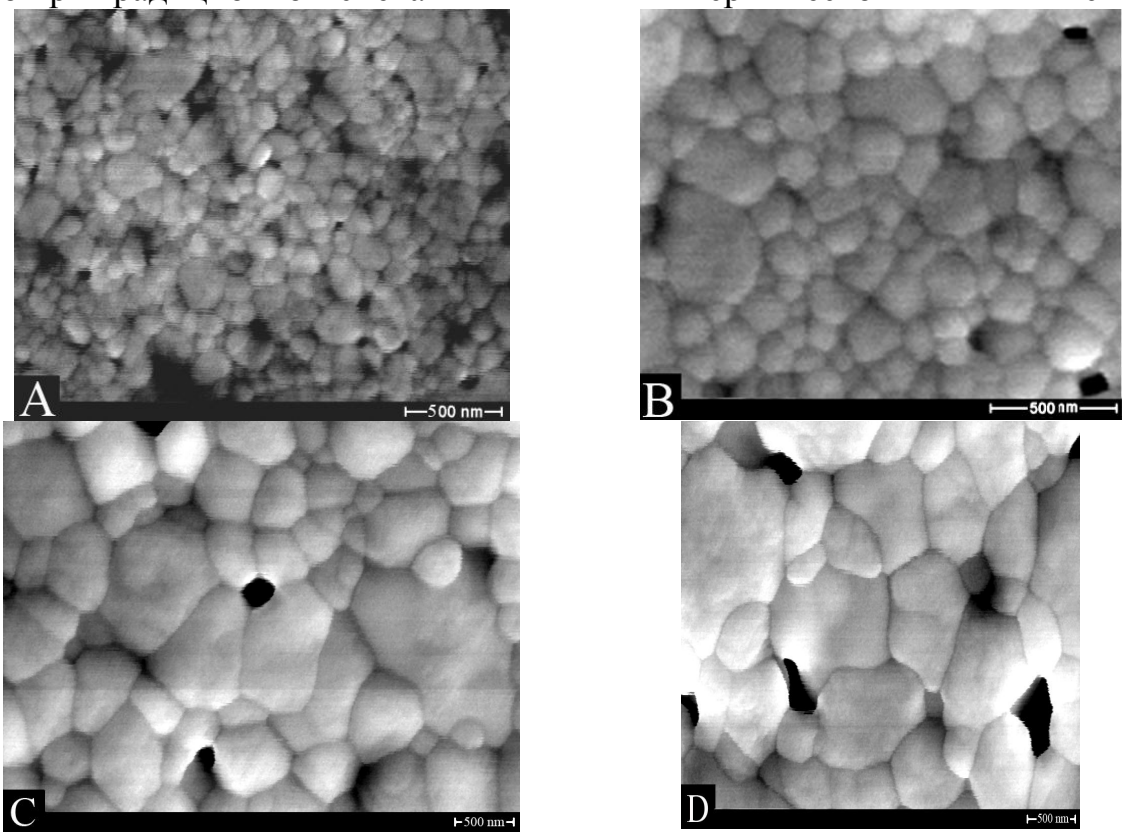


Рис. 3. Динамика роста зерен в циркониевой керамики в зависимости от температуры спекания . A – 1200 °C, B - 1400 °C, C - 1500 °C, D – 1600 °C

полное спекание циркониевой керамики происходит при 1700…1800 0С. Следовательно, микроволновое спекание снижает температуру спекания на 300…400 0С. В работе [4] предложен механизм этого явления.

Таким образом, микроволновый нагрев образцов выше 1400 0С будет приводить к укрупнению зерен, что вызовет рост механических напряжений, и как следствие, растрескивание образцов. Проявление процесса рекристаллизации зерен, в плоть до растрескивания, керамики хорошо прослеживается из данных, представленных на рис. 3, которые были получены с помощью электронного микроскопа HITACHI S-800. Ясно, что растрескивание образцов должно приводить к уменьшению плотности изделия, что и наблюдается на рис. 2.

Анализируя результаты, представленные на рис. 2 и 3, можно констатировать, что оптимальным режимом микроволнового спекания циркониевой керамики является температура 1400 0С. При данной температуре спекания плотность и микротвердость керамики имеют максимальные значения, а структура керамики находится в нанокристаллическом состоянии (рис. 3 В).

Таким образом, данная работа иллюстрирует сущность и возможности высокоэнергетической технологии получения циркониевой нанокерамики. Показана высокая эффективность магнитно-импульсного прессования и микроволнового спекания. Используя возможности высокоэнергетической технологии, температура спекания циркониевой керамики снижена на 300…400 0С, что обеспечило получение нанокерамики с вполне удовлетворительными параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Ю.Ф., Дедов Н.В. Плазмохимический способ получения ультрадисперсных порошков // Физика и химия обработки материалов. – 1995, – №1, – стр. 177-183.

2. Анненков Ю.М., Апаров Н.Н., Дедов Н.В., Соловьев А.И., Франгульян Т.С, Шаркеев Ю.П. Диспергирование ультрадисперсных порошков диоксида циркония // Стекло и керамика – 1995, – №9, – с. 46-48.

3. Иванов Ю.Ф., Дедов Н.В. Плазмохимический способ получения ультрадисперсных порошков // Физика и химия обработки материалов. – 1995, – №1, – стр. 177-183.

4. Анненков Ю.М., Ивашутенко А.С. Физическая модель спекания и модифицирования керамики в высокочастотных и сверхвысокочастотных полях // Известия ТПУ – 2005, – №7, – Том 308, – стр. 30-35.

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ ВОЛНОВОЙ РЕДУКТОР С ТОРЦЕВЫМИ ШАРОВЫМИ ЗУБЬЯМИ

Симачева А. В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Актуальность проблемы

Важнейшими задачами для развития машиностроения являются - создание новых образцов высокопроизводительного оборудования, совершенствование технического уровня выпускаемых машин. Их решение зависит от качества проектирования наиболее нагруженных элементов трансмиссий машин - зубчатых передач.

Проведенный анализ научно - технической литературы и патентный поиск свидетельствуют о том, что в области проектирования высоконагруженных зубчатых передач, предназначенных для работы в условиях нежестких корпусов и случайного спектра нагрузок, требуется создания новой геометрии зубчатого зацепления.

Волновые передачи позволяют осуществлять большие передаточные отношения в одной ступени; при зубчатых колесах из стали Umin= 60 (ограничивается прочностью при изгибе гибкого колеса) и Umax= 300 (ограничивается минимально допустимой величиной модуля, равной 0,2...0,15 мм). При этом КПД равен 80...90 %, как и в планетарных передачах с тем же передаточным отношением. [2]. Недостатки волновых передач: ограниченные частоты вращения ведущего вала генератора волн при больших диаметрах колес, мелкие модули зубчатых колес (0,15...2 мм) [4].

В последнее время развивается принципиально новый тип передач, в которых момент передаётся посредством промежуточных тел качения (шаров, роликов), взаимодействующих с периодическими дорожками качения сопрягаемых деталей – волновые передачи с промежуточными телами качения. Все звенья передачи представляют собой жесткие тела, выполненные с высокой точностью. При работе передачи между звеньями присутствует трение качения.

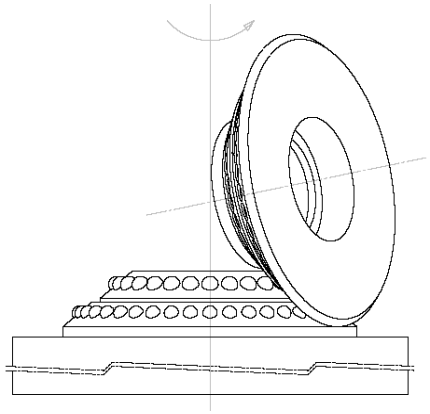
В связи с этим, разработка и исследование геометро – кинематических и нагрузочных возможностей новой геометрии зубчатого колеса являются актуальными задачами, решение которых способствует значительному расширению области применения.

Синтез нового профиля зубчатого зацепления кинематического волнового редуктора

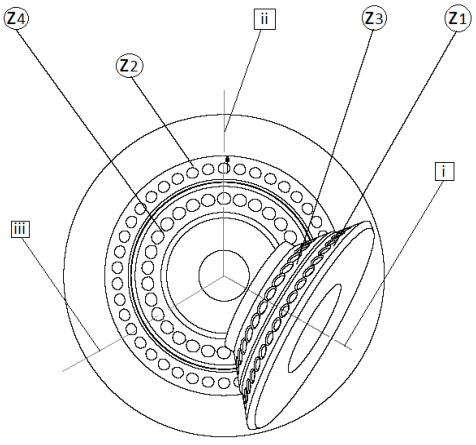
Синтез нового типа геометрии зубчатого зацепления заключается в стремлении повысить кинематическую точность передачи движения при

большом передаточном отношении (i $\rightarrow$ max). Для выполнения этих условий необходимо спроектировать и рассчитать формообразование нового профиля зубчатого зацепления. При классическом конструировании зубчатых передач допускается соосное и несоосное расположение оси зубчатых колес; в зацеплении колесо является внутренним, а шестерня – внешней [3]. Еще одним допущением, опираясь на схему классического волнового механизма, в котором присутствует колесо, шестерня и водило (либо генератор волны), будет являться отсутствие гибкой шестерни, таким образом, механизм становится кинематическим.

В данной работе рассматривается принципиально новая схема кинематического редуктора с зубьями (рис. 1), выполненными с неподвижными, по отношению к колесу сферическими зубьями (шары).



(а)



(б)

Рис. 1. Зацепление колеса и шестерни: а –вид спереди; б –вид сверху (колеса ii и iii показаны условно)

Обычно, в волновой передачи с гибкой шестерней передаточное отношение определяется:

$$i = \frac{z_2}{z_2 - z_1},$$

где i- передаточное отношение колес;

z1- количество зубьев шестерни;

z2- количество зубьев колеса.

Однако, из-за интерференции, не смотря на коррекцию, передаточное отношение волновых передач рассчитывается:

$$z_1 = z_2 \cdot 1.$$

На рис. 2 показано движение зубьев во время движения шестерни. Такое положение, как средний зуб, зубья шестерни занимают поочередно, так как одновременно два зуба такое положение занять не могут (только если один на одной стороне шестерни, а второй – на другой). Только в этом положении зуб выходит из впадины в строго противоположном направлении (под углом 180°). Остальные зубья под разными углами ориентированные в пространстве. Зубья, отдаляясь от среднего положения, контактируют в каждой соседней точке, двигаясь по спирали. Такое движение приводит к тому, что на износ работает вся поверхность зуба и впадины.

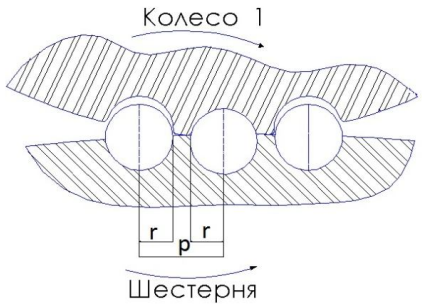


Рис .2. Зацепление колеса и шестерни вид спереди (разрез)

В колесах с эвольвентным зацеплением используется модуль m. В случае рассмотрения редуктора с торцевыми шаровыми зубьями:

$$m = r,$$

где r- радиус шара.

Тогда шаг зацепления:

$$p = r \cdot \pi,$$

$$p = (\pi - 2) \cdot r,$$

где p- шаг зацепления.

Отсюда,

$$p = 1{,}14 \cdot r.$$

Согласно работе [1], в которой исследуется профиль зубчатого зацепления кинематического волнового редуктора с торцевыми зубьями, совершается пространственное колебательное “сканирование - обкатывание” шестерни относительно неподвижного колеса, зубья которого имеют форму усеченных конусов Сканирующая шестерня, расположенная на эксцентричном ведущем валу, представляет собой эксцентричную, замкнутую, волнообразную дорожку передачи движения. Зубья колеса вдавливаются и проходят впадины сканирующей шестерни, каждый из которых участвует во взаимном перемещении, двигаясь по некоторой спирали в пространстве. Шестерня a одновременно находится в зацеплении с неподвижным и выходным колесам b. (рис. 3).



Рис. 3 Схема зацепления зубчатой пары:
a - сканирующая шестерня; b - выходное колесо

Заключение

Использование волнового редуктора с торцевыми шаровыми зубьями позволяет решить комплекс задач: повысить кинематическую точность передачи движения при большом передаточном отношении и малом числе деталей, повысить долговечность, надежность зацепления, уменьшить массо-габаритные характеристики, снизить вибрационные, шумовые характеристики путем улучшения геометрии зубчатых колес и кинематической схемы зацепления.

Анализ патентной литературы показал, что предлагаемая схема действия кинематического волнового редуктора с торцевыми шаровыми зубьями обладает патентной частотой и на сегодняшний день аналогов не обнаружено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е.А. Вершинина, П.Я. Крауиньш Исследование профиля зубчатого зацепления кинематического волнового редуктора с торцевыми зубьями //Современные проблемы машиностроения: Труды V международной научно-технической конференции - Томск, ТПУ, 23-26 нояб.2010. - Томск: Изд. ТПУ, 2010. - с. 420-424

2. В.А. Гавриленко Зубчатые передачи в машиностроении. Теория эвольвентных зубчатых передач. – М.: Машгиз – 1962. – 530 с., ил.

3. Ф.Л. Литвин Теория зубчатых зацеплений. – М.: Наука – 1968. – 584 с., ил.

4. П.И. Орлов Основы конструирования: справочно-методическое пособие. –М.: Машиностроение – 1988. – 560 с.

ОБЗОР ВЯЗАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ АРМАТУРЫ

Пашков Е.Н., Черкасов С.О., Загороднев Р.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Вязальный пистолет - одно из новейших средств для вязки арматурных прутьев, применяемых на строительстве аэродромов, дорог, каналов, мостов и плотин. Пистолеты для вязки арматуры используются в монолитном домостроении, на заводах ЖБИ и везде, где используются железобетонные конструкции. В современном монолитном строительстве все большое значение приобретают сроки и себестоимость производимых работ. Скрепление арматурных прутьев проволокой - обязательная технологическая процедура.

Традиционно работы по вязанию арматуры выполняются рабочими:

1. Вручную - вязание арматуры стальным крючком. Данный способ основан на предварительной завязке двух стальных петлей и дальнейшем "поддевании" петлей на стальной крючок и его закручивании рукой в какую-либо сторону для получения узла)

2. Автоматическим крючком. Способ основан на использовании того же самого стального крючка, но снабжённого специальным "механизмом затяжки", который при поступательно-вращательном движении стягивает петли стальной проволоки, образуя узел.

Однако традиционные способы соединения арматурных прутьев являются неэффективными по сравнению с использованием автоматического вязального пистолета.

Пистолеты для вязки арматуры работают при температуре от -25 до +40 градусов. Установлена система подогрева и охлаждения. Каждый вид пистолета работает с определенным диапазоном диаметров арматур. Вяжет арматуру проволокой. Работает на аккумуляторах, рассчитанных приблизительно на 2000 обвязок, внешне похож на шуруповерт.



Рис. 1.

Когда первое оборудование в 2003 году было окончательно запатентовано и представлено оно сразу завоевало премию CIF, как лучшее инновационное изобретение в монолитном строительстве и буквально взорвало рынок монолитного строительства.

Оборудование было представлено под торговой маркой RE*BAR*TIER, японской компании MAX CO., В 2003 оборудование поступило на российскую площадку на испытание, рабочие – вязальщики арматуры, сразу окрестили его «ПИСТОЛЕТ», это было проще чем выговаривать двусмысленное «РЕБАРТАЕР» от RE*BAR*TIER. С тех пор пистолеты претерпели большие изменения и доработки, и применяются во всех странах мира, а название «ПИСТОЛЕТ» так и осталось.

Анализ вышеуказанных методов соединения арматурных прутьев помог выявить достоинства и недостатки каждого:

1. Соединение арматурных прутьев вручную, то есть с использованием стального крючка или пассатижей - метод наиболее экономически выгодный, но при этом, наиболее энергетически затратный, так как требует физическую силу рабочего, постоянный контроль правильности полученного узла, что оказывает влияние на прочность затяжки прутьев, а значит и на долговечность узлового соединения при работе в условиях знакопеременных нагрузок, в частности вибрации. Данный вид работы требует опыта и квалификации арматурщика, халатность соединения арматурных прутьев в узлах - является недопустимой, так как непрочность затяжки узлов создаёт дополнительные концентраторы напряжений, которые при знакопеременных нагрузках могут превысить предел текучести материала проволоки, и тем самым привести его к постепенному разрушению, а значит и к постепенному разрушению всей конструкции. Кроме того, способ неэффективен из-за своей не технологичности - скорость вязки арматурных прутьев, а значит и производительность работ на строительной площадке является низкой

всязи с различными факторами - число предварительных операций до начала затяжки, физическая подготовленность и моральная мотивация рабочего и.т.д.

2. Соединение арматурных прутьев автоматическим крючком - способ более экономически затратный, так как необходимо специальное оборудование, но более эффективный, так как прочность затяжки выше, энергетические затраты рабочего меньше, а значит и скорость работ выше, чем при ручном методе вязки - 4 секунды требуется для затяжки одного узла автоматическим крючком. Однако у способа есть и недостатки - это, в первую очередь, невысокий технологический уровень, связанный с предварительным количеством операций, необходимым для затяжки узла, во-вторых, данный инструмент эффективен при небольшой площади связываемых арматурных прутьев, поэтому производительность автоматического крючка сказывается лишь на небольших площадках. Энергетические затраты рабочего будут по-прежнему высоки если данный инструмент использовать при достаточно большой площади связываемы арматурных прутьев. Устройство автоматического крючка достаточно простое для использования и ремонта в случае его поломки. Кроме вышесказанного, автоматический крючок требует меньшего контроля соединения, однако показатель навыков, предъявляемых к арматурщику является по- прежнему высоким.

3. Соединение арматурных прутьев с помощью вязального пистолета - способ наиболее экономически выгодный и менее энергозатратный по сравнению с вышеуказанными способами соединения арматурных прутьев. Один такой пистолет "заменяет" шесть рабочих, то есть его производительность эквивалентна работе шести арматурщиков. Его эффективность показывает себя при работе с большими площадями соединяемой арматуры, показатели производительности работ гораздо выше - время вязания одного узла от 0,8 до 1 секунды, чем при использовании ранее упомянутых методов. Кроме того, арматурные каркасы лучше не перемещать, а вязать на месте. Первый недостаток вязального пистолета - он полностью не заменит "крючок". На каждой площадке есть места, куда не один пистолет не залезет, это углы, специфические балки и т.п. Пистолет незаменим и эффективен на перекрытиях, стенах площадью от 2-3 м2. Он ускоряет монотонную работу вязальщиков в разы. Рабочий с крючком всегда может подвязать углы и труднодоступные места. Поэтому наибольшая эффективность применения данного инструмента сказывается при работе в "паре" - рабочий с вязальным пистолетом и рабочий с вязальным крючком, так как всегда можно подвязать нижний или второй слой арматуры, просунув руку с крючком между хлыстами арматуры, с пистолетом это будет невозможно.

К тому же, стоимость пистолета очень высокая и держать 20-30 штук на одной площадке будет дорого и не эффективно. Конечно, пистолет решает самую сложную задачу на крупной строительной площадке, он сокращает время связки арматурного каркаса, сокращает ручной труд до минимума. Сокращает самый продолжительный и трудоемкий этап работ, если у вас достаточное количество опалубки, арматуры, бетона, трансформаторов для его прогрева, единственное, что вас серьезно сдерживает, это вязка арматурного каркаса, но теперь и эта проблема решена. Следующим недостатком вязального пистолета является необходимость использования специальной калиброванной проволоки, обычная отожжённая проволока здесь не подойдёт. Устройство вязального пистолета сложнее, чем автоматического крючка, но любой инструмент проработает долго, если достойно к нему относится. Автоматизация требует культуру производства, то есть, нет необходимости в использовании квалифицированных рабочих кадров. Стереотипы, которые не позволяют внедрять инструмент в производство основаны на сложившихся понятиях, привычках, опыте и знаниях. Однако вспомните, что над первым трактором люди смеялись, приходилось с усилием его внедрять в сельское хозяйство, люди не понимали, зачем отказываться от лошади. А значит, необходимо лишь время и терпение для того, чтобы сравнить показатели производительности работ, их качества и эффективности, для признания такого "нового" инструмента, а также для сравнения экономических затрат на строительство объекта. Другая сложность внедрения - это назначение каждого вида пистолетов, диаметр проволоки, которая используется в процессе вязки. Стоит отметить, что диаметр проволоки зависит от веса и размера арматуры, которые создают нагрузку, значит, необходим такой диаметр проволоки, при котором конструкция будет прочной и не разрушится. Диаметр арматуры и диаметр проволоки - есть те главные проблемы, которые мешают использовать один и тот же пистолет для вязки арматуры различных диаметров. Но есть решение и этой проблемы. Как правило, берут два пистолета один на перекрытие с удлиняющим устройством, другой - на стены, в зависимости от конструкции. Количество необходимых вязальных пистолетов зависит от количества квадратных метров связываемой арматуры. Технологичность вязального пистолета основывается на минимизации количества необходимых предварительных операций, а также на энергозатратах рабочего при работе с инструментом.

Выводы:

Вязальный пистолет – это, прежде всего, профессиональный инструмент, рассчитанный на использование в серьезных строительных компаниях возводящих крупные сооружения из бетона. Он не

предназначен для небольших по объему работ или небольших компаний. Пистолет решает самую сложную задачу, снижает ручной не производительный труд. Внедрение автоматизации ручного труда всегда было затратным процессом (швейная машина, паровые машины, ткацкие станки и т.п.), но те, кто на него решался, получали значительные преимущества(повышение производительности, стабильность качества и т.п.).

При правильной организации производства с применением автоматического вязального устройства можно довести скорость возведения многоэтажного жилого здания до одного этажа за 3-5 дней, что очень актуально при строительстве в сложных климатических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.max-europe.com/pdf/brochure
2. http://www.lwest.ru/catalog/91/108/
3. http://www.promosnova.ru/stati_materialy_poleznye_sovety/13513/page/1/

РЕДУКТОР ПРИВОДА ВРАЩЕНИЯ РАМКИ АНТЕННЫ

Ермаков Д.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Частью привода вращения рамки антенны космических аппаратов является приборный редуктор. Специфика работы редуктора предполагает повышенные требования к плавности вращения выходного звена и наличия в редукторе самоторможения. Наиболее приемлемым по точности, плавности хода и массогабаритным характеристикам для решения указанных задач являются приборные редуктора, выполненные на прямозубых, цилиндрических шестернях с эвольвентным зацеплением.

Плавность и точность вращения выходного звена редуктора во многом определяется погрешностью вызванной мертвым ходом.

Мертвый ход, определяемый максимальными боковыми зазорами, снижает точность отсчета приборных редукторов и вводит нелинейность в следящие системы автоматики, что может вызвать появление незатухающих колебаний, особенно при малых (0,01 град/с и менее) скоростях вращения рамки антенны. Поэтому в точных зубчатых передачах приборных редукторов приходиться ограничивать мертвый ход минимально возможной величиной. Уменьшить мертвый ход в передаче до

2 мкм позволяет применение люфтовыбирающих устройств. Однако, применение таких устройств на первых (входных) ступенях редуктора не представляется возможным из-за их малых габаритов. Устранить незатухающие колебания позволяет введение в первые ступени зубчатой передачи упруговязкого демпфирующего звена. Таким звеном является сам блок шестерен, установленный в шарикоподшипниковых опорах с заложенной в них пластичной смазкой.

Обычно на первой ступени приборных редукторов применяют шарикоподшипники 4-1000084, каждый из которых имеет момент трения, после расконсервации 0,025 мН·м. Тот же шарикоподшипник с заложенной в него пластичной вакуумной смазкой ВНИИ НП-274 (сохраняет работоспособность до 1,33·10-12 Па), имеет момент трения 0,09 мН·м при температуре +20˚С [1]. Таким образом, сам по себе блок шестерен первой ступени без каких-либо дополнительных приспособлений имеет момент вязкого трения около 0,2 мН·м, что для ряда режимов работы привода антенны является недостаточным. Повысить момент трения можно путем создания в шарикоподшипниковой опоре осевой нагрузки.

Величина момента сил трения в стандартном приборном однорядном шарикоподшипнике при радиальной R и осевой A нагрузках определяется по соотношению

$$M_{\text{тр}} = \frac{W_{\text{с}}}{\omega_1} + (1{,}5A + 1{,}25R)\lambda\frac{D_0}{d_{\text{ш}}}, \qquad (1)$$

где ω1 - угловая скорость вращающегося кольца; λ – коэффициент трения качения (для приборных подшипников колеблется в пределах 0,001-0,0005см); D0 – диаметр подшипника по центрам шариков; d – диаметр шариков; Wc – суммарная мощность, потребляемая при качении шарика по наружному Wн и внутреннему Wв кольцам шарикоподшипникам с учетом сопротивления смазки; Wc=z(Wн+Wв), здесь z – число шариков.

Для наружного и внутреннего колец, затраты на мощность будут

$$W_{\text{н,/в.}} = \frac{17{,}3\pi\upsilon^2\mu\sqrt{\xi}}{(2\eta + 3\xi)\sqrt{\eta}}, \qquad (2)$$

где υ – скорость продольного передвижения точки качания при качении шарика по наружному и внутреннему кольцам; μ – вязкость масла.

$$\upsilon = \frac{\pi}{60}\frac{R_{\text{н}}R_{\text{в}}}{R_{\text{н}} - r_{\text{ш}}}n \qquad (3)$$

где Rн и Rв – наружный и внутренний радиусы шарикоподшипника, rш – радиус шарика; n – число оборотов подвижного кольца.

Значение коэффициентов η и ξ [2]
для внутреннего кольца

$$\eta_{\text{в.}} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{r_{ш}} - \frac{1}{r_{ж}}\right) \text{ и } \xi_{\text{в.}} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{r_{ш}} - \frac{1}{R_{в}}\right), \quad (5)$$

для наружного кольца

$$\eta_{\text{н.}} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{r_{ш}} - \frac{1}{r_{ж}}\right) \text{ и } \xi_{\text{н.}} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{r_{ш}} - \frac{1}{R_{н}}\right), \quad (6)$$

При заданном моменте Мтр, требуемом для устранения колебаний по выбранному валу редуктора, из соотношения (1) находится величина необходимая осевой нагрузке на подшипник

$$A = \frac{(M_{\text{тр}} - \frac{W_{\text{с}}}{\omega_{1}} - 1{,}25R\lambda\frac{D_0}{d_{\text{ш}}})d_{\text{ш}}}{1{,}5\lambda D_0}, \quad (7)$$

Конструкция блока шестерен 1, опирающегося на подшипник 2, первой ступени редуктора с упругой осевой нагрузкой в виде цилиндрической пружины 3 представлена на рисунке.

За счет создания упругой осевой нагрузки на подшипниковые опоры блока шестерен 1 удалось увеличить момент трения (Мтр) в его опорах до 3,8 мНм.

Применение такого технического решения позволяет устранить нелинейность в следящей системе автоматики и повысить плавность вращения выходного звена в диапазоне малых (0,01 град/с и менее) скоростей вращения рамки антенны.

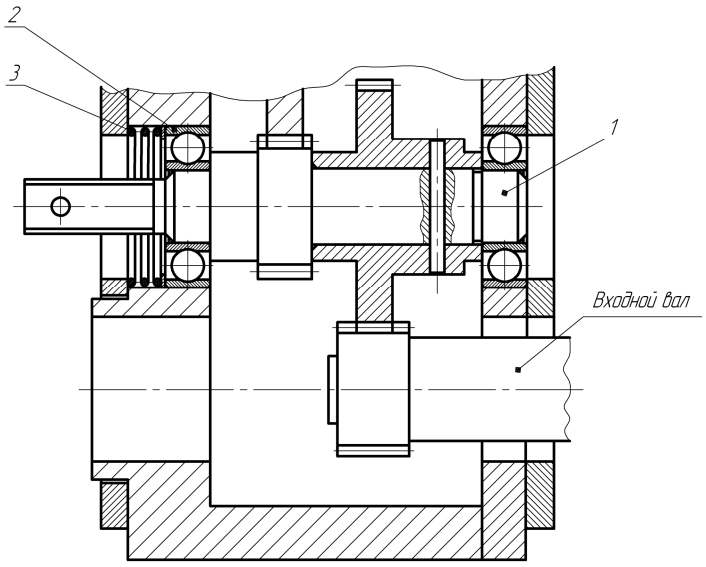


Рис.1. Конструктивная схема редуктора

Одновременно введение упруговязкого демпфирующего звена на входной ступени редуктора увеличивает самоторможение выходного вала.

При приложении крутящего момента к выходному валу редуктора, последний начинает работать в режиме мультипликатора. Наличие момента Мтр в опорах блока шестерен первой ступени вносит свой вклад наряду с другими блоками в момент самоторможения выходной ступени

$$\Delta Mc = Mтр ip, \quad (8)$$

где ip – передаточное число редуктора.

Таким образом, введение упруговязкого демпфирующего звена на входной ступени улучшает параметры редуктора, выполненного на прямозубых цилиндрических шестернях с эвольвентным зацеплением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крахмалев С.И., Школьников В.М. Пластичные смазки для приборов и регулирующих устройств // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2007. № 5. С. 11.

2. Явленский К.Н. и др. Приборные шариковые подшипники. Справочник. М., «Машиностроение», 1981. 351 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СИЛОВОГО ГИДРОИМПУЛЬСНОГО МЕХАНИЗМА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Массон И.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время велика потребность в бурении скважин малого диаметра (40…70 мм). Область их применения включает геологоразведочные и технические скважины различного назначения.

При проходке таких скважин в породах средней твердости и выше часто применяют машины вращательно – ударного действия. Прогрессивным направлением в развитии машин и механизмов вращательно – ударного действия является создание является создание силовых импульсных систем с гидравлическим приводом. Исследования вращательного бурения режущим инструментом с наложением на него высокоэнергетических упругих колебаний показали возможность в 2…2,5 раза интенсифицировать процесс разрушения горных пород, в 1,5…2 раза повысить износостойкость режущего инструмента, на 2…3 категории крепости пород по шкале проф. М.М. Протодьяконова расширить область

эффективного применения вращательного бурения скважин при повышении производительности труда на 40…70%.[1]

Известные пневмо – и гидроударные узлы, применяемые в горной промышленности, имеют низкий КПД из–за наличия активных сопротивлений в виде различных дросселей, клапанов, золотников т.п.

В бурильных машинах с пневмо- или гидроударными узлами формирование силовых импульсов в буровой штанге производится за счет разгона поршня и нанесение ударов последним по торцу штанги. При этом возникает превышающий допустимые санитарные нормы шум из-за резкого выбрасывания сжатого воздуха в атмосферу или жидкости в сливную полость, а также из-за соударения поршня с торцом буровой штанги. Существующие устройства для забивки свай также создают большой шум.

В настоящее время, в связи с тем, что не существует буровых машин, предназначенных только для проходки скважин по породам средней крепости, в ТПУ будет разработан гидроимпульсный силовой механизм, который может использоваться вместо ударных узлов бурильных машин вращательно-ударного действия, либо в качестве источника высокоэнергетических направленных упругих колебаний для бурильных машин вращательного действия.[2]

Целью данной установки является повышение эффективности виброзащиты. Цель достигается тем, что в предлагаемом гидроимпульсном силовом механизме гидроцилиндр расположен в корпусе соосно с инерционной массой, поршень подпружинен относительно корпуса в противоположном инерционной массе направлении, а упругий элемент расположен в гидроцилиндре так, что взаимодействует своей поверхностью с инерционной массой и поршнем через жидкость. На чертеже изображен гидроимпульсный силовой механизм.

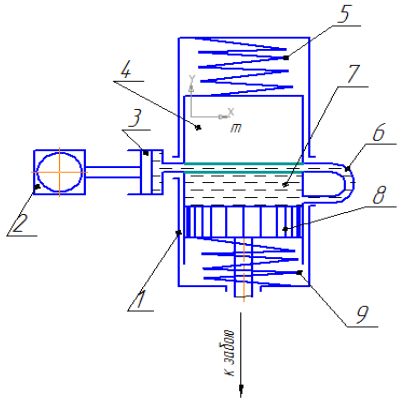


Рис. 1. Гидроимпульсный силовой механизм

Гидроимпульсный силовой механизм (рис. 1) содержит корпус 1, гидропульсатор 2, в качестве которого может быть кривошипно-шатунный, эксцентриковый или другой механизм, обеспечивающий продольные колебания плунжера 3 гидропульсатора, инерционную массу 4, поджатую пружиной 5 к продольным боковым стенкам упругого элемента 6 (гидравлического шланга), имеющего непосредственную связь с гидроцилиндром 7 и поршнем 8, который поджат пружиной 9. Инерционная подпружиненная масса 4 и гидроцилиндр 7 установлены таким образом, что могут совершать поперечные колебания относительно продольной оси упругого элемента 6. Подача бурового инструмента на забой или погружения сваи в грунт осуществляется поршнем 8 силового гидроцилиндра 7.С целью увеличения нелинейности и жесткости заполненного средой упругого элемента 6 поршень 8 гидроцилиндра 7 поджат пружиной 9, помещенной в одном корпусе 1 с инерционной массой 4, поджатой пружиной 5.

Благодаря тому, что упругий элемент с полостью, заполненной средой, обладает нелинейной жесткой характеристикой и расположен между инерционной массой и задней стенкой силового гидроцилиндра таким образом, что продольными боковыми стенками касается их, при деформации его указанными элементами он приобретает форму эллипса и обеспечивает параболическую зависимость между величиной изменения объема полости внутри упругого элемента и возникающим давлением среды, заключенной в этой полости. Это давление, изменяющееся в виде импульсов определенной амплитуды и длительности, воспринимается поршнем силового гидроцилиндра, непосредственно связанного с полостью упругого элемента. Под импульсным воздействием поршня на жестко связанную с ним штангу в последней формируется силовые импульсы, которые перемещаются по штанге к коронке со скоростью звука в материале штанги.

Таким образом, силовые импульсы формируются в штанге без механического соударения поршня со штангой с коэффициентом передачи энергии 0,85 – 0,90.

Таким образом, вследствие того, что в предлагаемом механизме упругий элемент расположен между инерционной массой и силовым гидроцилиндром, касаясь их боковыми стенками, устраняется вибрации машины, на которую установлен этот механизм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шадрина А.В., Саруев Л.А., Саруев А.Л. Динамические процессы в колонне труб при вращательно – ударном бурении скважин малого

диаметра из подземных горных выработок. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 175 с.

2. Саруев Л.А., Казанцев А.А. Разработка и исследование гидромеханической системы формирования силовых импульсов в ставе штанг для интенсификации вращательного бурения // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313. - № 1. – С. 75 – 78.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ПОВОРОТНО-КООРДИНАТНОГО СТОЛА

Симачева А. В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Актуальность использования координатного стола

Во многих сферах производства возникает необходимость осуществлять точное и плавное движение рабочего органа или обрабатываемой детали по требуемым траекториям.

При этом часто не требуется иметь огромный станок с многотонной и невероятно жёсткой станиной, например, при реализации лазерных и плазменных технологий, т.к. на рабочий орган и деталь не действуют значительные силы. В этом случае можно решить задачу более простыми средствами, применение которых и технически, и экономически оказывается оправданным. В этом случае речь идёт о координатных столах. И при этом создаваемый технологический комплекс будет удовлетворять всем предъявляемым к нему требованиям.

Для повышения точности позиционирования деталей используются высокоточные координатные столы. Координатный стол представляет собой мехатронную производственную установку, оснащается приводами, информационно-измерительными устройствами и компьютерной системой управления и предназначен для точного перемещения рабочего органа относительно обрабатываемой детали в процессе выполнения той или иной технологической операции. По конструкции координатные столы близки одновременно и к механическим системам простейших станков, и к портальным манипуляторам и обычно имеют две или три поступательные степени подвижности.

Известен координатный стол, где платформа и каретка выполнены в виде одной детали, а направляющими являются тонкие перемычки в виде плоских пружин.Недостатками указанного устройства являются невозможность снятия каретки с платформы, малый ход координатного

стола и отсутствие возможности перемещения каретки по третьей координате Z.

Известен также координатный стол, содержащий платформу, на которой посредством четырех плоских пружин закреплена первая каретка с возможностью перемещения по первой координате (X). Внутри первой каретки также с помощью четырех плоских пружин закреплена вторая каретка с возможностью перемещения по второй координате (Y), перпендикулярной координате X. Плоские пружины в данном устройстве выполняют роль направляющих. Первая и вторая каретки расположены с возможностью взаимодействия с первым и вторым пьезоприводами, а также с первым и вторым пружинными упорами, закрепленными на платформе координатного стола.

Первым недостатком указанного устройства является малый ход кареток координатного стола, связанный с использованием пьезоприводов и плоских пружин. Второй недостаток заключается в отсутствии возможности замены объекта с сохранением его первоначального положения, что бывает необходимым при использовании координатного стола в сложных технологических устройствах, например в сканирующих зондовых микроскопах (СЗМ). Третий недостаток состоит в отсутствии возможности перемещения кареток по третьей координате Z.

Исследование кинематики поворотного координатного стола

Модель предлагаемого поворотно-коодинатного станка представлена на рисунке 1. Координатный стол состоит из: вала 1 и 2 , шатуны 3 и 4, крестовину 5, стол 6 корпус 7,.На валах есть эксцентрики, а к валам через кинематический точный волновой редуктор подсоединены два шаговых двигателя. Благодаря этому, то угловым положением стола можно управлять с высокой точностью. При проектировании координатного стола предполагаем, что во всех шарнирных соединениях установлены подшипники требуемой точности.

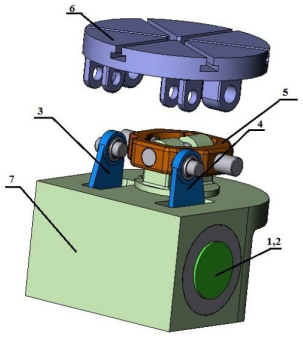


Рис.1. Поворотно - координатный стол

Схему движения координатного стола можно увидеть на рисунке 2. Движение осуществляется от двигателей через муфту на эксцентриковый вал 1.На валу имеется шатун 3, который передает движение через крестовину 5 сразу на стол станка. Можно сказать, что движение вала 1 отвечает за координату X. Эксцентриковый вал 2 передает движение столу также как и экцентриковый вал 1 от дивгателя через муфту ,далее на шатун 4, но шатун 4 имеет непосредственную связь со столом 6 и. Эксцентриковый вал 2 отвечает за движение по оси У.

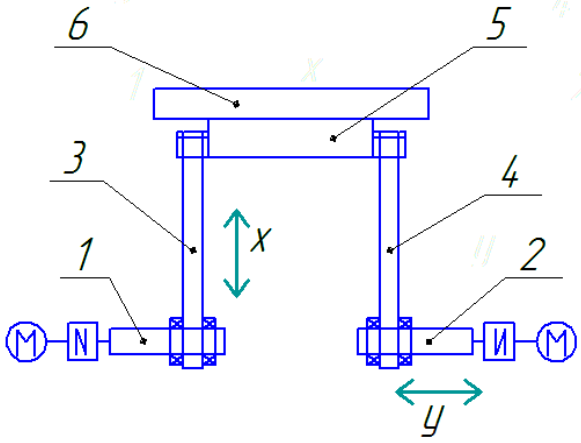


Рис.2. Схема координатного стола

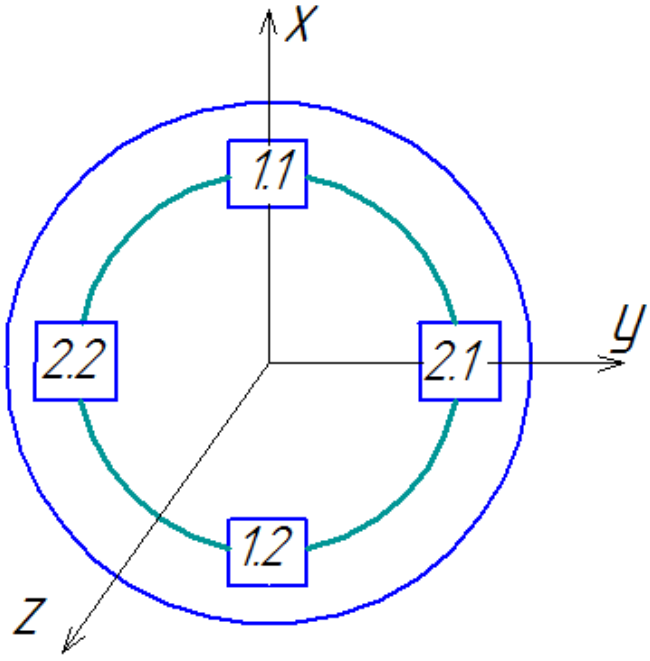


Рис.3. Схема движения координатного стола через крестовину

При таком совместном движении эксцентричных валов 1 и 2 осуществляется движение стола по трем осям – X, У, Z. При повороте вала 1 на определенный угол шатун 3 передает движение на крестовину в точку 1.1, далее поворачивается эксцентриковый вал 2 и стол перемещается в координату 2.1 .В дальнейшем при повороте эксцентричных валов 1 и 2 координата стола из 2.1 перемещается в 1.2 , а потом в 2.2.

Задача исследования кинематики сводилась к определению взаимосвязи между угловым положением в пространстве стола относительно горизонтальной плоскости и угловыми положениями валов эксцентриков. Исследование проводилось с помощью программного обеспечения Solid Works. Результаты зависимости пространственного положения стола от углового положения эксцентричных валов представлены в таблице 1:а) при фиксированном угловом положении вала 1 в 0º;б) при фиксированном угловом положении вала 1 в 90º;в) при фиксированном угловом положении вала 1 в 180º;г) при фиксированном угловом положении вала 1 в 270º

Контактный датчик, установлен на шпинделе, автоматически проверяет положение стола до и после обработки для регистрации данных для автоматического центрирования и определения смещения.

Таблица 1.

Зависимость пространственного положения стола от углового положения валов

а)		б)		в)		г)	
Вал 2, угол ,º	Поло-жение стола, º	Вал 2, угол ,º	Поло-жение стола, º	Вал 2, угол ,º	Поло-жение стола, º	Вал 2, угол ,º	Поло-жение стола, º
0	0	0	84.29	0	0	0	79.70
45	5.96	45	89.62	45	9.82	45	74.30
90	10.38	90	88.28	90	12.62	90	72.71
135	6.78	135	89.59	135	9.69	135	74.55
180	2.69	180	84.20	180	2.75	180	79.87
225	6.78	225	78.30	225	6.80	225	85.67
270	10.38	270	75.75	270	10.40	270	88.28
315	6.72	315	78.46	315	6.75	315	85.62
360	0	360	84.29	360	0	360	79.70

Заключение

Технический результат изобретения заключается в увеличении диапазона перемещения объектов по двум координатам в плоскости образца (X, Y), в возможности перемещения объектов по координате Z, перпендикулярной плоскости образца, и в обеспечении точной повторяемости положений объекта при его переустановке.

ЛИТЕРАТУРА

1. П.И. Орлов Основы конструирования: справочно-методическое пособие. –М.: Машиностроение – 1988. – 560 с.

2. Свиридов, С.Н. Моделирование имитаторов станков с компьютерным управлением / С.Н. Свиридов// Прогрессивные технологии в машиностроении: тематический сборник научных трудов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – С. 90–94.

3. ADEM CAD/CAM/TDM. Черчение, моделирование, механообработка / А.В. Быков, В.В. Силин, . – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 320 с.

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО АСИНХРОННОГО ТЯГОВО-ПОДЪЕМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Кришьянис М.В.
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, г.Архангельск

В современных условиях железнодорожный транспорт играет исключительно важную роль в жизни страны. Интенсивный рост грузовых и пассажирских перевозок вызвал сложные проблемы в области экологии и энергетики и привел к необходимости исследовательских работ по созданию новых, более эффективных транспортных систем.

Существенно повысить его эффективность можно за счет увеличения скорости движения. Однако, в силу того, что коэффициент сцепления колеса с рельсом снижается с ростом скорости, существуют предельные значения выше которых реализация требуемых тяговых усилий становится невозможной. Поэтому, учитывая важную роль железнодорожного транспорта в экономике и развитии страны были проведены масштабные поисково-исследовательские работы, направленные на создание принципиально новых и перспективных видов транспортных систем. Такой была признана транспортная система с линейным тяговым

двигателем (асинхронным либо синхронным), способная развивать большие тяговые усилия и высокие скорости движения.

Одним из главных преимуществ линейных двигателей, по сравнению с вращающимися тяговыми двигателями является бесконтактное преобразование электрической энергии в механическую. Кроме того, линейный двигатель сразу создает поступательное движение, т.е. не требуется наличия преобразователя. Наличие редуктора приводит к снижению КПД всего привода и создает еще один ненадежный узел. Также к достоинствам линейного двигателя можно отнести: независимость тягового усилия от сил сцепления колеса с рельсом, возможность получения высоких ускорений, более простая конструкция, сокращение пути и времени разгона и торможения, уменьшение или исключение износа пути (при воздушном или магнитном подвесе), снижение вибрации и шума, отсутствие загрязнения окружающей среды.

В России на основании исследовательских работ, выполненных научно-исследовательским институтом электровозостроения, был предложен проект электроподвижного состава, состоящего из некоторого числа асинхронных тягово-подъемных модулей, представленных на рис. 1. Индуктора таких модулей располагались по бортам экипажа в виде непрерывной цепочки с минимально возможными по условиям движения промежутками между ними и соответствующими сдвигами намагничивающих сил якорных обмоток смежных индукторов.

Индуктор АТПМ состоит из U -образного магнитопровода (1) в пазах шихтованных полюсов которого размещается 3-х фазная якорная обмотка (2). На ярме индуктора располагается обмотка намагничивания (3). Путевой элемент (4) может быть выполнен как плоским, так и П-образным. В пазах его размещается короткозамкнутая обмотка (5) типа "беличья клетка". Магнитный поток от обмотки намагничивания создает основное усилие электромагнитного подвеса и замыкается в плоскости перпендикулярной направлению движения. В элементарных участках стержней короткозамкнутой путевой обмотки, находящихся под разными полюсами этот поток создает ЭДС встречного направления, которые взаимно компенсируются. Ток обмотки намагничивания регулируется транзисторным преобразователем по сигналам бесконтактных датчиков зазора и ускорения. Якорная обмотка создает тяговое усилие, ее поток замыкается в продольной плоскости, что исключает также электромагнитную связь между нею и обмоткой намагничивания.

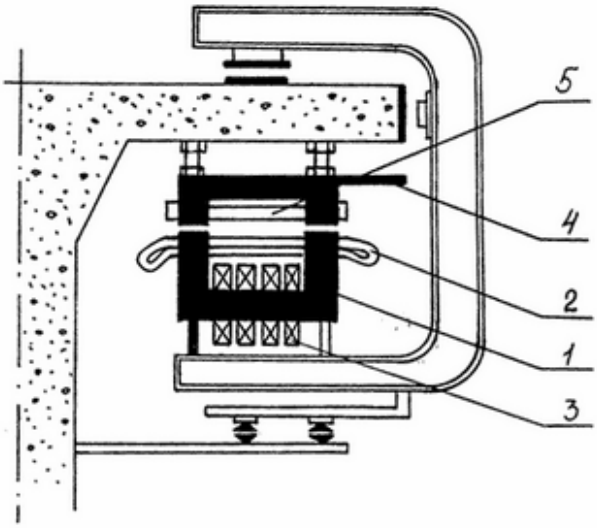


Рис.1. Схема силового устройства привода и магнитного подвеса с АТПМ

При симметричном расположении индуктора относительно путевой структуры, наводимые в элементах стержней ЭДС над различными полюсными выступами (ЭДС возникают в результате движения постоянного магнитного потока от обмотки намагничивания относительно стержней) равны по величине и встречно направлены, поэтому исключается возможность создания тормозного усилия. По тяговому усилию здесь имеют место как бы два индуктора с продольным замыканием магнитного потока с общей обмоткой, работающих на одну путевую структуру. В воздушном зазоре АТПМ переменный магнитный поток наложен на постоянный, следовательно, при заданной величине силы подвески линейная нагрузка по переменному току ограничена условиями насыщения зубцов как индуктора, так и обратного магнитопровода. Это является недостатком такой системы.

В настоящее время из-за тяжелой экономической ситуации в стране финансирование государством проектов по развитию высокоскоростных транспортных систем ведется крайне недостаточно. Но, тем не менее, заказы на проектирование разных типов экипажей поступают от частных фирм и ряда предприятий. Для того, чтобы не проектировать АТПМ для каждого типа экипажа встает задача создания универсального модуля. Эти модули должны быть такими, чтобы путем набора нужного их количества можно было бы спроектировать любой тип привода экипажа: опытного, демонстрационного или эксплуатационного.

Для того, чтобы сформулировать техническое задание по разработке универсального АТПМ были рассмотрены и проанализированы проекты транспортных систем, выполненные в разных странах [1]. На основании этого анализа можно сделать вывод, что возможно разработать

универсальный АТПМ, который можно использовать при различных значениях массы экипажа и скорости движения, путем набора в единую цепочку нужного количества модулей.

За базовый вариант для разработки был принят ранее разработанный в ВЭлНИИ АТПМ [2]. Однако данный тип модуля имеет ряд недостатков: во-первых, это низкое отношение величины полюсного деления к воздушному зазору τ/δ, а во-вторых, малая длина единичного индуктора, в связи с чем увеличивается число модулей в экипаже, а следовательно и число промежутков Lp.

Расчетно-теоретические исследования были выполнены на основании методики, описанной в [3]. В основу этой методики положена разработанная ранее трехмерная теория линейного асинхронного двигателя с единичным индуктором [4]. Новая расчетная модель [2] отличается тем, что на периоде разложения 1 по продольной оси X расположено в общем случае N синусоидальных волн намагничивающих сил. Имитация модульной компоновки достигается размещением этих волн с некоторым интервалом Lp (рис. 2).

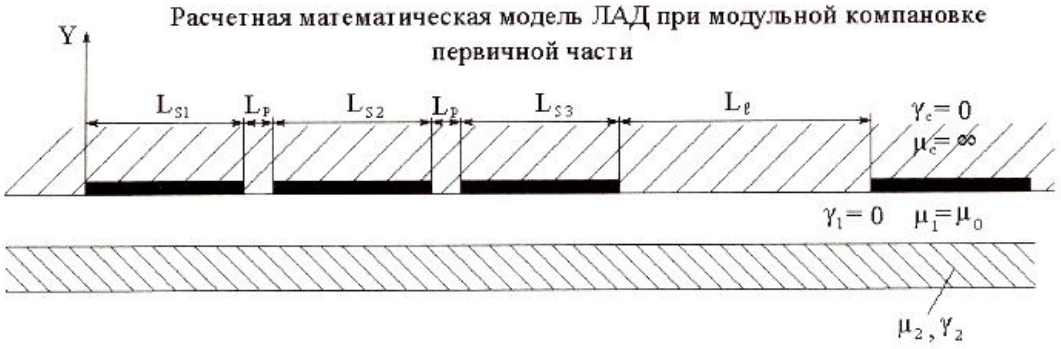


Рис.2. Расчетная математическая модель ЛАД при модульной компоновке индуктора

В качестве исходных данных задавались следующими величинами:
-тип экипажа: эксплуатационный для пригородного сообщения;
-скорость движения экипажа V=150 км/ч
-однослойная обмотка индуктора;
-длина индуктора модуля – L=2,4 м и L=1,6 м;
-ширина сердечника индуктора – c = 0,1 м;
-воздушный зазор – δ = 0,01 м;
-количество модулей на один борт экипажа -15;
-расчетная толщина наружного слоя вторичного элемента d2=0,0005 м;
-линейная токовая нагрузка – A1 = 50000 А/м

- плотность тока в обмотке индуктора – j1 = 5*106 А/м2

-полюсное деление обмотки τ=0,3 м и τ=0,4 м

-число полюсов обмотки 2p=4 , 2p=6 и 2p=8;

- удельная электропроводность наружного слоя вторичного элемента γ2 = 5*107 См/м; γ2 = 10*107 См/м; γ2 = 20*107 См/м.

Результаты ряда расчетно-теоретических исследований сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Наименование параметра	Обозначение	Величина полюсного деления	γ2 = 5*107 См/м	γ2 = 10*107 См/м	γ2 = 20*107 См/м
Максимальное тяговое усилие	Fxm, кН	τ=0,3 м	24,9	23,9	22,2
Критическое скольжение	sm		0,105	0,055	0,03
КПД	η		0,844	0,889	0,909
Коэффициент мощности	cosφ		0,607	0,604	0,598
Максимальное тяговое усилие	Fxm, кН	τ=0,4 м	32,1	30	26,4
Критическое скольжение	sm		0,082	0,045	0,027
КПД	η		0,865	0,897	0,907
Коэффициент мощности	cosφ		0,627	0,627	0,625

Анализируя полученные результаты, и проводя дальнейшую их оптимизацию, выбираем вариант модуля, имеющий следующие характеристики:

1. Индуктор

-исполнение как односторонний линейный асинхронный двигатель;

-длина индуктора модуля – L=1,6 м;

-ширина сердечника индуктора – c = 0,1 м;

линейная токовая нагрузка – A1 = 36000 А/м

2. Обмотка индуктора

-тип обмотки – однослойная двухплоскостная с домоткой крайних зон кольцевыми катушками

-число полюсов 2p=4

-величина полюсного деления τ=0,4 м

- плотность тока в обмотке индуктора – j1 = 5*106 А/м2

- воздушный зазор –δ = 0,01 м;

3. Вторичный элемент

- расчетная толщина наружного слоя вторичного элемента d2 = 0,0005 м;

-удельная электропроводность наружного слоя вторичного элемента γ2 = 10*107 См/м;

Далее, на основании предварительно выбранных характеристик модуля проводим расчетно-теоретические исследования его тягово-энергетических показателей при работе в различных транспортных системах. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Тип экипажа	Vдв	mэ	nмод	Fx	Fп	sm	η	cosφ
	км/ч	т	-	кН	кН	-	-	-
1. Опытный	30	6,12	3	6,68	66,8	0,23	0,461	0,805
2.Демонстрационный	60	12,3	6	13,5	135	0,112	0,664	0,732
3.Эксплуатационный								
3.1 Городской транспорт	90	21	10	23	230	0,072	0,761	0,699
3.2 Пригородный транспорт	150	31	15	34	340	0,045	0,843	0,68
3.3 Междугородний транспорт	300	34,2	18	37,2	372	0,025	0,908	0,65
4. Вариант ВЭлНИИ	120	40	15	39,2	392	0,08	0,76	0,572

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что по сравнению с вариантом, предложенным ВЭлНИИ, разработанный АТПМ имеет лучшие тягово-энергетические и массо-габаритные показатели, а следовательно, является более энергоэффективным. Улучшение характеристик получилось вследствие увеличения величины полюсного деления, сокращения числа промежутков между модулями и более рационального выбора структуры пазового слоя индуктора и компоновки катушки магнитного подвеса. Кроме того, производство таких модулей может быть налажено на любом электромеханическом заводе, выпускающем электрические машины средней и малой мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Железнодорожный транспорт. Реферативные журналы. – 1988-1992

2. Талья И.И., Серебряков А.П., Епифанов А.П., Морозова О.И., Лебедев А.М. Асинхронный тягово-левитационный модуль транспортного средства. //Изв. вузов. Электромеханика. – 1991. -№1. – С.36-42

3. Епифанов А.П. Расчетно-теоретические исследования характеристик тяговых линейных асинхронных двигателей.//Электротехника. -1992. - №6-7. – С.12-16.

4. Епифанов А.П. Основные вопросы проектирования тяговых линейных асинхронных двигателей.//Электротехника. -1992. - №1. – С.7-11.

ЭРОЗИЯ УСКОРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ

Герасимов Д.Ю., А.С. Цыбина
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Проблема уменьшения переходного контактного сопротивления и совмещения электрического контакта медь-алюминий, общеизвестна. В работе [1] показан способ решения этой проблемы – нанесение медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности с помощью коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ). Материал необходимый для обработки поверхностей и нанесения на них покрытий нарабатывается электроэрозионным путем с поверхности ускорительного канала ствола – электрода при прохождении ускоряемой круговой плазменной перемычки. Настоящая работа посвящена исследованию

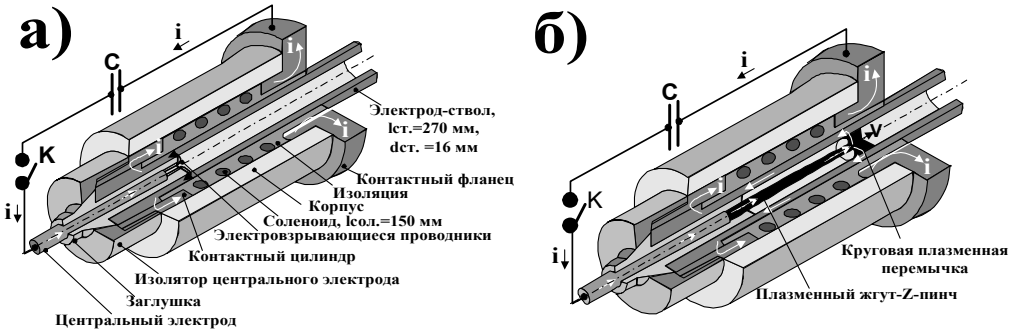


Рис.1. Устройство и принцип действия КМПУ: а) исходное состояние; б) работа ускорителя

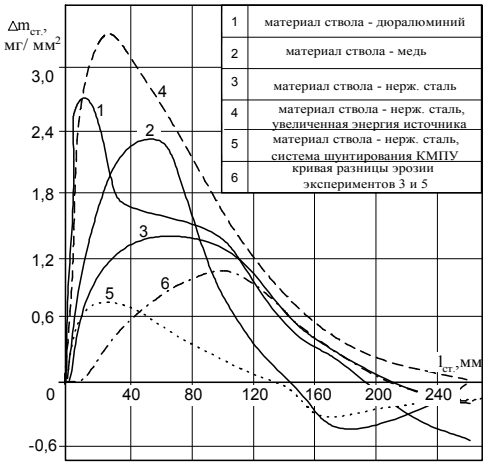


Рис. 2. Эпюры эрозии ускорительного канала КМПУ

динамики этого процесса. Стволы после выстрела разрезались на равные отрезки, взвешивались, и определялось изменение массы каждого относительно эталонного отрезка. Строились эпюры изменения массы по длине ствола Δmст.(lст.) [мг/мм2], (рис.2). Электроэрозионный износ поверх-ности ускорительного канала имеет общие закономерности, заключаю- щиеся в наличии трех характерных участков: первого – резкого увеличе- ния Δmст до некоторого максимума; второго – снижения Δmст до нуля на некоторой длине ствола; третьего– отсутствия эрозии и наслоения металла. Крутизна кривых на первом участке обратно пропорциональна температуре плавления материала ствола и прямопропорциональна скорости ввода энергии. На этом участке происходит формирование плазменной структуры сильноточного разряда типа Z-пинч с головной частью в виде круговой плазменной перемычки, ускоряющейся под действием газодинамических и электродинамических сил. Плотность тока в опорном пятне 104 А/см2, а температура более 10000 0К. это обеспечивает появление в опорном пятне ванн расплава металла, его испарения и интенсивного массопереноса в токовую оболочку разряда с переходом металла в плазменное состояние. Нарастание тока усиливает эрозию и увеличивает скорость перемещения плазменной перемычки, что приводит к сокращению времени протекания тока через единичную поверхность и уменьшению эрозии. В противобор- стве этих двух факторов постоянно усиливается влияние скорости, что выражается в плавном снижении крутизны кривых на первом участке эпюр mст.(lст.). Увеличение температуры плавления материала ствола приводит к уменьшению эродированной массы. Увеличение скорости ввода энергии также сопровождается усилением эрозии (кривые 3 и 4). Установлено, что величина среднего ускорения a (табл.1) плазменной перемычки

обратнопропорциональна атомной массе эродированного материала. Поэтому, фактор скорости быстрее становится доминирующим в случае ускорения плазмы металла с меньшей атомной массой (кривые 1 и 2). Дальнейшее нарастание тока и скорости, сопровождается плавным снижением эрозии на втором участке до нуля, из-за постоянного уменьшения времени прохождения плазменной перемычкой единичной поверхности, что снижает величину заряда прошедшего через контактную поверхность и уменьшает массу металла, перешедшую в фазу расплава в опорном пятне. На третьем участке это время становится меньше времени необходимого для плавления металла, также уменьшается плотность тока в плазменной перемычке вследствие деградации её устойчивого состояния и быстрого расширения под действием не скомпенсированного внутреннего газокинетического давления на выходе из зоны, охваченной соленоидом (рис.1). анализ экспериментальных данных показывает, минимальная длина подверженного эрозии участка ствола lэ сравнима с длиной соленоида, т.к. наличие дополнительного внешнего поля обеспечивает сжатие Z–пинча. минимальные lэ имеют место на медных стволах - следствие более высокой теплопроводности. С увеличением энергии источника и рабочего тока величина lэ увеличивается (кривая 4, рис.2) вследствие более длительного сохранения устойчивого состояния плазменной структуры. Наслоение металла на поверхность ускорительного канала на третьем участке вызвано, по-видимому, конденсацией вследствие охлаждения при расширении плазменной перемычки и теплоотвода через поверхность канала. величина наслаивающейся массы mн увеличивается с увеличением теплопроводности материала (табл.1).

Таблица 1.

Параметры, данные, результаты	Номер эксперимента				
	1	2	3	4	5
Зарядное напряжение Uзар., кВ	3,0	3,5	4,0	3,0	4,0
Емкость накопителя Co, мФ;	12	12	12	48	12
Максимальный ток Iм, кА	114	141	137	238	164
Время ускорения Δtст., мкс	93	130	102	66	80
Длительность имп. тока tимп., мкс	~ 400	~ 400	~ 450	~ 700	-
Среднее ускорение a, м/с2 ; ×107	5,60	3,15	5,19	13,03	8,40
Скорость на срезе стволаVc, км/с	5,2	4,1	5,3	8,6	6,7
Полный заряд qo, Кл	29,5	39,5	39,2	114,9	15,8
Полная энергия Wo, кДж	17,8	24,5	31,4	96,9	10,1
Эродированная масса mэ, г	10,82	7,58	7,89	12,75	3,03
Наслоившаяся масса mн, г	0,79	1,17	0,35	0	1,24
Удельная эрозия 1 mэ/qo, г/Кл	0,367	0,192	0,201	0,111	0,192
Удельная эрозия 2 mэ/Wo, г/кДж	0,608	0,309	0,251	0,132	0,300

Некоторая некорректность приведенных рассуждений заключается в том, что ускорение плазменной перемычки осуществляется нарастающим током в течение времени Δtст., в то время как длительность полного импульса тока значительно больше (табл. 1). Это отражается на интегральной кривой электрической эрозии. С целью получения более точного представления о динамике электроэрозионного процесса в КМПУ были проведены эксперименты с однократным прохождением по стволу плазменной перемычки.

Такой режим реализован с помощью системы шунтирования ускорителя и отсечки хвостовой части импульса тока после выхода головной части плазменной структуры из ствола [1]. Ему соответствует кривая 5 (рис.2). Качественная картина эрозии по длине ствола сохраняется, но значительно уменьшаются mэ, lэ и существенно возрастает mн на третьем участке. Кривая 6 позволяет оценить характер процесса, протекающего под воздействием хвостовой части импульса тока. Форма кривой 5 свидетельствует о том, что разряд не переходит в начало ствола, а принимает некую объемную форму с максимальной плотность тока, на границе этой зоны. Увеличение lэ и уменьшение mн при полном разряде объясняется повторным уносом наслоившегося металла под действием хвостовой части импульса тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сивков А.А., Корольков Л.В., Сайгаш А.С. Нанесение медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности с помощью магнитоплазменного ускорителя // Электротехника. 2003. №8. с.41-46.

ОБЗОР НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ КОРОБОК ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ

Лазуркевич А.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Автомобиль является сложной механической системой, состоящей из множества деталей и устройств. Одним из неотъемлемых узлов трансмиссии автомобиля является коробка переключения передач (КПП), именно она позволяет подобрать оптимальный режим работы автомобиля в зависимости от дорожных условиях.

Наиболее распространенные виды КПП можно классифицировать по двум основным признакам: по принципу переключения и по типу механической передачи. По первому признаку КПП можно разделить на два типа: КПП с механическим или автоматическим способом выбора передач. По второму на передачи со ступенчатым и бесступенчатом регулировании скорости. Наибольшее распространение получили КПП вальной (рядной), планетарной и вариаторной схем. При этом в КПП с механическим типом переключения наибольшее применение нашли конструкции на основе рядных передач.

В КПП на основе рядных передач, повышение или понижение крутящего момента осуществляется путем подбора соответствующей пары шестерня-колесо (рис. 1).

К основным достоинствам рядных передач можно отнести: простоту конструкции и возможность организации как автоматического, так и механического способов выбора передач. Недостатками данной схемы являются увеличение габаритных размеров в осевом направлении при увеличении числа ступеней и, как следствие, увеличение массы изделия.

Планетарные передачи наибольшее распространение в гражданском автомобилестроении получили совместно с автоматическим типом переключения (рис. 2).

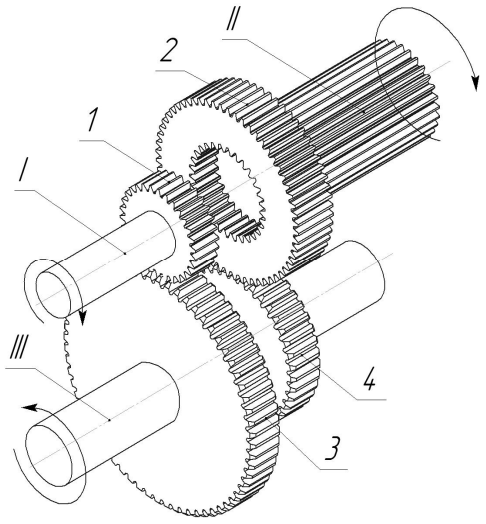


Рис. 1. Схема работы МКПП: I-первичный вал; II-вторичный вал; III-промежуточный вал; 1,4 –шестерни; 2,3-колеса

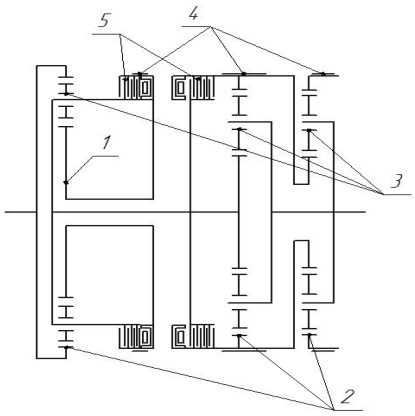


Рис. 2. Кинематическая схема автоматической коробки переключения передач: 1-солнечная шестерня; 2-коронная шестерня; 3-сателлиты; 4-тормоз; 5- сцепление

Изменение передаточного числа в планетарных рядах осуществляется посредством торможения каких-либо ее звеньев. Как правило в КПП используется измененный планетарный ряд, простой планетарный ряд не используется в КПП из за малого числа ступеней.

В числе основных достоинств автоматической планетарной КПП - большая комфортность в пути. Обеспечиваются благоприятные условия использования мотора, ходовой части в связи с наличием гидротрансформатора. Машины с автоматической КПП обладают повышенной проходимостью, плавностью движения.

К недостаткам автоматической планетарной КПП относятся: низкий КПД, и следовательно неэкономичность автоматической КПП, автомобили с автоматической КПП менее грузоподъёмные, обладают плохими динамическими характеристиками при старте, так же автоматические КПП отличает меньшая надежность и ремонтопригодностью по сравнению с механической рядной КПП.

Отдельно рассмотрим КПП на основе вариаторных передач или так называемые бесступенчатые КПП. В них передача крутящего момента осуществляется посредством сил трения (рис. 3).

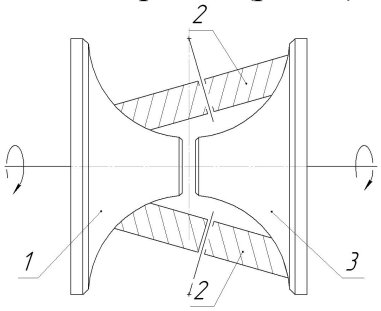


Рис. 3. Принцип работы пар трения в вариаторной передачи: 1-ведущий каток; 2-промежуточные катки; 3-ведомый каток

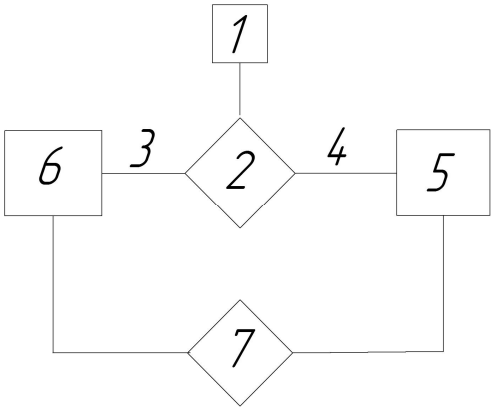


Рис.4. Блок схема предложенной гибридной КПП

Данные передачи отличаются простотой конструкции, плавностью изменения крутящего момента и комфортностью использования, однако они обладают посредственной надежностью, не приспособлены для тяжелых дорожных условии (больших нагрузок). Большинство типов вариаторных КПП обладают следующими недостатками: малым ресурсом и не ремонтопригодностью, при движении по пересеченной местности и бездорожью, однако некоторые схемы неплохо зарекомендовали себя при использовании автомобиля на дорогах с хорошим покрытием. В основном такими качествами как высокий ресурс, возможность быстрого ремонта обладают вариаторные КПП на основе клиноременной передачи, где ремень представляет из себя конструкцию из наборных стальных пластинок. После рассмотрения основных типов используемых в автомобиле строении передач можно сделать вывод, данный вид передач наиболее удобен для движения по асфальтированным дорогам при длительных переездах.

Рассмотрев наиболее распространенные типы КПП и увязывая их достоинства и недостатки с дорожными условиями эксплуатации полноприводных автомобилей, приходим к выводу, что наиболее оптимальным вариантом для полноприводных автомобилей при эксплуатации их в тяжелых дорожных условиях, является механическая планетарная КПП. Данный тип КПП обладает меньшими массогабаритными параметрами, способна передавать высокие крутящие моменты, обладает высокой надежностью, однако при движении с большой скоростью данная КПП будет значительно снижать КПД трансмиссии автомобиля. Для избавления от этого недостатка целесообразно после планетарного ряда поставить вариаторную передачу и осуществить ее включение в работу при достижении определенной скорости движения посредством механического включения. Принцип работы предложенного типа КПП представлен на рисунке 4.

Согласно блок-схеме, крутящий момент передаваемый двигателем (1) будет идти по одному из двух направлений: при движении с малой скоростью, или при движении по сложным дорожным условиям (3) передача момента будет осуществляться через планетарный ряд (6), тем самым полностью используя его достоинства, при движении с большой скоростью (4) крутящий момент будет идти в обход планетарного ряда через вариаторную передачу (5), тем самым повышая КПП всей трансмиссии в целом. После выбора оптимального типа передачи для данных дорожных условий момент будет передаваться дальнейшими устройствами на колеса автомобиля (7). Данная схема позволяет использовать перечисленные достоинства и недостатки обоих типов передач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольд Б.В. Конструирование и расчет автомобиля//МАШГИЗ.-1962.-№2-С.461.

2. Леонов А.И., Дубровский А.Ф., Механические бесступенчатые нефрикционные передачи непрерывного действия//М.: Машиностроение.-1984.-С.192-ил.

3. Синтез планетарных передач без избыточных связей/ Инновации машиностроения: сборник трудов международной молодежной конференции.-Томск: Изд-во Томского политехнического университета,2012.-459 с.

4. Евсеенко И.А. Снижение динамической нагруженности элементов в контуре циркуляции мощности планетарной коробки передач автомобиля // Вестник машиностроения. – 2011. – Т. 316. – № 3. – С. 14–18.

5. Фасхиев Х.А. Кинематический расчет дифференциального механизма автоматической коробки передач // Вестник машиностроения. – 2012. – Т. 316. – № 2. – С. 21–27.

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЦИРКОНИЕВОЙ НАНОКЕРАМИКИ

Крылов Н.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Спекание керамических материалов в электромагнитных полях СВЧ-диапазона характеризуется множеством различий от традиционного конвекционного спекания. Основное отличие - объемная природа

поглощения СВЧ-энергии большинством керамических материалов. Следовательно, при СВЧ-спекании нет никаких ограничений на скорость нагревания изделий, вырожденных для традиционных методов, где процесс теплопередачи идет от горячей внешней поверхности изделия к центру [1]. Реализация СВЧ-спекания позволяет надеяться не только на отмеченное сокращение потребления энергии и времени, но также и подготовку керамических материалов с улучшенными структурными и физико-механическими свойствами.

В данной работе представлена высокоэнергетическая технология и свойства нанокерамики на основе диоксида циркония.

В качестве объекта исследования рассматривается ультрадисперсный порошок частично-стабилизированного диоксида циркония (ZrO2–3вес.%Y2O3), полученный методом высокочастотной плазмохимии из растворов азотнокислых соединений циркония, алюминия и иттрия.

Прессование порошка проводилось методом двухстороннего магнитно-импульсного компактирования, разработанного в ТПУ, под руководством профессора Сивкова А.А. В отличие от традиционных статических методов прессования, данный способ позволяет получать прессобразцы с плотностью до 0,8 от теоретического значения. Столь высокие значения плотности обеспечивают спекание компактов при пониженных температурах и меньшее время выдержки. Данное обстоятельство позволяет замедлить процесс рекристаллизации (рост зерен), что положительно сказывается на физико-механических характеристиках готовой керамики.

Прессобразцы представляют собой таблетки диаметром 5 мм и высотой 2…4 мм. Прессование проводилось в диапазоне давлений от 1,2 до 2,4 ГПа [2].

Спекание компактов проводилось в микроволновой печи мощностью 15 кВт и частотой 30 ГГц. Для предотвращения раскалывания образцов, которое возникает на начальных стадиях микроволнового нагрева, скорость подъема температуры устанавливали 50 град/мин. (определено экспериментально). При достижении температуры спекания образец выдерживался 10 мин. Процесс охлаждения не контролировался и шел вместе с печью.

Для полученных проб была определена плотность методом гидростатического взвешивания. Кинетика уплотнения для образцов, полученных при различных давлениях прессования и спеченных в микроволновой печи представлена на рис. 1(а). Как может быть отмечено, характер изменения плотности от температуры спекания для всех проб одинаков и имеет явный максимум при температуре 1400˚С. Этот эффект нами ожидаем и связан, прежде всего, с высокой начальной плотностью

прессобразцов. Дальнейшее увеличение температуры спекания, приводящее к снижению плотности, по нашему мнению, связано с образованием микротрещин за счет процесса рекристаллизации. Для подтверждения данного суждения нами была проведена работа по оценке микротвердости (по методу Виккерса) всех образцов (рис. 1(б)), а также исследована микроструктура керамики с помощью электронного микроскопа HITACHI S-800 (рис. 2).

Как видно из данных рис. 1(б) максимальной твердостью обладают все образцы керамики, спеченные при температуре 1400˚С. Низкие значения твердости при более низких и более высоких температурах спекания относительно 1400˚С, связано, в первом случае с еще недостаточно спеченной структурой, во втором - растрескивание образца за счет процесса рекристаллизации.

На основании данных рис. 1(а) и 1(б) можно так же сказать, что максимальные значения плотности (95%) и микротвердости (1260 HV) характерны для образцов циркониевой керамики, прессобразцы которой получены при максимальном давлении прессования – 2,4 ГПа. Для сравнения: аналогичные прессобразцы, полученные при 2,4 ГПа, но спеченные по традиционной технологи имеют микротвердость на уровне 800 HV.

Анализ данных, представленных на рис. 2 подтверждает выдвинутую гипотезу о растрескивании образца при высоких температурах спекания за счет процесса рекристаллизации. Действительно, при низких температурах спекания (рис. 2(а)) частицы порошка припекаются друг к другу только в местах контактов. Залечивание пор находиться в начальной стадии. При дальнейшем увеличении температуры процесс залечивания ускоряется, одновременно с ним идет процесс роста зерен. На рис. 2(б) представлена оптимальная ситуация, при которой поровая структура практически отсутствует (не залечены только поры больших размеров), а размер зерна изменился незначительно (200…300 нм). Именно в данном случае нами и были получены максимальные значения плотности и микротвердости циркониевой керамики. Дальнейший рост температуры спекания приводит к ускорению процесса рекристаллизации, вызывающего образование новых микротрещин и пор. Данная ситуация представлена на рис. 2(в).

При температуре спекания 1600˚С размер зерен составляет единицы микрон. Образованные за счет рекристаллизации микротрещины, а также большие поры залечиваются, в итоге полученная микроструктура керамики представлена на рис. 2(г). Данное положение также согласуется с ростом плотности керамики, представленной на рис. 1(а).

Таким образом, в данной работе представлены результаты спекания циркониевой керамики в микроволновом поле. На основании данных, установлена оптимальная технология получения керамики на основе ZrO2.

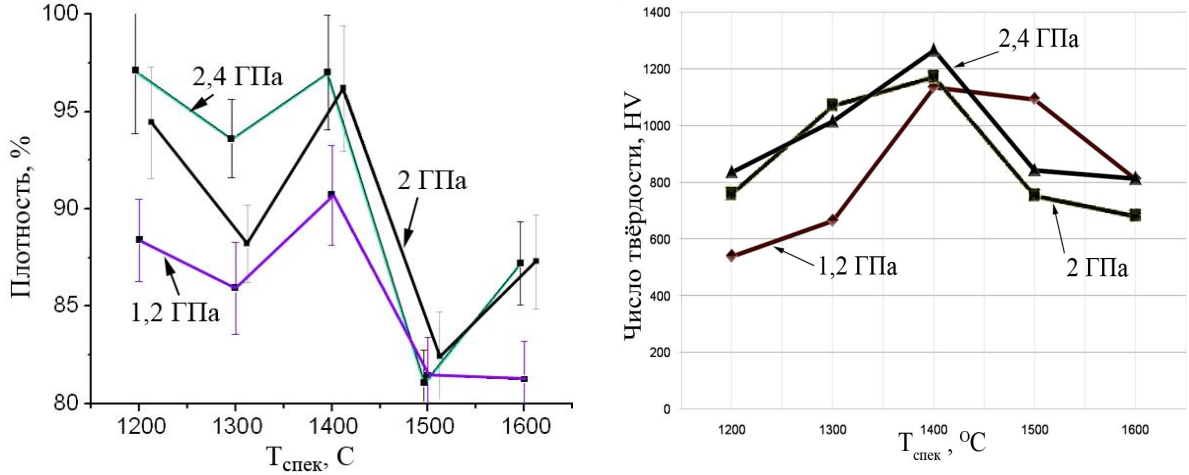


Рис. 1 Влияние температуры спекания на плотность и микротвердость циркониевой керамики

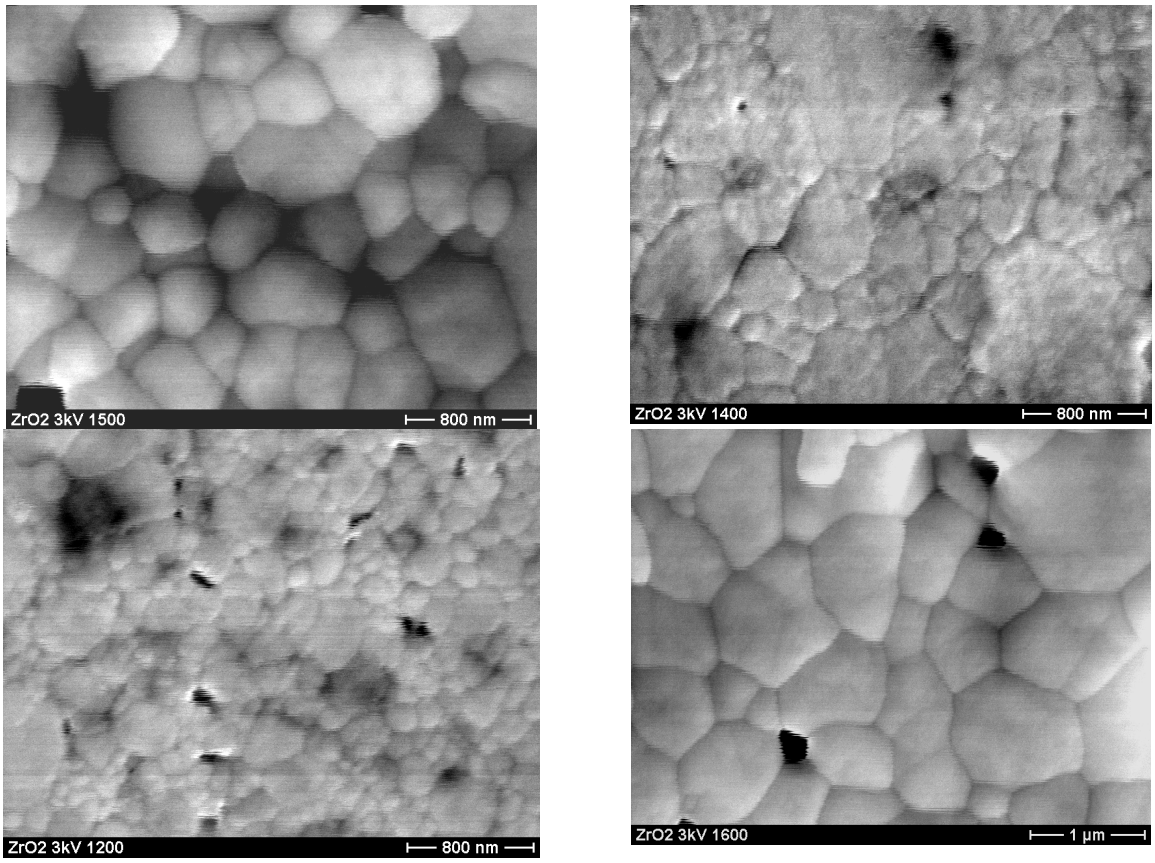


Рис. 2 Динамика роста зерен в циркониевой керамики в зависимости от температуры спекания

Анализируя результаты, представленные на рис. 1 и 2, можно сказать, что оптимальным режимом спекания для циркониевой керамики является температура 1400˚С. При данной температуре спекания плотность и микротвердость керамики имеют максимальные значения, а структура керамики находится в нанокристаллическом состоянии.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. H. Sutton, "Микроволновая обработка керамических материалов," Ceram. Bull. 68, № 2, 376-386 (1989).

2. Анненков Ю.М., Ивашутенко А.С., Иванов В.В., Кондратюк А.А. Эффективность методов прессования корундо-циркониевых порошков различной дисперсности // Известия ТПУ, №7, Том 308, 2005 г. С. 39-42.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАК СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Акарачкин С.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В области практического материаловедения стоит задача создания керамических материалов, способных успешно конкурировать по механическим свойствам с металлами и сплавами. Поставить керамику в разряд полноценных высококачественных материалов можно только используя нетрадиционные керамические технологии. Так, в Японии в основном ориентируются на дорогостоящие приемы газостатического спекания керамики. Аналогичных результатов, но при существенно меньших материальных затратах, можно достичь путем использования в керамическом производстве высокоэнергетических воздействий (плазма, электронные и ионные пучки, ВЧ-излучение, магнито-импульсная обработка).

Именно такая концепция разрабатывается в последние годы в Томском политехническом университете. Многочисленные опытные данные свидетельствуют о том, что решающее влияние на свойства керамики оказывает зернистая структура материала. Анализ экспериментальных результатов и теоретические положения позволили заключить, что перевод керамики в нанокристаллическое состояние может придать этим материалам новые позитивные свойства: сверхвысокую

прочность, сверхпластичность, уникальные магнитные, диэлектрические и сверхпроводящие характеристики.

Особенность нашей работы состоит в применении высокоэнергетических воздействий при создании нанокерамики.

Нами [3, 4] была предложена вероятная технология получения высокопрочной керамики основными элементами, которой являются:

- плазмохимическое получение ультрадисперсных порошков (УДП);
- магнитно-импульсное компактирование;
- спекание в ВЧ или СВЧ поле.

В работе исследовался ультрадисперсный порошок (УДП) системы Al2O3 – (ZrO2+Y2O3), синтезированный методом высокочастотной плазмохимии из растворов азотнокислых соединений циркония, алюминия и иттрия (Сибирский химический комбинат). Анализ порошка показал, что эффективный размер кристаллитов составляет порядка 20-30 нм.

Следующей целью работы было формование изделия до максимально возможной плотности. Традиционные статические методы не позволяют получить высокоплотные компакты и особенно данный вопрос стоит при работе с УДП. Нами [1,2] были рассмотрены несколько способов компактирования: одноосное, ультразвуковое, магнитно-импульсное. Результаты сравнения показали безусловную эффективность магнитно-импульсного прессования. Образцы имели плотность (0,7-0,8) от теоретического значения, в то время как прессовки, полученные одноосным и ультразвуковым способами, имели сопоставимые результаты на уровне (0,4-0,5).

Спекание образцов проходило по традиционной технологии в атмосфере воздуха. Исследование их показало следующие результаты: прессовки изготовленные методами одноосного и ультразвукового компактирования хорошо спекаются при температуре 1700˚С и имеют низкую пористость, а образцы изготовленные магнитно-импульсным способом - 1300˚С.

Таким образом, магнитно-импульсное прессование позволяет получить компакты с относительной плотностью 0,7 и выше от теоретической плотности. Данный результат является залогом существенного снижения температуры спекания (на 400°С меньше в сравнении с ОДП), при этом процесс рекристаллизации оказывается задавленным и полученная керамика, исследованная методом рентгеноструктурного анализа, находится в нанокристаллическом состоянии.

Одним из методов снижения температуры и продолжительности нагрева является воздействие электрического поля высокой (ВЧ) и сверхвысокой частоты (СВЧ). Высокочастотное электрическое поле может

быть использовано, как источник создания теплового поля в диэлектрических материалах, а также как интенсификатор процессов массопереноса и твердо-фазовых реакций.

Экспериментально фиксируемое ускорение твердо-фазовых реакций синтеза веществ, снижения температуры (на 200-400°С) и значительное сокращение времени протекания реакций (в 3-5 раз) при действии электрического поля высокой частоты связано с поглощением его энергии реагирующими веществами. Мощность выделяемой тепловой энергии ВЧ-поля внутри диэлектрика пропорциональна параметрам ВЧ-поля, диэлектрическим характеристикам нагреваемого материала.

Суммируя вклад магнитно-импульсного компактирования и высокочастотного спекания можно ожидать снижение температуры спекания на (600 – 700)˚С. Такое снижение температуры позволит затормозить процесс рекристаллизации и получить мелкозернистую структуру.

Таким образом, в первом приближении, уже возможно получать керамику с нанокристаллической структурой. Использование высокоэнергетических технологий позволяет получать действительно уникальные материалы с уникальными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1.Ивашутенко А.С. Ультразвуковое компактирование керамики. Сборник трудов региональной НТК студентов, аспирантов и молодых ученых “Наука, техника, инновации”, Новосибирск, 2002 г.

2. Ивашутенко А.С., Цыганок О.А. Сравнение различных способов прессования оксидных ультрадисперсных порошков. Сборник трудов региональной НПК, Томск 2004.

3. Анненков Ю.М., Ивашутенко А.С. Разработка технологии получения оксидной нанокерамики методами высокоэнергетического воздействия. Сборник трудов 12-й международной конференции "Радиационная физика и химия неорганических материалов", Томск, 2003 г., с. 131-141.

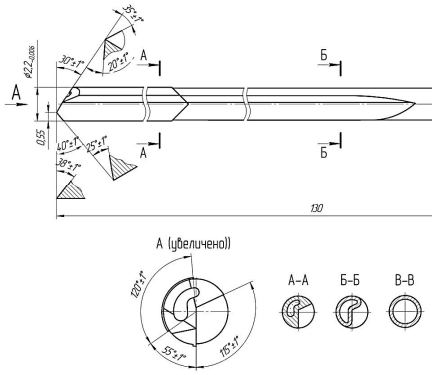
4. Анненков Ю.М., Ивашутенко А.С. Разработка технологии получения оксидной нанокерамики методами высокоэнергетического. Сборник трудов 9-й Всероссийской НПК "Перспективные материалы, технологии, конструкции, экономика", Красноярск, 2003 г. Выпуск 9, ч.1, с. 105-108.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ РУЖЕЙНЫХ СВЁРЛ ДИАМЕТРОМ 2,22ММ

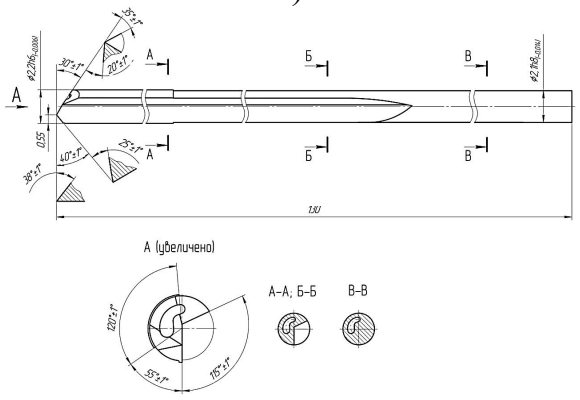
Бабаев А.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

При производстве топливной аппаратуры (форсунки, распылители и др.) возникает потребность в сверлении глубоких отверстий диаметром менее 3 мм. Для этой цели чаще всего используют «классические», а в последнее время и цельные твёрдосплавные ружейные свёрла, выпуск которых относительно недавно освоил ряд немецких фирм: Botek, Guhring, Tiefbohrtechnik.

«Классическое» ружейное сверло (рис. 1, а) состоит из твёрдосплавного наконечника припаянного к стальному стеблю. У цельного твёрдосплавного ружейного сверла (рис. 1, б) наконечник и стебель составляют единый твёрдосплавный стержень. Его модуль упругости более, чем в 3 раза превышает модуль упругости стебля «классического» ружейного сверла.



а)



б)

Рис. 1. Ружейные свёрла: а – «классическое»; б – цельное твёрдосплавное

Поэтому по сравнению с последним цельные твёрдосплавные ружейные свёрла обладают большими жёсткостью, прочностью, виброустойчивостью и, как следствие, большей производительностью. Отсюда следует, что эти свёрла должны обладать и разными технологическим возможностями, сведения о которых в литературе отсутствуют. В этой связи в ОАО «Барнаултрансмаш» были проведены сравнительные испытания ружейных свёрл обеих конструкций (рис. 1) специально изготовленных по нашим чертежам фирмой Botek, руководству которой автор приносит глубокую благодарность.

Испытания проводили путём сверления на станке модели BEM 84/0,25 фирмы SIG (Швейцария) отверстий диаметром 2,22 мм и глубиной 60 мм в заготовках из стали Сталь 45, чугуна СЧ15 и дюралюминия Д16Т. Режим сверления: частота вращения сверла n=7100 мин-1 (скорость резания V=49 мм/мин), подача – SM=63 мм/мин, давление смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) марки МР-7 р=4…5 МПа.

Всего было просверлено 18 заготовок по три заготовки для каждого сочетания конструкции сверла и обрабатываемого материала. Диаметр отверстий измеряли нутромером повышенной точности фирмы Carl Ziess (Германия), предварительно разрезав заготовки на кольца шириной 7 мм. Шероховатость отверстий контролировали профилометром-профилографом Form Talysurf фирмы Rank Taylor Hobson (Великобритания).

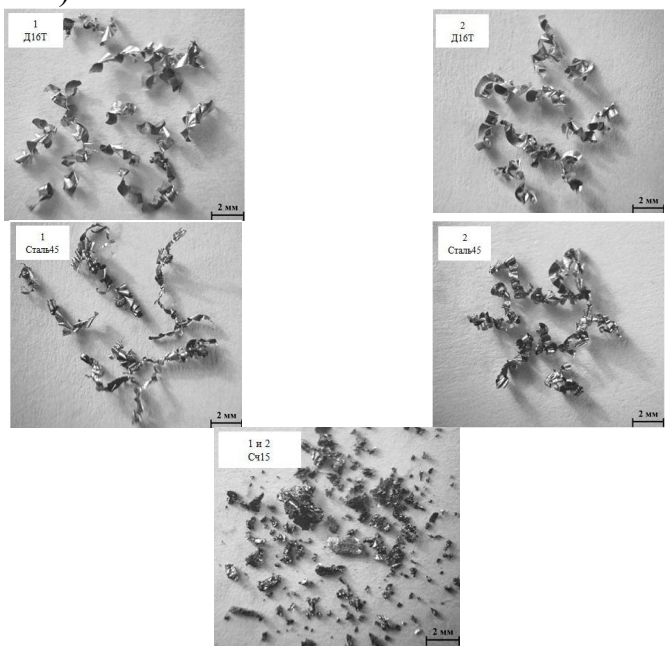


Рис. 2. Формы стружки, образующейся при сверлении глубоких отверстий ружейными свёрлами Ø2,22
(1- «классическое» сверло, 2 – цельное твёрдосплавное сверло)

В процессе сверления осуществлялся непрерывный контроль образующейся стружки, при этом во всех случаях стружка имела транспортабельную форму, не зависящую от конструкции сверла (рис. 2).

Измерения диаметров отверстий показали, что при засверливании имеет место повышенная разбивка отверстий (рис. 3). При этом цельные твердосплавные ружейные свёрла благодаря большей жёсткости обеспечивали и большую разбивку отверстий. А из-за пониженной выглаживающей способности этих свёрл, также вызванной высокой жёсткостью стебля, наблюдается рост шероховатости поверхности отверстий (рис. 4).

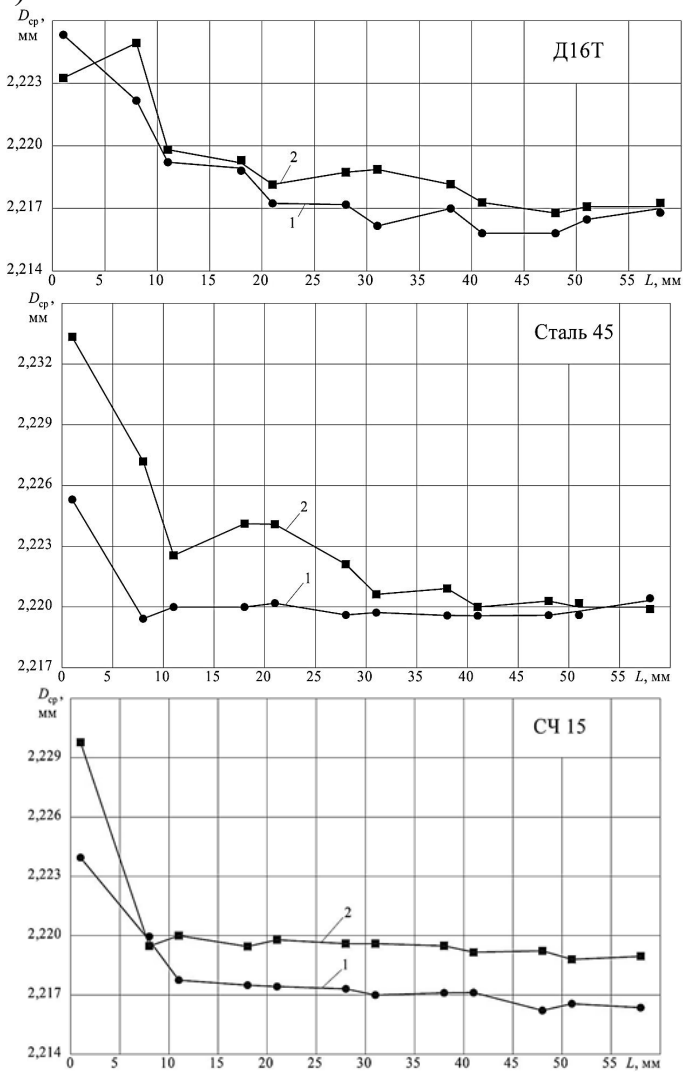


Рис. 3. Изменение среднего диаметра Dcp отверстий по их длине L:
1 – «классическое» ружейное сверло;
2 – цельное твёрдосплавное ружейное сверло

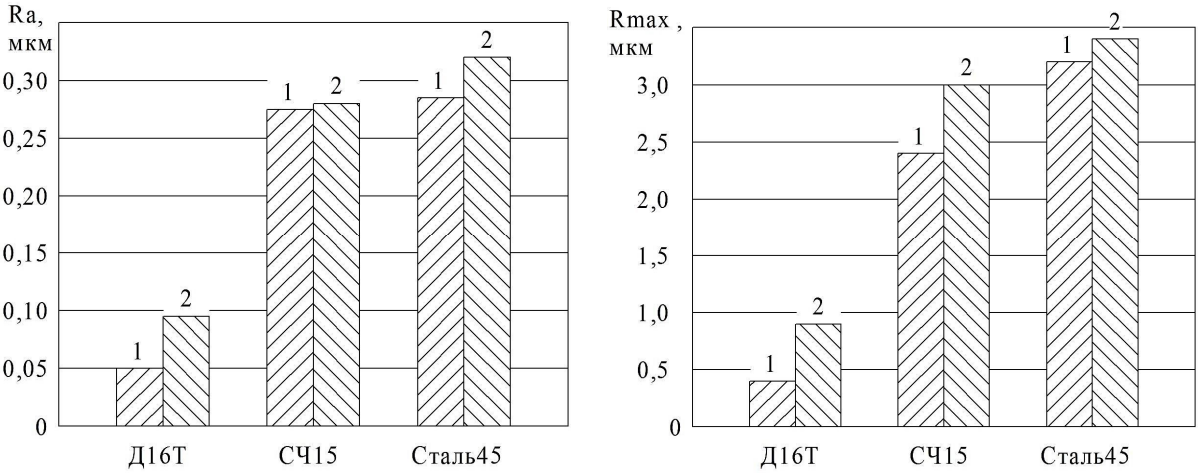


Рис. 4. Шероховатость поверхности отверстий просверленных ружейными свёрлами:
1 – «классическими»; 2 – цельным твёрдосплавными

Установленные закономерности позволяют более обоснованно подходить к назначению диаметров ружейных свёрл и к разработке маршрута обработки глубоких отверстий с точки зрения достижения требуемой точности и шероховатости поверхностей отверстий.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗВЕРШИННОГО РЕЗЦА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА КОСОУГОЛЬНОГО ТОЧЕНИЯ

Вербицкая О.Ю., Филиппов А.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Косоугольное точение безвершинным резцом осуществляется инструментом с прямолинейной режущей кромкой, повернутой на угол ω по отношению к оси заготовки (см. Рис. 1). Основными направлениями исследования этого метода является определение влияния угла наклона режущей кромки на качество обработанной поверхности и силу резания в процессе обработки. Однако существуют разнообразные подходы к описанию геометрических параметров инструмента, силовых и деформационных процессов в зоне стружкообразования. В связи с этим было решено рассмотреть геометрические параметры процесса, используя метод векторной алгебры и положения ГОСТ [1].

Одной из важных характеристик процесса механической обработки является глубина резания. При косоугольном продольном наружном точении безвершинным резцом глубина резания вдоль режущей кромки

будет переменной, её максимальное значение будет в точке О (см. Рис. 1), что определяется формулой (1).

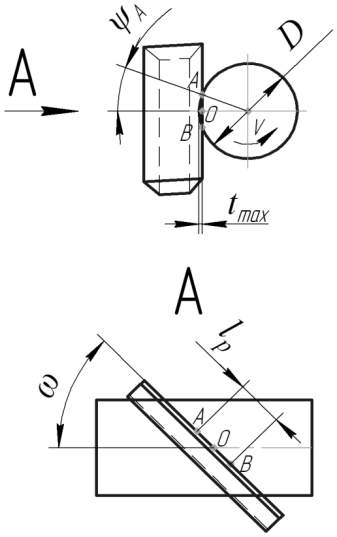


Рис.1. Схема к определению рабочей длины режущей кромки безвершинного резца

$$t_{\max} = \frac{D \cdot \left[1 - \cos\psi_A\right]}{2} \qquad (1)$$

где ψA – угол наклона основной плоскости.

Рабочая длина режущей кромки есть длина участка главной режущей кромки, находящаяся в соприкосновении с поверхностью резания [2].

Авторы работ [2, 3] для определения рабочей длины режущей кромки приводят формулу (2):

$$b = \frac{\sqrt{R^2 - r^2}}{\sin\lambda} \qquad (2)$$

где R – радиус обрабатываемой поверхности;

r – радиус обработанной поверхности;

λ – угол наклона режущей кромки.

В ходе построения геометрической модели процесса косоугольного точения было установлено, что формула (2) дает не точный результат, имеет место погрешность порядка 4% во всем диапазоне изменения диаметра обработки, глубины резания и угла наклона режущей кромки.

С целью устранить имеющуюся погрешность в расчетах, была выведена формула (2), проверка проводилась графически в среде трехмерного моделирования Компас 3D. Совпадение результатов рассчитанных по формуле (3) и измеренных графически составило боле 99%, что входит в допущенную погрешность округления.

$$l_p = \left| \frac{D \cdot \sin\psi_A}{\sin\omega} \right| \qquad (3)$$

где ψA – угол наклона основной плоскости.

Значение ψA можно определить по формуле:

$$\psi_A = \pm \mathrm{arc}\cos\left(\frac{D-2t_{\max}}{D}\right).$$

На рисунке 2 представлен график зависимости изменения рабочей длины режущей кромки от глубины резания для различных значений угла наклона лезвия ω при постоянном значении диаметра обрабатываемой заготовки. Как видно из графика с увеличением глубины резания будет увеличиваться рабочий участок режущей кромки, причем увеличение будет большим при меньших значениях угла ω.

На рисунке 3 представлен график зависимости изменения рабочей длины режущей кромки от диаметра обрабатываемой заготовки. как видно из графика с увеличением диаметра, lp будет увеличиваться.

Стоит отметить, что характер представленных зависимостей (см. Рис. 1, 2) достаточно одинаков, так максимальное увеличение lp будет при значении ω=30°, увеличение lp с ростом tmax и D будет постепенно затухать во всех случаях.

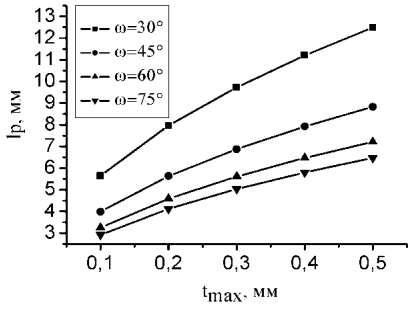


Рис. 2. График зависимости изменения рабочей длины режущей кромки от максимальной глубины резания для различных значений ω, D=20 мм

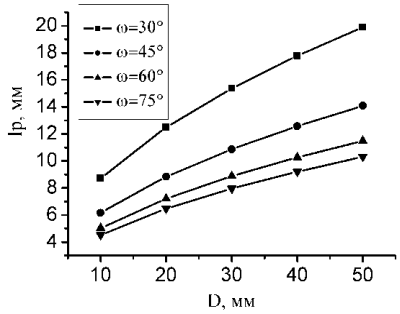


Рис. 3. График зависимости изменения рабочей длины режущей кромки от диаметра обрабатываемой заготовки для различных значений ω, tmax=0,5 мм

Определение значения lp является важной задачей при проектировании безвершинного резца, и определении геометрических параметров процесса косоугольного точения, поскольку позволит установить предельные значения tmax, D и ω при эксплуатации инструмента.

Для исследования процесса косоугольного точения безвершинным резцом возникла необходимость спроектировать инструмент с возможностью крепления в его корпусе сменной многогранной пластины (СМП) из твердого сплава и поворотной частью для изменения угла ω. Так же важным является возможность изменения переднего угла инструмента γ, который оказывает существенное влияние на деформационные процессы в зоне резания. На основе этих требований была разработана трехмерная модель безвершинного резца (см. Рис. 4).

Поворотная часть 3 устанавливается в державку 4, для точного базирования предусмотрен укороченный конус Морзе В18, фиксация углового положения осуществляется при помощи гаек 5. К поворотной части 3 при помощи винтов крепится сменная опорная часть 2, в которую устанавливается СМП. Опорная часть изготавливается таким образом, чтобы обеспечить требуемое значение переднего и заднего угла инструмента.

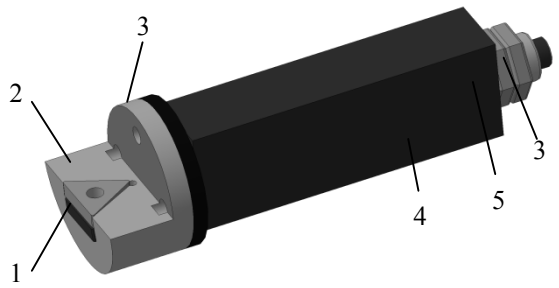


Рис. 4. 3D модель безвершинного резца для косоугольного резания: 1 – СМП, 2 – сменная опорная часть, 3 - поворотная часть, 4 – державка, 5 – гайка

Применение СМП треугольной формы обусловлено широкой распространённостью пластин данного типа, достаточно большой протяженность режущей кромки (в работе может участвовать до 19 мм) и возможность использовать все три режущее кромки по мере их износа.

Выводы:

1. Как видно из графиков (Рис. 2, 3) на процесс косоугольного точения безвершинным резцом существенное влияние оказывают диаметр обрабатываемой заготовки и глубина резания.

2. Представленная конструкция безвершинного резца позволит, провести исследования процесса косоугольного точения варьируя значения угла наклона режущей кромки и переднего угла инструмента, в широком диапазоне глубины резания и диаметра обрабатываемой заготовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 25762-83 Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий. 45с.

2. Галоян Г.П. Теоретические основы нового процесса диагонального точения с обоснованием путей его реализации: дис. канд. техн. наук: Спец.05.03.01. / Г. П. Галоян ; Ереванский политехнический институт им. К. Маркса. Ленинаканский филиал; Ленинакан, – 1986. – 157 л.

3. В.Ф. Бобров. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. М., Машгиз, 1962. – 152 с.

ИСЛЕДОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ И ОБОЛОЧКОЙ ИЗ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТА

Жаркова И.Б.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Полимерные материалы обладают комплексом характеристик, которые обеспечивают эффективные эксплуатационные свойства изделий и рентабельность производства. Электрическая изоляция и защитные покровы кабелей выполняются преимущественно из полимеров. Автоматизация производственных процессов вызывает широкое распространение гибких и особо гибких кабелей. В последние годы при разработке или усовершенствовании кабелей, предназначенных для эксплуатации в атомных электростанциях, метрополитенах, на судах, в офисных помещениях применяют новые материалы, поведение которых при тепловом старении не всегда хорошо изучено. Одним из «новых материалов» применяемых для изготовления гибких и особо гибких кабелей являются термоэластопласты (ТЭП) [1]. В настоящее время в России отмечается интенсивный рост как производства ТЭП, так и выпуск изделий из них. Из-за малого опыта применения этих материалов, данных

о влиянии старения на эксплуатационные свойства ТЭП сегодня недостаточно.

Целью данной дипломной работы является изучение влияния теплового старения кабелей с изоляцией и оболочкой из термоэластопласта на механические свойства оболочки.

Задачи, поставленные в дипломной работе:

из существующей номенклатуры гибких кабелей с изоляцией и оболочкой из термоэластопласта выбрать марки, отличающиеся типами термоэластопластов в конструкции;

провести тепловое старение образцов отобранных марок кабелей;

провести измерение относительно удлинения (ε) и прочности на разрыв (σ) оболочек кабелей в зависимости от времени старения;

провести статистическую обработку данных экспериментов;

провести сравнительный анализ полученных результатов.

Наблюдение за образцами в ходе проведения испытаний на исследование механизма теплового старения контрольных кабелей показало, что процесс старения кабеля из оболочки из олефинового и уретанового ТЭП имеют различия. В кабелях ÖLFLEX 500P, ÖLFLEX440 P уже через 60…220 часов происходит достаточно быстрое ухудшение механических свойств (ε и σр), что видно на рисунках 1, 2. В кабеле ÖLFLEX ROBUST 200 ухудшение свойств происходит медленнее.

По мере старения материала происходит монотонное уменьшение ε. Как видно из рисунка 2 , оболочка кабелей ÖLFLEX 500P, ÖLFLEX440 P вплоть до 820 часов старения демонстрирует значения ε > 230%, что свидетельствует о сохранении эластического характера процесса деформации.

Относительное удлинение (ε) материала оболочки ÖLFLEX 500P, ÖLFLEX440 P уменьшается быстрее, чем кабеля ÖLFLEX ROBUST 200. Это связано с различием типов ТЭП, используемых для изготовления оболочки.

В оболочке, выполненной из ТЭП блок-сополимерного типа, старение происходит быстрее, чем в оболочке выполненной из ТЭП смесевого типа. Это можно объяснить тем, что температура эксплуатации уретанового ТЭП меньше, следовательно, при воздействии одинаковой повышенной температуры старение материала будет происходить быстрее. Так как старение, прежде всего, оказывает влияние на аморфную фазу, то ее состав и количество тоже могут влиять на скорость ухудшения свойств.

В процессе старения происходит испарение пластификатора из материалов, что приводит к усилению межмолекулярных взаимодействий.

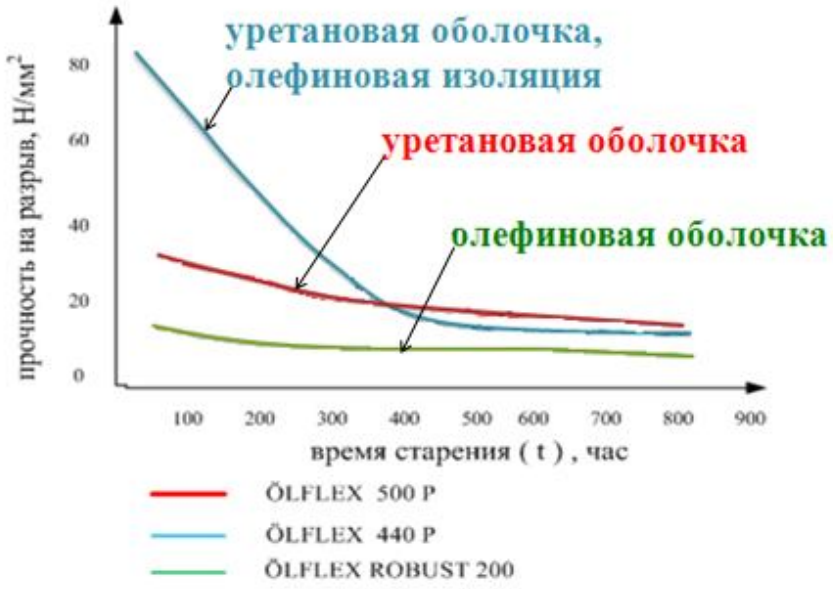


Рис. 1. Зависимости σр оболочек от времени старения t при температуре Тст = 130 0С

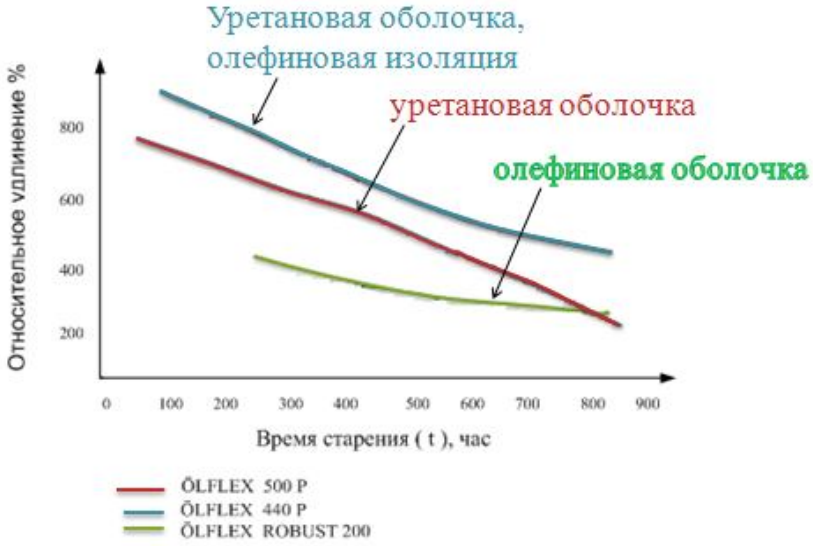


Рис. 2. Зависимости ε от времени старения при температуре Тст = 130 0С

Старения кабелей оболочка и изоляция которого представлены одним видом ТЭП не имеет существенных отличий от кабелей изоляция и оболочка которого представлены различными видами ТЭП [2]. Единственное отличие заключается в том. что при старении в кабелях с одним видом ТЭП величины ε и σ немного меньше чем, в кабелях с различным видом ТЭП. Однако отличие незначительно и вероятно, связано с различием состава каждого вида ТЭП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Термоэластопласты/под ред. В.В.Моисеев. - М.: Химия. - 1985. 183 с.

2. Павлов Н.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях. - М.: Химия. - 1982. 224 с.

КОМПАКТИРОВАНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ КОРУНДО-ЦИРКОНИЕВЫХ ПОРОШКОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКЕРАМИКИ

Ивашутенко А.С., Анненков Ю.М.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Для получения нанокерамики, необходимо выполнить три основных условия: 1) использовать наноразмерные ультрадисперсные порошки, 2) обеспечить плотность компакта не ниже (0,7-0,8) от теоретический плотности керамики, 3) подавить рекристаллизационный рост зерен при спекании керамики, для чего добиться макимально возможного снижения температуры спекания.

Настоящая работа посвящена анализу технологий, обеспечивающих выполнение второго условия.

В работе использованы ультрадисперсные оксидные корундо-циркониевые порошки состава 20вес.%Al2O3-80вес%(ZrO2+3вес%Y2O3), полученные плазмохимическим методом, и имеющие наноразмерную структуру [1]. Ультрадисперсные корундо-циркониевые порошки (УДКЦП) компактировались тремя методами:

Одноосное статические прессование (ОСП) при давлении P=500МПа,

Ультразвуковое компактирование (УЗК) в прессформе, которая возбуждалась ультразвуком от генератора с частотой 23 кгц и мощностью 5кВт. Давление прессования при этом равнялось 50 МПа [2],

Магнитно-импульсное прессование (МИП) проводилось в Институте электрофизики УрО РАН (лаборатория проф. Иванова В.В.) [3]. Порошок засыпался в специальную пресс-форму, подвергался в вакууме (1 Па) обезгаживанию при температуре 4500С. После этого с помощью магнитно-импульсного пресса на пуансон подавался импульс давления в течении 300 мкс., величина которого в максимуме составляла 1,4 ГПа.

Как следует из данных табл., наиболее эффективным способом формования УДКЦП является МИП. Действительно, при этом пористость

компакта не превышала 27%, что на (15-22)% меньше, чем обеспечивают методы УЗП и ОСП. Высокая плотность компактов дает основание надеяться на снижение температуры спекания и получение мелкозернистой керамики.

Таблица 1.

Результаты компактирования и спекания ультрадисперсных корундо – циркониевых порошков состава : 20вес.%Al2O3 - 80вес%(ZrO2+3вес%Y2O3)

Способ и условия компактирования	Плотность (ρ), пористость (П%) компакта, усадка (У %)			Температура спекания (ºС)	Характеристики образцов после спекания			
	ρ, гр/см3	П%	У, %		ρ, гр/см3	П%	Размер кристаллитов, (нм)	Микротвердость, ГПа
Одноосное: Рпр=500МПа, Тпр=200С	2,15	49-45	6,8 11,29 18,94 18,0	1400 1500 1600 1700	3,86 4,51 4,9 5,0	27,5 15,3 8,0 6,0	40 60 100 800	- - 12 15
Ультразвуковое: Рпр=50МПа Тпр=900С Wуз=4кВт, tоз=10мин	2,32	42		1400 1500 1600 1700	4,15 4,94 5,23	22,0 7,5 2,0		
Магнитно-импульсное: Рпр=1400МПа, Тпр=700С, вакуум	3,9	27	7,3 9,3	1300 1500 1600 1700	5,02 4,9 4,56 4,54	5,3 8,0 14,16 14,6	20 110 1000 2000	16 12 9 6

Для проверки данного предположения была проведена серия экспериментов по спеканию полученных компактов при разных температурах. Спекание компактов выполнялось в печи марки 72 1750, L. 3Ф фирмы “Термокерамика – 4Г” в течении одного часа при температурах (1300,1400, 1500,1600,1700)0С.

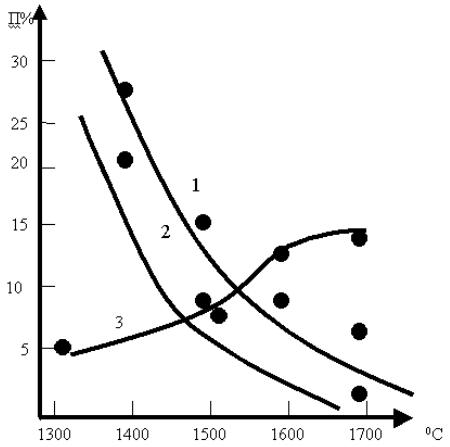


Рис.1. Зависимость пористости корундо-циркониевой керамики от температуры спекания при различных способах компактирования 1 – одноосное прессование (К1), 2 – ультразвуковое прессование (К2), 3 – магнитно-импульсное прессование (К3)

Результаты опытов приведены в табл.1. и на рис.1. Для компактов, поученных методами ООП и УЗП, наблюдаются нормальные закономерности: с ростом температуры спекания имеет место уменьшение пористости керамики. Однако для образцов, полученных методом МИП, наблюдается аномальная зависимость: пористость керамики с ростом температуры спекания увеличивается (кривая 3 на рис.1). Для объяснения экспериментальных результатов предлагается следующая гипотеза.

Компакты, полученные методом МИП, имеют повышенную плотность (см. табл.1), что естественно должно привести к снижению оптимальной температуры спекания (ТСПО). Если такой образец нагреть до температур выше ТСПО, то начинается рекристаллизационный рост зерен, сопровождающийся увеличением внутренних напряжений и снижением прочности керамической структуры. Когда этот процесс достигнет критической величины, то начинается микрорастрескивание керамики, что неминуемо приводит к увеличению пористости образца, измеряемой гидростатическим методом. Подобные явления наблюдались рядом авторов на других типах керамики и описаны, например, в [4].

Микрорастрескивание, стимулированное рекристаллизацией, должно иметь место в керамических структурах, исходно обладающих высоким уровнем внутренних напряжений. Вероятно, именно такая ситуация складывается для компактов, полученных магнитно-импульсным методом. Если следовать изложенному механизму, то для высокоплотных компактов, какими являются МИП-прессовки, должна наблюдаться следующая закономерность.

На начальных стадиях спекания с ростом температуры спекания, по мере усадки, пористость образца должна уменьшаться вплоть до оптимальной температуры спекания (ТСПО), При температурах выше ТСПО, за счет рекристаллизационного микрорастрескивания, пористость образцов должна увеличиваться. В нашем случае при ТСП выше 13000С мы наблюдали вторую стадию процесса, при которой растет эффективная пористость керамики.

Исходя из изложенных результатов, можно сделать вывод о том, что температура спекания ультрадисперсных корундо-циркониевых порошков, консолидированных магнитно-импульсным методом, лежит в пределах (1200-1300)0С .

Для проверки высказанного положения, нами выполнены исследования структуры и свойств корундо-циркониевой керамики, полученной разными способами прессования. Основные результаты приведены на рис.1. Отметим, что корундо-циркониевая керамика, полученная ООП, УЗП и МИП, обозначаются соответственно как К1, К2, К3. Методом рентгеноструктурного анализа показано, что средний размер зерен диоксида циркония для К3 по мере увеличения ТСП растет гораздо быстрее, чем для К1 и К2 и изменяется от 20 нм до 2 мкм, внутренние напряжения для К3 больше, чем для К1. Предложенная гипотеза полностью подтвердилась при исследовании пор с помощью оптического микроскопа. Кроме того, установлено, что при высоких температурах спекания (1500-1700)0С микротвердость керамики К3 меньше, чем К1 (см. табл.1), что хорошо подтверждает идею о рекристаллизационном растрескивании МИП-керамики. Для окончательного подтверждения предложенной интерпретации, в последующих публикациях будут изложены результаты изучения МИП-керамики, спеченной в более широком интервале температур.

Таким образом, метод магнитно-импульсного компактирования оксидных порошков представляет собой весьма эффективное и перспективное средство в технологии получения нанокерамики. Главным достоинством этого метода компактирования порошков является снижение температуры спекания оксидных прессовок на (300-400)0С, что приводит к резкому торможению рекристаллизационного процесса и получению нанокристаллической структуры керамики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дедов Н.В., Дорда Ф.А., Коробцев В.П. и др. // Новые промышленные технологии. 1994. Вып. 1 (261). С. 38.

2. Анненков Ю.М., Апаров Н.Н., Соколов В.М. и др Упрочнение корундоциркониевой керамики при ультразвуковом компактировании ультрадисперсных порошков. Стекло и керамика,1994, №11-12.

3. Иванов В.В., Вихрев А.Н., Ноздрин А.А. Прессуемость наноразмерных порошков Al2O3 при магнитно-импульсном нагружении. Физика и химия обработки материалов, 1997, №3, с.67-71.

4. Будников П.П., Балкевич В.Л., Бережной А.С. и др. Химическая технология керамики и огнеупоров. Изд-во литературы по строительству, М, 1972, С.552.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ РАЗРЯДА НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ТВЕРДЫХ СЛОИСТЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРИЛОЖЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Карпицкий О.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время широкое применение в качестве электрической изоляции высоковольтных устройств (высоковольтных вводов, конденсаторов, трансформаторов, электродвигателей и др.) находят различные композиционные слоистые диэлектрики. В процессе эксплуатации такие материалы могут повергаться воздействию не только нормальной, но и тангенсальной составляющих напряженностей электрического поля. Наличие в электроизоляционной конструкции тангенсальной составляющей напряженности поля может приводить к развитию разряда на границе раздела слоев композиционного материала в процессе эксплуатации. Это послужило основой для постановки данной работы.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

изучить зависимость времени развития разряда от величины воздействующего напряжения.

оценить влияние на развитие разряда на границе раздела свойств клеящего лака (компаунда).

Авторы [1] показали, что при непрерывно возрастающем напряжении развитие разряда в композициях с различными диэлектрическими материалами, может протекать по трем возможным направлениям. Это показано на рисунке 1. Из рис. 1 видно, что развитие разряда может протекать по трем направлениям. В шестидесяти процентах

(60 %) случаев разряд выходил на поверхность исследуемого диэлектрика с дальнейшим развитием по воздуху. В остальных случаях, разряд происходил либо на границе раздела исследуемого материала и подложки (20 %), либо с эффектом заглубления разряда в исследуемый диэлектрик (20 %).

В данной работе проводилось исследование особенностей развития разряда на границе раздела различных композиционных материалов при длительном воздействии приложенного напряжения.

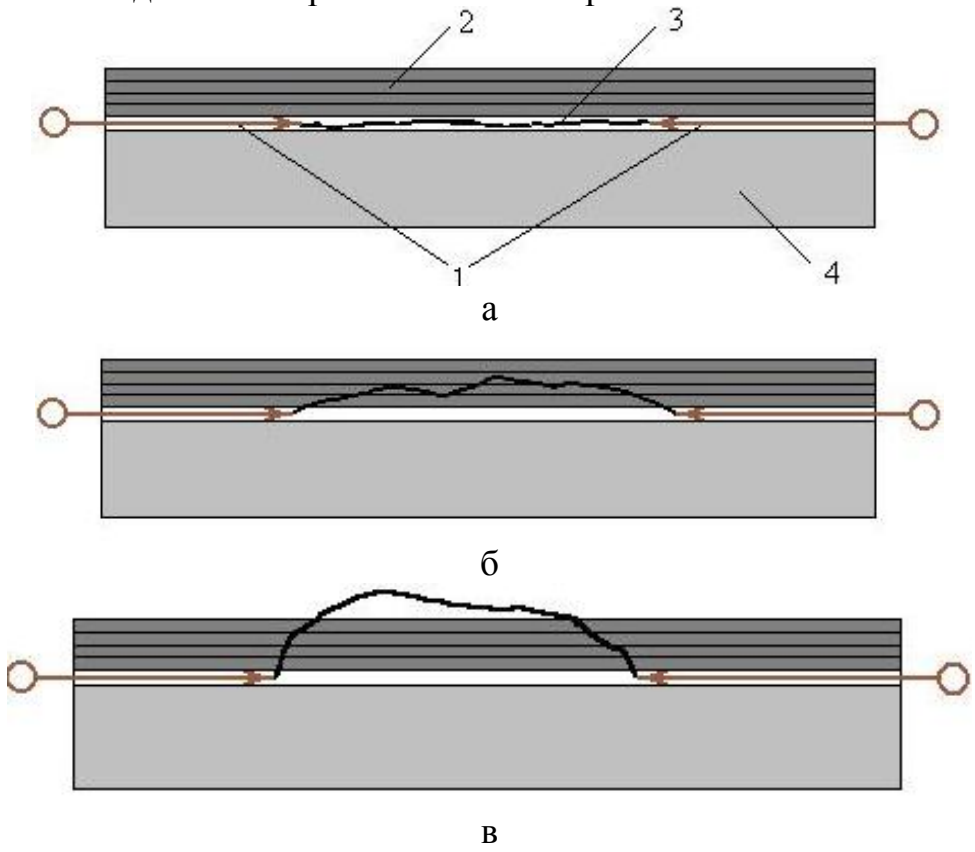


Рис. 1. Возможные направления развития разряда в композициях с различными диэлектрическими материалами: а – по границе раздела; б – эффект заглубления разряда в толщу исследуемого материала; в – выход разряда на поверхность исследуемого материала: 1 – система электродов игла – плоскость, 2 – материал, 3 – канал разряда, 4 – подложка

На рис. 2-4 приведены зависимости времени воздействия приложенного испытательного напряжения от его величины, полученные в композиционных материалах оргстекло – синтофлекс, оргстекло – изофлекс, оргстекло – Votastop 2235. Представленные зависимости получены при испытании 3 образцов на точку.

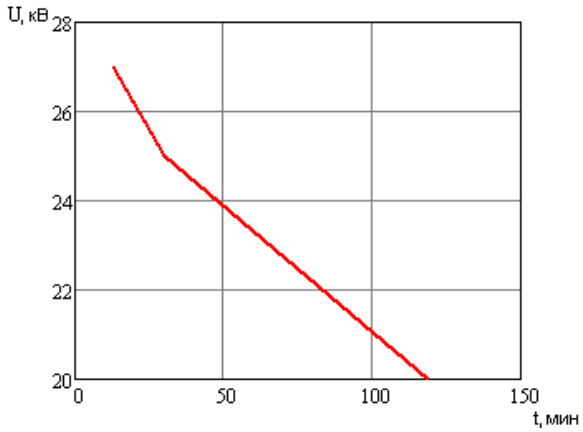


Рис. 2. График зависимости времени выдержки под напряжением в композиции с материалом Votastop 2235

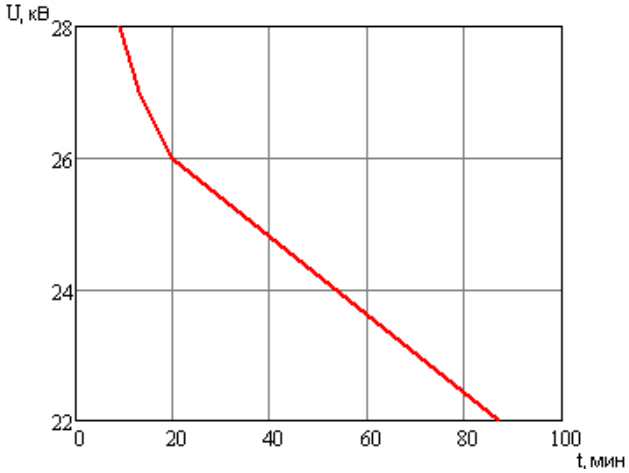


Рис. 3. График зависимости времени выдержки под напряжением в композиции с материалом Изофлекс 191

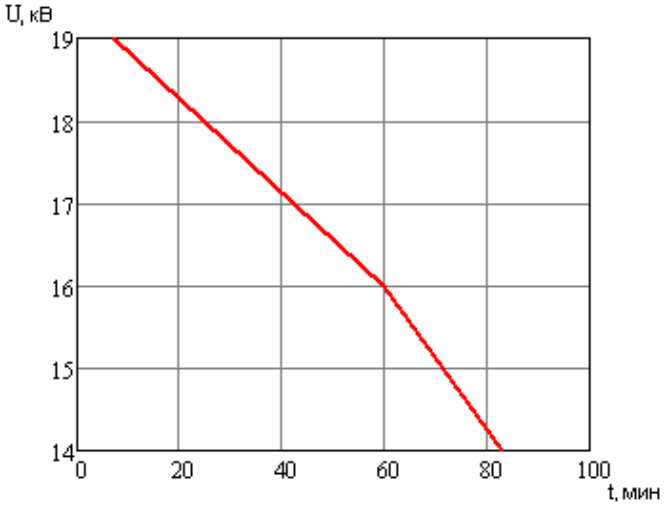


Рис. 4. График зависимости времени выдержки под напряжением в композиции с материалом Синтофлекс

Н рис. 5-7 приведены фотографии основных этапов развития разряда во времени.

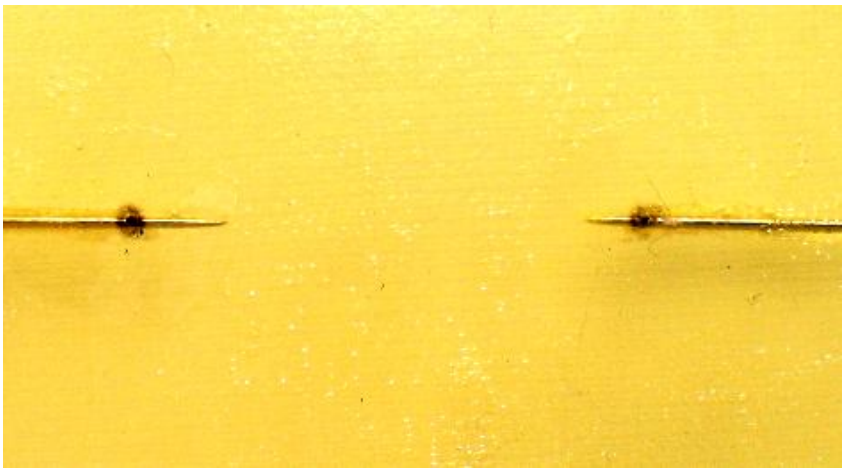


Рис. 5. Начало развития разряда

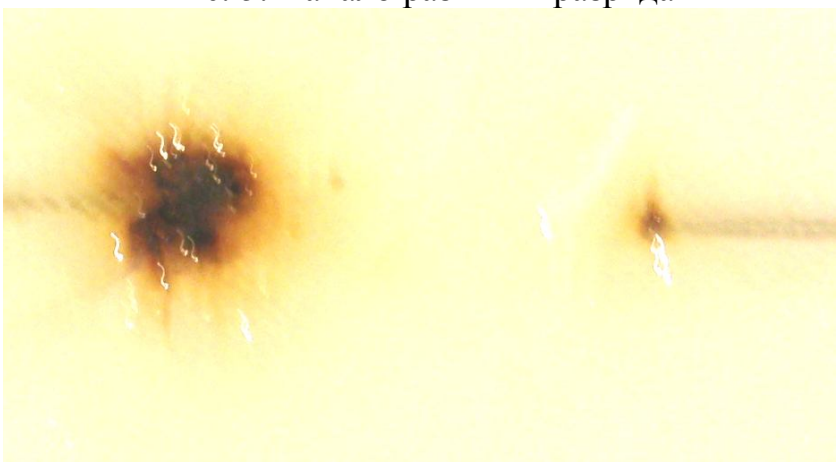


Рис.6. Образование шарообразного дендрита

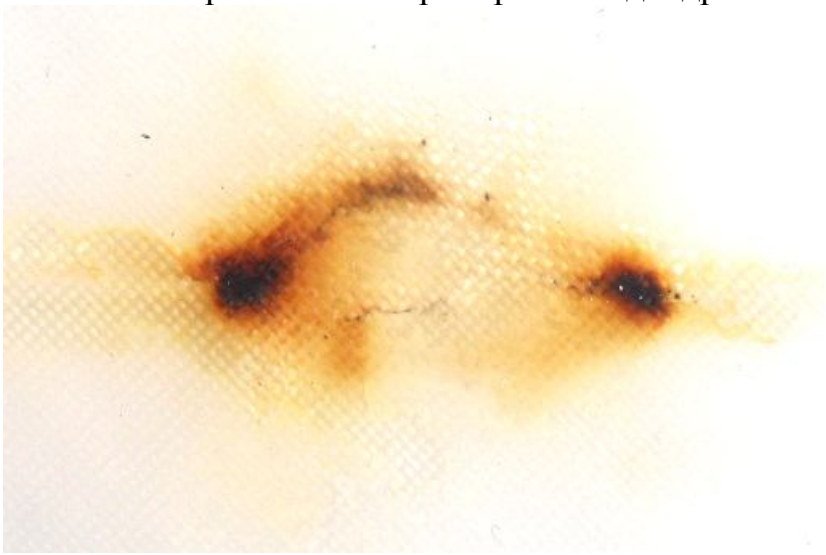


Рис. 7. Развитие разряда на границе раздела в процессе электрического старения

Как видно из рис. 5-7, развитие разряда начинается около острия, где наибольшая напряженность электрического поля. Далее за счет ионизации около иглы образуется шарообразный дендрит, который снижает напряженность поля у иглы и замедляет прорастание разряда. При увеличении значения напряженности электрического поля развитие разряда сопровождается образованием канала в виде трека в объеме материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Меркулов В.И., Почивалова А.В. Особенности разряда на границе раздела твердых слоистых диэлектриков. //Известия Томского политехнического университета, 2008. - т.313 - № 2. –с. 91-94
2. Лысенко А.Н. Электрическая прочность границы раздела полимерной композиционной изоляции. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск, 1986.
3. Воробьев Г.А., Похолков Ю.П., Королев Ю.Д., Меркулов В.И. Физика диэлектриков (область сильных полей): Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 244 с.
4. Койков С.Н., Цикин А.Н. Электрическое старение твердых диэлектриков и надежность диэлектрических деталей. – М. - Л.: Энергия, Ленинградское отделение, 1968. – 287 с.
5. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1979. – 224 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СНЯТИЯ ФАСОК У ДЕРЕВЯННЫХ КУБИКОВ

Манеев А.С., Крауиньш П. Я., Мымрин Н. Ю.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время наблюдается тенденция изготовления детских игрушек из натуральных материалов. Поэтому большой сегмент на рынке игрушек занимают изделия из дерева. Одно из предприятий, выпускающее деревянные наборы для детей, имеет в номенклатуре кубики, у которых необходимо обрабатывать не только грани, но и ребра с целью понижения травмоопасности игрушек. В связи с этим возникла задача снятия фасок у кубиков в условиях достаточно крупного производства. Выполнение этой операции в ручную требует сравнительно больших затрат, работа оказывается утомительной, возникающая пыль оказывает вредное

воздействие на органы дыхания рабочего, поэтому возникает задача автоматизация снятия фасок. Сложность задачи заключается в необходимости обработки 12 ребер у каждого кубика. Что требует создание сложного устройства или разработки специальной транспортной схемы движения кубика.

Можно использовать несколько способов для построения автоматического или автоматизированного устройства. Первый и наиболее очевидный из них основан на применении движущейся «бесконечной» наждачной ленты. Она расположена на двух роликах, один из которых ведущий другой – ведомый. Все эти элементы находятся на одном блоке, который жестко закреплен к корпусу портала, через который проходят кубики. Кубики подаются толкателем. Недостатки этого способа связаны с невысокой идентичностью фасок на разных ребрах, а так же быстрым появлением выработки на ленте. Последнее можно устранить за счет дополнения устройства специальным механизмом поперечного возвратно-поступательного смещения ленты. Такая конструкция является сложной, объемной и дорогой, при этом понижается ее надежность, что является большим недостатком в условиях большого объема производства.

Еще один очевидный способ основан на использовании специального режущего инструмента – фасонной фрезы. Инструмент может быть расположен на портале, через который подаются кубики, как и в первом случае при помощи толкателя в зону резания, что позволяет снимать фаску у ребер. Недостатки этого подхода: высокая стоимость фасонной фрезы, неравномерность фасок, т.к. размеры кубика могут отличаться друг от друга. Последнее может происходить на стадии изготовления заготовок кубиков, но главное из-за изменения влажности в помещениях.

С целью устранения отмеченных недостатков двух первых способов рассмотрен вибрационный метод. Известные вибрационные устройства ориентирования деталей, их перемещение, поочередной выдачи на рабочие позиции и т.д. Поэтому возникло предложение использовать вибрационный способ перемещения, совместив его с операцией обработки ребер. Конструкция устройства для снятия фаски с ребра кубика показана на рисунке 1.

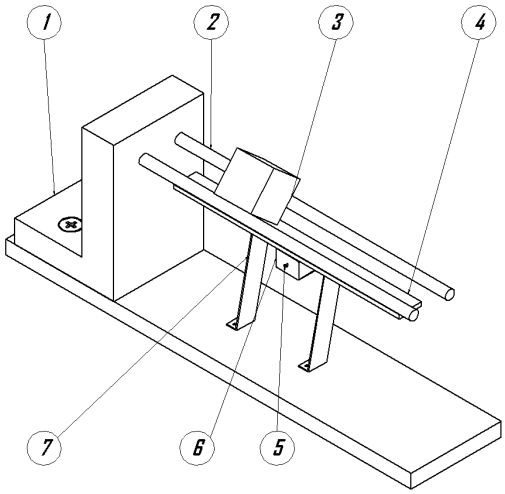


Рис. 1. Конструкция устройства для обработки ребер кубиков

Устройство состоит из стойки 1 на, которой крепятся две направляющие 2, пластины 4 с наклеенной наждачной бумагой, двигателя 6, который крепится к пластине 4 снизу, эксцентрика 5, находящегося на конце вала двигателя, и пары гибких опор 7. Принцип работы установки заключается в следующем. При включении двигателя пластина 4 начинает колебаться в продольном направлении относительно ребра кубика, источником вибрации является эксцентрик 5. При этом кубик перемещается в сторону наклона гибких опор 7. Возникающее трение кубика о наждачную бумагу снимает часть материала ребра. Построенный макет устройства продемонстрировал его работоспособность и достаточную производительность, которую можно оценить как обработку одного ребра в секунду. Имеется возможность повышения производительности установки. Для этого необходимо провести аналитические расчеты и эксперименты, направленные на поиск оптимальных соотношений параметров, включая частоту и амплитуду вибраций.

В ходе исследований и экспериментов была модернизирована изначальная установка автоматизированного устройства. Оно состоит из рис. 2. Конструкция автоматизированного устройства для обработки ребер кубиков платформы 1, на которой крепятся все элементы конструкции, электродвигателя 3, шатуна 2 с эксцентриком, находящегося на конце вала двигателя, направляющих 4, жестко связанных с платформой 1, пластины с абразивной лентой 5, опор 6 и фторопластовых направляющих, прикрепленных к опорам 6. Процесс обработки ребер кубиков происходит следующим образом. Двигатель 3 приводит в возвратно – поступающее движение пластину 5 при помощи шатуна 2 с эксцентриком. Кубики лежат

на направляющих 4 и касаются ребрами пластины 5. Тем самым при движении пластины 5 происходит обработка ребер кубиков.

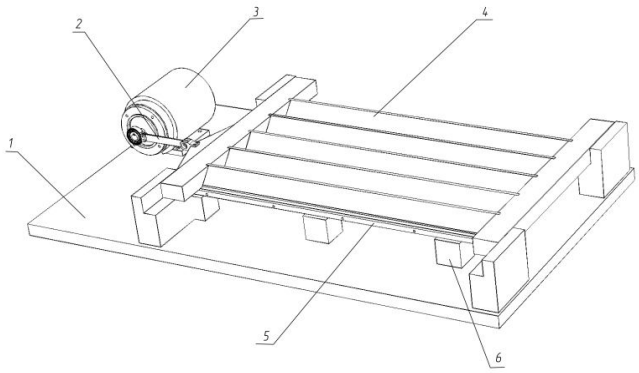


Рис. 2

Для этой установки была разработана математическая модель, описывающая движение платформы 1 при процессе обработки кубиков.

$$M\frac{d^2x_2}{dt^2} = x_0 \cdot \omega^2 \cdot m \cdot \sin \omega t \quad (1),$$ где

M – масса платформы,

ω – частота работы двигателя, равная 50 Гц,

m – масса пластины 5, равная 1 кг,

x_0 – амплитуда перемещения пластины 5, равная 0,3 см,

$\omega^2 = (50 \cdot 2\pi)^2 \approx 10^5 \ \ рад/с^2$

Проинтегрируем уравнение (1) по t:

$$\int MdV_2 = \int_0^t (x_0 \cdot \omega^2 \cdot m \cdot \sin \omega t)dt;$$

получим связь между текущей скоростью V_2 платформы и скоростью пластины

$$M\frac{dx_2}{dt} = \frac{x_0 \cdot \omega^2 \cdot m}{\omega} \cdot \cos \omega t \quad (2);$$

Уравнение (2) интегрируем по t, получим следующее выражение:

$$M \cdot x_2 = -\frac{x_0 \cdot \omega \cdot m}{\omega} \cdot \sin \omega t \quad (3)$$

Из полученного уравнения (3) находим амплитуду колебаний платформы 1 x_2

$$x_2 = -\frac{x_0 \cdot m}{M}$$

Таким образом, путем увеличения массы платформы можно уменьшить амплитуду колебаний платформы до допустимых по санитарным нормам уровня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / под редакцией д-ра техн. наук проф. Э. Э. Лавендела. 1981. 509 с., ил.

2. Основы теории вибрационной техники. Быховский И. И., М., «Машиностроение», 1968, 362 стр.

ТЕПЛОПРОВОДНАЯ НАНОКЕРАМИКА ИЗ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ И СОПУТСТВУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДАМИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Никитушкин И.В., Анненков Ю.М.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

Ввиду довольно высокой теплопроводности алюмонитридная керамика в настоящее время является наиболее перспективным материалом для отвода тепла от теплонагруженных элементов в изделиях космической техники и в приборостроении в целом. Однако практика требует, чтобы коэффициент теплопроводности алюмонитридной керамики был повышен со 180 Вт/мК до не менее 230 Вт/мК. Эту задачу предполагается решить, используя методы высокоинтенсивных технологий.

Нитрид алюминия был впервые синтезирован в 1877 году, но только в середине 1980-х его потенциал для практического применения в микроэлектронике был осознан из-за его относительно высокой теплопроводности для изоляции керамики (70–210 Вт/мК для поликристаллического материала, и до 275 Вт/мК для монокристаллов). Этот материал представляет интерес как нетоксичная альтернатива оксиду бериллия.

Нитрид алюминия – материал с ковалентными связями, имеющий гексагональную кристаллическую структуру, которая является аналогом структуры сульфида цинка, известной как вюрцит, это полупроводник с шириной запрещённой зоны 6 эВ. Материал устойчив к очень высоким температурам в инертных атмосферах. На воздухе поверхностное окисление происходит выше 700 °C, и при комнатной температуре

образуются поверхностные окисленные слои толщиной 5–10 нм. Этот слой защищает материал от окисления вплоть до 1370 °С.

Алюмонитридная керамика в России серийно не выпускается, но уже изготавливается в Японии, Германии, Китае и Тайване (Таблица 1).

Существует патент Российской Федерации о способе получения теплопроводной керамики на основе нитрида алюминия. Сущность изобретения: способ включает спекание порошка нитрида алюминия в виде микрокристаллов с игольчатой формой частиц, полученных в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с последующим отжигом спеченной керамики в такой же газовой среде при температуре не выше 1800°С в течение времени не менее 5 ч. Предложенный способ получения теплопроводной керамики на основе нитрида алюминия обеспечивает теплопроводность не менее 200 Вт/мК.

Таблица 1.

Сравнительные характеристики зарубежной алюмонитридной керамики

Наименование характеристик	MARUWA (Япония)	LEATEC (Тайвань)	Clec Group (Китай)	CeramTec (Германия)
Содержание AlN, %	98	98	98	98
Цвет	Серый	Серый	Серый	Серый
Кажущаяся плотность, кг/м3	3300	3300	3300	3330
Предел прочности на изгиб (20°С), МПа	250	450	320	360
Модуль упругости (20°С), ГПа		320	320	320
Теплопроводность (20°С), Вт/м*К	200	180	180	180
Коэффициент теплового расширения (25-1000°С)	4,0	5,0	4,7	4,7
Диэлектрические потери, (1МГц, 25°С)	0,0003	0,0003		0,0004
Диэлектрическая проницаемость, (1МГц,25°С)	9,0	8,7	9,0	9,0
Объемное удельное сопротивление, (20°С), Ом*см	1014	1014	1013	1013
Шероховатость поверхности, мкм		0,3		0,6

Для устранения пор следует при спекании обеспечить плотность, близкую к теоретической. По обычной технологии это достигается путем введения добавок – активаторов спекания оксид иттрия, который взаимодействует с оксидом алюминия в порошке, в результате образуется аморфная эвтектика, которая плавится при более низкой температуре. Идет спекание в жидкой фазе, что уплотняет структуру. Размол ведут до получения мелких частиц, которые после спекания «укутаны» в оксидную эвтектику. Аморфная стеклофаза создает дополнительную систему дефектов, усиливающих фононное рассеяние. В этом случае теплопроводность нитрида алюминия не превышает 100 Вт/мК.

В настоящей работе предлагается инновационная технология, устраняющая указанные недостатки, в основе которой лежит использование высокоинтенсивных воздействий.

Технологию изготовления алюмонитридной керамики можно разделить на несколько этапов:

– получение полидисперсного порошка нитрида алюминия при помощи коаксиального магнитоплазменного ускорителя [1];

– диспергирование порошка нитрида алюминия до наноразмеров;

– уплотнение компакта почти до теоретической плотности посредством магнитно-импульсного прессования [2];

– применение искрового плазменного спекания.

Таким образом, предлагаемая технология не требует введения примесей, уменьшающих теплопроводность алюмонитридной керамики, что теоретически повысит коэффициент теплопроводности не менее чем до 230 Вт/мК.

В приборостроении керамика, как правило, применяется в виде теплопроводящих изоляционных подложек при монтаже теплонагруженных элементов изделий. В изделиях с высокой удельной мощностью подложки используются вместо печатных плат, в этом случае на поверхности формируется многослойный печатный рисунок, а сама подложка устанавливается в алюминиевый или магниевый корпус через теплопроводящий клей.

Поэтому полученные нанодисперсные порошки нитрида алюминия предполагается использовать, в том числе, для модифицирования свойств теплопроводных полимерных материалов – клеев и заливочных компаундов. Дело в том, что в существующих рецептурах применяется микронный порошок нитрида алюминия с размером зерна 50-100мкм. И даже в случаях, когда процент наполнения полимерной основы достигает 50%, коэффициент теплопроводности редко превышает значение 2 Вт/мК [3].

Исходя из вышесказанного, следует, что для достижения практической ценности в приборостроении от применения разрабатываемой высокотеплопроводной алюмонитридной керамики, требуются сопутствующие теплопроводные материалы – клеи и заливочные компаунды.

Технологию изготовления теплопроводных клеев и заливочных компаундов можно разделить на этапы:

– моделирование, расчет эквивалентной теплопроводности полимера, наполненного ультрадисперсными керамическими порошками;

– модифицирование смол ультрадисперсным порошком нитрида алюминия.

Поставленные задачи предполагается решать методами:

– дифрактометрии;

– электронной микроскопии;

– моделирования свойств нанокерамики, клеев и компаундов;

– исследования теплофизических, электрических и механических свойств алюмонитридной керамики в зависимости от параметров керамической структуры;

– исследования теплофизических, электрических и механических свойств клеев и компаундов в зависимости от массовой доли и дисперсности керамических наполнителей.

Комплексый подход к решению поставленных задач позволит снизить теплонагруженность элементов, что положительно скажется на ресурсных и массогабаритных характеристиках изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель: патент Рос. Федерация. № RU2431947; заявл. 30.04.10.

2. Иванов В.В., Кайгородов А.С., Хрустов В.Р., Паранин С.Н., Спирин А.В. Прочная керамика на основе оксида алюминия, получаемая с использованием магнитно-импульсного прессования композитных нанопорошков // Российские нанотехнологии, 2006. – Т.1. – № 1-2. С. 243.

3. Я.Л. Абелиов Наполнители для теплопроводящих клеев // «Клеи. Герметики. Технологии.» – 2005. – №8. – С. 26.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМНОГО СПЕКАНИЯ ПОРОШКОВЫХ КАТОДОВ СИСТЕМЫ TI-AL

Оноприенко О.О.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Перспективным применением спеченных порошковых сплавов Ti-Al является использование их в качестве мишеней (катодов) в технологиях нанесения ионно-плазменных покрытий. Однако порошковые катоды Ti-Al до настоящего времени не нашли широкого применения по причине отсутствия достаточно простой, доступной и высокопроизводительной технологии производства катодов с однородной структурой и приемлемой пористостью. Известны попытки уменьшить пористость порошковых катодов спеканием под давлением или в результате самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с приложением давления [1]. Эти способы характеризуются низкой производительностью и высокой стоимостью готовых изделий. Применение спекания порошковых смесей Ti-TiAl3 позволяет одновременно достичь приемлемых характеристик пористости спеченных образцов и себестоимости их изготовления в условиях опытно-промышленного производства.

Однако для целенаправленного выбора технологических режимов спекания (с получением минимальной пористости) необходимо теоретическое и экспериментальное исследование закономерностей формирования структуры, фазового состава и физико-механических свойств материала при спекании.

Математическая постановка

Если условия эксперимента таковы, что в процессе нагрева температура спекания превышает температуру плавления образца (то есть образец в процессе обработки плавится), то используем реологические соотношения [2]:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial t} + \frac{\mu}{\kappa}\sigma_{ij} = 2\mu\frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial t} + \delta_{ij}\left[\frac{\partial}{\partial t}(\lambda\varepsilon_{kk} - Kw) + \frac{\mu}{\kappa}K(\varepsilon_{kk} - w)\right] \quad (1)$$

где κ - коэффициент сдвиговой вязкости. В предельном случае $\kappa \to \infty$ из (1) следует соотношение Дюамеля-Неймана, в случае $\kappa \to 0$ имеем соотношение между компонентами σij и εij для идеальной вязкой жидкости с шаровым тензором напряжений

Учитываем, что концентрация почти не изменяется в процессе спекания и ограничимся пятью кинетическими уравнениями [3]:

$TiAl_3 \to TiAl + 2Al$; $Ti + Al \to TiAl$; $3Ti + Al \to Ti_3Al$; $2Ti + TiAl_3 \to 3TiAl$; $2Ti + TiAl \to Ti_3Al$.

Математическая постановка задачи в этом случае включает уравнение теплопроводности:

$$V_0 c\rho \frac{dT}{dt} = -\varepsilon_T \sigma_T \left(T^4 - T_e^4\right) S_n - \\ - 3KT\alpha_T V_0 \frac{d\varepsilon_{kk}}{dt} + V_0 W_1$$

и систему кинетических уравнений, записанных для пяти химических реакций,

$$\frac{dy_1}{dt} = -y_1\varphi_1 - y_2^2 y_1 \varphi_3,$$

$$\frac{dy_2}{dt} = -y_2 y_3 \varphi_2 - 2y_1 y_2^2 \varphi_3 - 2y_2^2 y_4 \varphi_4 - 3y_3 y_2^3 \varphi_5,$$

$$\frac{dy_3}{dt} = 2y_1\varphi_1 - y_2 y_3 \varphi_2 - y_2^2 y_3 \varphi_5,$$

$$\frac{dy_4}{dt} = y_1\varphi_1 + y_2 y_3 \varphi_2 + 3y_1 y_2^2 \varphi_3 - y_2^2 y_4 \varphi_4,$$

$$\frac{dy_5}{dt} = y_2^2 y_1 \varphi_4 + y_3 y_2^3 \varphi_5.$$

Объемное изменение образца и его относительное уплотнение оцениваем по формулам:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{1}{1+\varepsilon_{kk}} \quad \text{и} \quad \frac{\delta\rho}{\rho_0} = \frac{\varepsilon_{kk}}{1+\varepsilon_{kk}}.$$

На основе соотношений Максвелла (1) для объемных деформаций получаем

$$\frac{d\varepsilon_{kk}}{dt} = -\frac{dw}{dt} + \frac{\mu}{\kappa}(\varepsilon_{kk} - w).$$

С учетом $w = 3\left[\alpha_T (T - T_0) + \sum_{k=1}^{n} \alpha_k \left(y_k - y_{k,0}\right)\right]$, находим

$$\frac{d\varepsilon_{kk}}{dt} = -3\alpha_T \frac{dT}{dt} - 3\sum_{k=1}^{n} \alpha_k \frac{dy_k}{dt} + \frac{\mu}{\kappa}(\varepsilon_{kk} - w). \qquad (2)$$

Подставляя полученное выражение в уравнение баланса тепла и приводя подобные слагаемые, получаем

$$c_{eff_v} \frac{dT}{dt} = -\varepsilon_T \sigma_T \left(T^4 - T_e^4\right) S_n + W_{eff_v} - \\ - D\frac{\mu}{\kappa}\left(\varepsilon_{kk} - 3\left[\alpha_T (T - T_0) + \sum_{k=1}^{n} \alpha_k \left(y_k - y_{k,0}\right)\right]\right),$$

где $c_{eff_v} = Vc\rho - 3D\alpha_T$; $D = 3KT\alpha_T V_0$. Суммарный источник тепла Weff_v вследствие химических реакций (включающий изменение объема в ходе реакций) с учетом кинетических уравнений записывается следующим образом

$$W_{eff_v} = VW_1 - 3DW_2 = \\ = V\rho \sum_{i=1}^{5} \frac{h_i}{m_i} \frac{dy_i}{dt} - 3D\sum_{i=1}^{5} \alpha_i \frac{\partial y_i}{\partial t} = \sum_{k=1}^{5} \omega_k$$

где

$$\omega_1 = q_1 y_1 \varphi_1 ;\ \omega_2 = q_2 y_2 y_3 \varphi_2 ;\ \omega_3 = q_3 y_1 y_2^2 \varphi_3 ;$$
$$\omega_4 = q_4 y_4 y_2^2 \varphi_4 ;\ \omega_5 = q_5 y_3 y_2^3 \varphi_5 ;$$
$$q_j = VQ_j + 3D\Delta Q_j ,\ i = 1,..,5 .$$

Подставляя уравнение баланса тепла в уравнение (2) и приводя подобные слагаемые, получаем

$$\left(1 - \frac{3\alpha_T D}{V_0 c\rho}\right)\frac{d\varepsilon_{kk}}{dt} = \frac{\varepsilon_T \sigma_T \left(T^4 - T_e^4\right) S_n}{V_0 c\rho} - W_{eff_1} + \frac{\mu}{\kappa}(\varepsilon_{kk} - w),$$

где

$$W_{eff_1} = \frac{3\alpha_T}{c\rho} W_1 + 3\sum_{i=1}^{5} \alpha_i \frac{\partial y_i}{\partial t} .$$

Полученная система уравнений дополняется условиями в начальный момент времени:

$$t = 0:\ T = T_0 ,\ y_i = y_{i0} ,\ i = 1..5 .$$

Численное исследование

В расчетах используем среднеинтегральное значение коэффициента динамической вязкости системы, рассчитанное по табличным данным

$$\kappa = \frac{1}{T_2 - T_1}\int_{T_1}^{T_2} \overline{\kappa}(T) dT .$$

Задача решалась численно с использованием алгоритма с автоматическим выбором шага. Для расчета тепловой части задачи использовали метода Рунге–Кутта–Мерсона. Для вычисления кинетических функций и объемных деформаций использовали неявный метод Эйлера. Достоверность результатов подтверждена сравнением с известными аналитическими решениями для частных предельных случаев. При стремлении коэффициента вязкости к нулю решение задачи стремится к решению задачи в термоупругой постановке [3].

Результатом численного исследования являются фазовый и элементный состав спеченного образца; зависимости концентраций элементов и фаз от времени при различных параметрах модели, отвечающих за технологические условия.

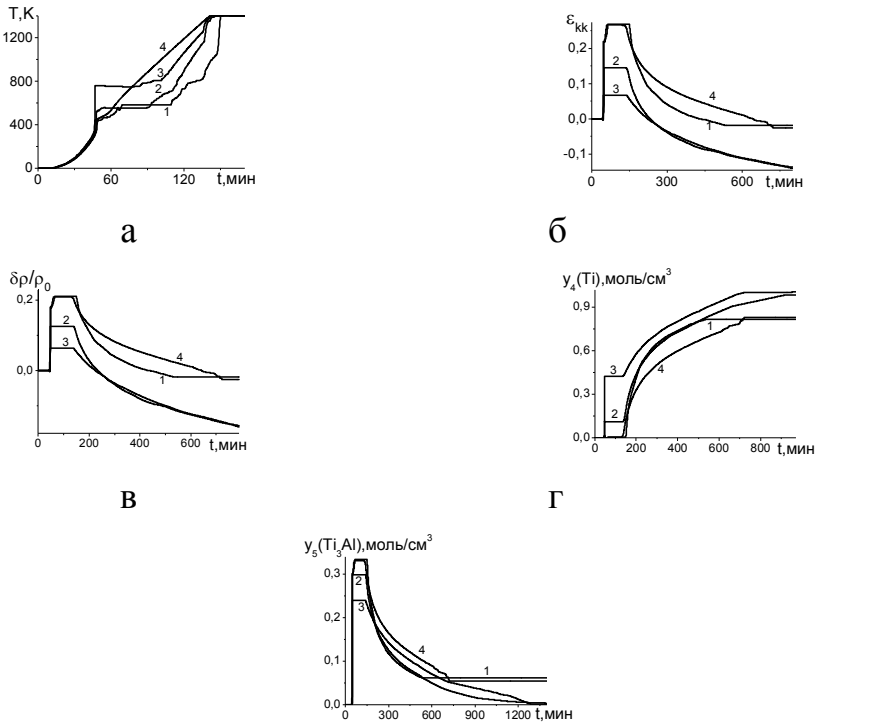


Рис. 1. Изменение температуры (а), объемных деформаций (б), относительного уплотнения образца (в) и мольных концентраций фаз Ti и Ti_3Al (г) – (д) во времени в процессе нагрева и спекания при различных начальных объемных концентрациях $TiAl_3$: 1. – $y_1[TiAl_3]=0.3\,\%$, 2. – $y_1[TiAl_3]=0.4\,\%$, 3. – $y_1[TiAl_3]=0.5\,\%$ в случае вязкоупругих деформаций и 4. – $y_1[TiAl_3]=0.3\,\%$ в случае упругих деформаций

На рис. 1 приведено изменение температуры, объемных деформаций, относительного изменения объема и концентраций элементов при изменении начальной концентрации TiAl3. Видно, что результат получается качественно иным, чем в модели с термоупругими напряжениями и деформациями.

В случае вязкоупругих напряжений и деформаций расчеты показываю, что дополнительные затраты энергии на объемные деформации в образце приводят к появлению плато на температурной кривой, не связанного с фазовым переходом (кривые 1-3 рис.1, а), но больше чем в случае термоупругих напряжений и деформаций (кривая 4). Видно, что небольшая добавка TiAl3 приводит к интенсифицированию усадки порошков. Но увеличение содержания TiAl3 в прессовке приводит к монотонной усадке порошков и увеличению относительного объема, что сильнее сказывается для вязкоупругих деформациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сорокова С.Н., Князева А.Г. //Известия Томского политехнического университета. 2009. Т. 314. № 2. С. 96-101.

2. Князева А.Г., Сорокова С.Н. //Физика горения и взрыва. 2006. Т. 42. № 5. С. 63-73.

3. Сорокова С.Н., Князева А.Г. // Теоретические основы химической технологии. 2008. Т. 42. № 4. С. 457-465.

4. Сорокова С.Н., Князева А.Г. // Физическая мезомеханика. 2008. Т. 11. № 6. С. 95-101.

5. Сорокова С.Н., Князева А.Г.// Теоретические основы химической технологии. 2010. Т. 44. № 2. С. 184-197.

MODELING OF WELDING WITH A MOVING LASER

Rozhnovskaya A.I.
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Introduction

Mathematical modeling opens wide perspectives for many areas of science and technology. For the first time it was used in nuclear and aerospace spheres. At present, mathematical modeling has penetrated into all branches of natural sciences and in the spheres of human activity, such as oil and gas production, transport, socio-economic sphere, medicine, etc.

COMSOL Multiphysics is a powerful interactive environment for modeling and calculating the majority of scientific and engineering problems based on differential equations in partial derivatives (PDE) finite element method.

Main purpose of this work is to model the process of welding with a moving laser in COMSOL Multiphysics.

Modeling of process

Laser beams are commonly used to heat locally the surface of various substrates, for example, in laser welding or thermal annealing such as on layered silicon devices. The laser beam typically moves over a surface periodically to produce the desired localized heating. In the case of layered silicon devices, each layer is very thin; making the modeling of the penetration depth caused by the moving laser a strongly time-dependent problem.

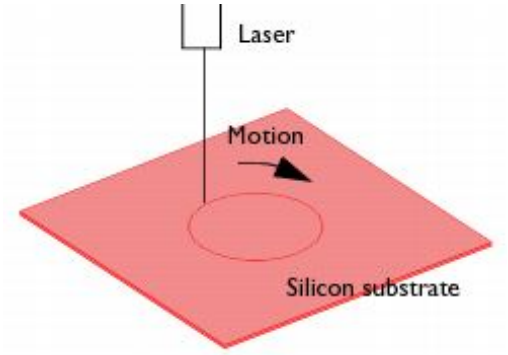


Figure.1.A moving laser heats a thin silicon substrate

The simplest example model, the localized transient heating, caused by a laser beam that moves in circles over a silicon substrate is considered. The beam's penetration depth, which can be described with an absorption coefficient, depends on the ambient temperature. The geometry under study represents the top layer of a silicon device. The model examines the penetration depth and the influence of the laser motion on the transient temperature distribution.

This model considers the laser beam as having an infinitesimal width and thus treats it as a line heat source. As such it is not meaningful to study the maximum temperature because it is mesh dependent. However, the overall heat flux and temperature distribution on a macroscopic level are both accurate.

Model Definitions:

The model simulates the substrate as a 3D object (fig 1) with these dimensions:

- Thickness: 1 mm
- Width: 10 mm-by-10 mm

It handles the variation of laser intensity with penetration depth using a 1D geometry that represents the substrate's thickness (fig. 2).

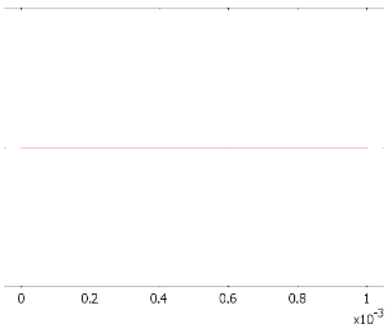


Figure. 2. The 1D model geometry

The model makes use of the Conduction application mode to describe the transient heat transfer in the 3D geometry. The transient energy-transport equation for heat conduction is

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-\underline{k}\nabla T) = Q,$$

where ρ is the density, C_p is the specific heat capacity, $\underline{k}$ is the thermal conductivity tensor, and Q is the heat source term, which is here set to zero (this case models the source in a different way).

The material properties are those of silicon, using an anisotropic conductivity of (k_{xx}, k_{yy}, k_{zz}) = (163, 163, 16) in units of W/(m·K), a density of 2330 kg/m3, and a specific heat capacity of 703 J/(kg·K).

For the model, assume the boundaries are insulating.

In the 1D geometry, this model uses the Weak Form, Subdomain application mode to model the laser penetration. In the equation describing the penetration

$$\frac{\partial I}{\partial x'} = -k_{abs} I,$$

I represents the relative laser intensity (the variable in the Weak Form, Subdomain application mode), x' represents the 1D coordinate, and k_{abs} is the absorption coefficient. The absorption coefficient can be dependent on the temperature, and the expression used in this model is $k_{abs} = 8 \cdot 10^2 m^{-1} - 10)(m \cdot K)^{-1}(T - 30K)$.

The volumetric heat source term, Q, in the 3D geometry is then

$$Q = P_{in} k_{abs} I,$$

where P_{in} is the total power of the incoming laser beam.

Both of these equations are included in the Weak Form, Subdomain application mode; where they become one equation

$$I_{test} * (Ix - k_{abs} * I) + k_{abs} * I * P_{in} * T_{test}$$

The first part of this expression describes the penetration equation, and the second part comes from the heat-source term in the 3D Heat Transfer application mode.

At the left boundary, homogeneous Neumann condition should be applied, and at the right boundary the relative intensity should be set, I, to unity. The total incoming laser power, P_{in}, is 50 W.

The model implements the heat source's motion when coupling the 3D temperature variable, T, to the 1D equation. It does so with a subdomain extrusion coupling variable using a general transformation. A time-dependent transformation expression results in a moving heat source. This case describes a circular repeating motion using the transformation expressions

$$x = R\sin(\omega t), \quad y = R\cos(\omega t), \quad z = x',$$

where x, y, and z correspond to the 3D coordinates, and x' represents the 1D coordinate. Furthermore, R is the radius of circular motion ω is the angular

velocity, and t is time. The model uses the parameter values R = 0.02 m and ω = 10 rad/s, the latter value corresponding to a period of roughly 0.628 s for the laser motion.

This method - using a separate geometry and equation to model the source term - is very useful because it provides that term directly at the test-function level. Furthermore, it models the source motion separately with the transformation expressions, making it simple to alter. It is indeed the best way to model a moving point or line source. The 3D model makes use of an extruded triangular mesh, which has a fine resolution close to the laser incident line and is coarse elsewhere. This results in a high-resolution solution with minimum computation requirements. The mesh results in around 10,000 elements and 6200 degrees of freedom (fig 3).

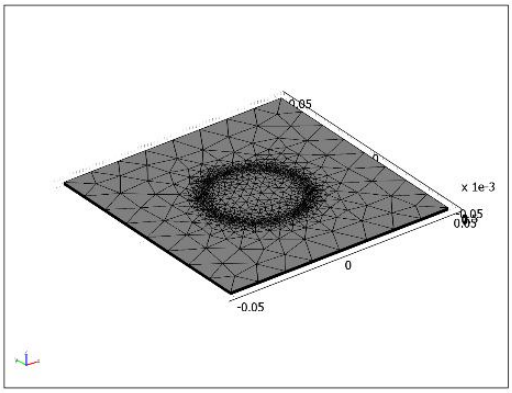


Figure. 3. The 3D mesh produced by extruding a 2D triangular mesh, refined along the circular laser incident line

Results and Discussion

Figure 4 depicts the temperature distribution at the laser-beam incident surface (fig 4).

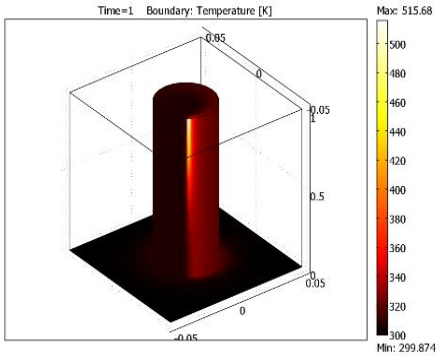


Figure. 4. Temperature distribution after 1 s of laser heating

The figure clearly shows a hot spot where the laser beam is located at a specific time. Furthermore, the results show a cold side and a warm side next to the vertical line below the laser beam. The warm side represents the area where the beam has just swept through.

After creating a simple model, it can be complicated and changed by various options. For example, you can change the trajectory of the laser welding, the ambient temperature. Then you can carry out experiments that are impossible in reality: to change the initial coefficients, experiment with the size of the laser and other characteristics.

Finally, Figure 5 shows beam penetration into the substrate. The heating at the bottom of the substrate is practically zero (fig 5).

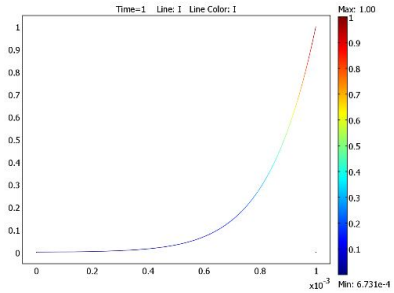


Figure. 5. Relative laser-beam intensity as a function of sample depth

Conclusion

The modeling is based on deep and solid theoretical knowledge of the domain. Therefore, using Comsol Multiphisics requires a careful study of many mathematical methods for the realization to see visible results. Modeling is also very important for solving engineering problems, because it reduces development time and helps to avoid difficult or expensive experiments in the real life.

As a result we have a model of welding process with a moving laser. The results will be used in the future – in the development of more sophisticated models.

REFERENCES

1. A. Bejan,. Heat Transfer. M., 1993.-p. 161-195.

2. P. Colegrove. 3-dimensional flow and thermal modeling, M., 2000.p. 224-260.

3. Roger W. Pryor. Multiphysics modeling using COMSOL. 2010.-p. 63-90.

4. M. Song, R. Kovacevic, International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol. 43, p. 605–615, 2003.

5. www.matlab.exponenta.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ СВЕРХТВЕРДЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ

Сайгаш А.С., Герасимов Д.Ю.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Покрытия, нанесенные традиционными способами [1], могут отделяться от поверхности в критических условиях внешнего воздействия. Повысить стойкость покрытия можно путем создания таких условий их нанесения, при которых будет образовываться граничный слой взаимного перемешивания материалов покрытия и обрабатываемой поверхности. Это достигается использованием высокоэнтальпийных потоков вещества, создаваемых импульсными ускорителями. Предлагается использовать коаксиальный магнитоплазменный ускоритель (КМПУ), обладающий существенными преимуществами перед другими типами ускорителей [2]. Его система, характеризующаяся одновременным использованием кондукционной и индукционной электродинамики и электротермохимического механизма для преобразования электромагнитной энергии в кинетическую энергию плазменной струи, обеспечивает более высокие динамические параметры плазменного течения. Ее отличием и преимуществом является то, что рабочий материал нарабатывается электроэрозионным путем с поверхности ускорительного канала (УК) в количестве до нескольких десятков граммов с более высокой эффективностью, чем в других эрозионных ускорителях. Система позволяет работать с любыми металлами, смесями металлов, сплавами, а также реализовать динамический синтез сверхтвердых материалов (оксидов, нитридов, карбидов) в процессе кратковременного рабочего цикла и наносить композиционные покрытия на их основе [2, 3].

Электропитание ускорителя осуществляется от емкостного накопителя энергии, конденсаторной батареи С=1,0…50·10-3 Ф при Uзар. до 5,0 кВ. Рабочий материал для нанесения покрытия меняется за счет изменения материала электрода-ствола. Необходимый для динамического синтеза материал закладывается в канал формирования плазменной структуры (КФПС) у вершины центрального электрода. Требуемые характеристики покрытий обеспечиваются динамическими параметрами плазменной струи, плотностью и количеством ее материала, условиями плазмохимического синтеза и условиями воздействия на поверхность мишени-подложки, которые задаются путем подбора параметров импульса

тока, геометрии УК, положения мишени-подложки относительно среза ствола КМПУ и внешних условий.

Нанесение медного покрытия. Нанесение медного покрытия проводилось с использование медных электродов в атмосферных условиях при C=48·10-3 Ф, Uзар.=3,0…3,5 кВ, диаметре и длине УК соответственно dук=15…20 мм, lук.=250 мм и расстоянии от среза ствола до мишени a=100…400 мм. На рис. 1 приведены микрофотографии шлифов вертикального среза образцов с медным покрытием из стали ст.3 и нержавеющей стали. Их отличие заключается в том, что на образце из нержавеющей стали (рис. 1б) явно выраженная граница раздела отсутствует, а имеется слой взаимного перемешивания материала покрытия и подложки с плавно меняющимся составом, толщиной порядка 100 мкм. Это подтверждается данными рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Образование слоя обусловлено, по-видимому, более низкой теплопроводность и температурой плавления нержавеющей стали (47 Вт/(м·К); 1440 °С). Покрытие из меди на стальных образцах имеет толщину более 100 мкм, однородно по структуре и не имеет сквозных пор. На рис. 1в, приведены микрофотографии образцов из алюминиевого сплава АД-31 с медным покрытием.

Видно идеальное прилегание и сцепление покрытия с подложкой. Множественные вкрапления меди присутствуют в подложке на глубине до 70 мкм. По данным РФЭС концентрация элементов на этой глубине составляет 99,8% Al и 0,2% Cu, а на границе раздела – 25% Al и 75% Cu. Медное покрытие на алюминиевой контактной поверхности обеспечивает электрическое совмещение сильноточной контактной пары Cu-Al, повсеместно встречающейся в промышленной электротехнике, и уменьшение ее переходного электрического сопротивления при длительной эксплуатации [2].

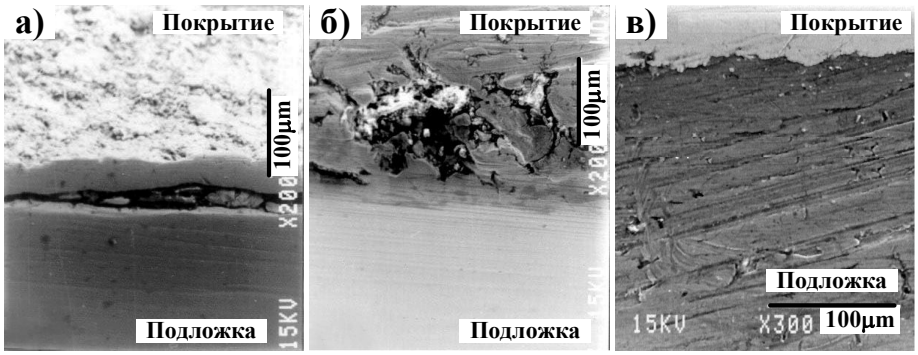


Рис. 1. Микрофотографии шлифов вертикального среза образцов с медным покрытием: а) из стали (Ст.3); б) из нержавеющей стали 12Х18Н9Т; в) из алюминия АД-31

Нанесение покрытий состава нержавеющей стали. Уникальной возможностью способа является нанесение покрытий состава нержавеющей стали на поверхности различных металлов. Для получения таких покрытий электроды ускорителя изготавливались из нержавеющей стали. На рис. 2 показана фотография шлифа вертикального среза образца из стали (Ст.3) с покрытием из нержавеющей стали. Покрытие толщиной более 100 мкм абсолютно плотно прилегает к подложке. Методом РФЭС установлено, что состав покрытия по всей толщине соответствует по основным компонентам составу нержавеющей стали. Граница раздела, трудно различимая визуально, представляет собой слой взаимного перемешивания материалов покрытия и подложки толщиной 10…20 мкм, состоящий из железа и содержащий ~9 % Cr и ~6,5 % Ni. Покрытие имеет плотность монолитного металла и не имеет сквозных пор.

Аналогичными свойствами обладает покрытие состава нержавеющей стали на подложках из чистой меди, рис. 2б. Граница не является ровной линией, а имеет множественные микросцепления, возникновение которых обусловлено гидродинамическим процессом волнообразования аналогичным сварке взрывом. Особый интерес представляет нанесение покрытий состава нержавеющей стали на поверхность из алюминиевых сплавов. Процесс осуществляется в атмосферных условиях при: C=12·10-3 Ф; Uзар=4,0 кВ; lук.=265 мм; dук=16 мм; a=180 мм. На рис.2в, г представлены микрофотографии шлифа вертикального среза образца из дюралюминия Д16 с покрытием, характеризующимся большой толщиной (более 100 мкм), высокой плотностью, отсутствием пор, абсолютно плотным прилеганием и сцеплением с поверхностью подложки.

По данным РФЭС покрытие по всей толщине имеет состав нержавеющей стали, компоненты которой обнаруживаются на глубине подложки до 70 мкм. Такая толщина слоя взаимного перемешивания обусловлена тепловыми и гидродинамическими эффектами, возникающими при воздействии высокоскоростного потока плотной струи на дюралюминиевую поверхность. Исследование образца методом ОЖЕ-электронной спектроскопии показывает насыщение поверхностного слоя подложки толщиной более 300 мкм железом, кислородом, азотом. На микрофотографии, рис. 2в, видно, что поверхностный слой подложки толщиной порядка 1,0 мм насыщен множественными струйными включениями более плотного материала. Поперечный размер струй порядка 1…5 мкм. Струйное сверхглубокое проникание плотного вещества (нержавеющей стали) в тело подложки объясняется возникновением микрокумулятивных процессов и внедрением кумулятивных струй [3].

Результаты сравнительных высокотемпературных трибологических испытаний исходного дюралюминиевого образца и образца с покрытием из нержавеющей стали (толщина покрытия ~50 мкм) показали, что износостойкость обработанного образца увеличилась на 2 порядка при 25 и 325 °С и более чем на порядок при 125 и 225 °С. Испытания проведены на High temperature tribometr CSEM-instruments (пара трения: шар диаметром 3 мм – диск).

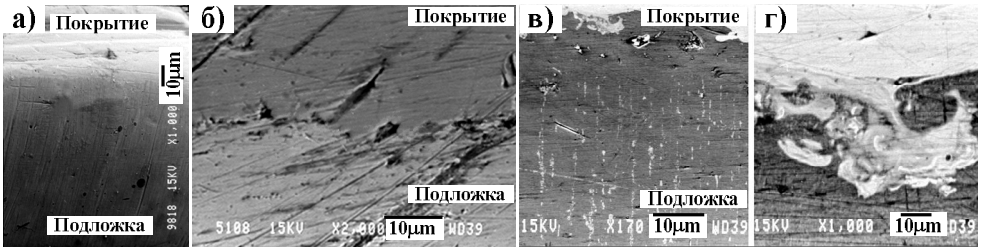


Рис. 2. Микрофотографии шлифов вертикального среза образцов с покрытием состава нержавеющей стали: а) из стали (ст. 3); б) из меди; в) из дюралюминия - обзорный снимок и фрагмент граничного слоя взаимного перемешивания материалов (г)

Совокупность приобретенных свойств позволяет значительно повысить рабочие параметры деталей и конструктивных элементов из алюминиевых сплавов.

Нанесение сверхтвердых композиционных покрытий. Экспериментальные исследования показали возможность реализации динамического синтеза сверхтвердых материалов. Так, карбид титана TiC образуется при использовании титановых электродов и закладки порошкообразного графита в КФПС. В высокоскоростной струе TiC смешивается с титаном и на подложке осаждается покрытие состава Ti+TiC [3].

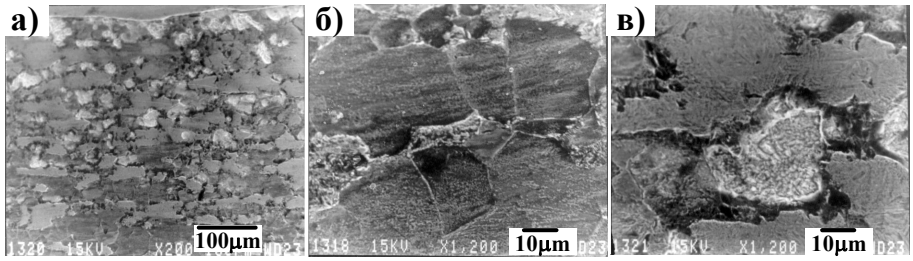


Рис. 3. Микрофотографии шлифа вертикального среза стального образца с твердым покрытием на основе титана при различном увеличении: а) поверхностный слой стальной подложки с измененной микроструктурой; б) исходная микроструктура; в) измененная микроструктура

На рис.3 представлены микрофотографии шлифа вертикального среза стального образца (Ст.3) с покрытием на основе титана. Покрытие имеет толщину 0,1…1,0 мм, однородно и не имеет пор. Видно сильное

изменение микроструктуры подложки на глубину более 350 мкм. По данным РФЭС в граничном слое происходит взаимное перемешивание материалов покрытия и подложки, а титан обнаруживается на глубине подложки, соответствующей изменению микроструктуры. Сверхглубокое проникание вещества струи происходит за счет микрокумулятивного внедрения.

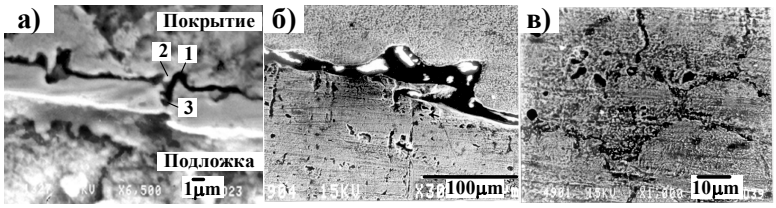


Рис. 4. Микрофотографии шлифа вертикального среза стального образца с твердым покрытием на основе титана: а) микрокумулятивные фрагменты на границе покрытие-подложка; б) каналы сверхглубокого проникания; в) окончания каналов сверхглубокого проникания

Подтверждение такого механизма следует из анализа микрофотографии на рис. 4а, на которой отчетливо видны недосхлопнувшиеся микрокумулятивные выемки – 2 с сохранившимися пестами – 1 и началами каналов сверхглубокого проникания – 3. на микрофотографиях стального образца, представленных на рис. 4, отчетливо видны длинные каналы сверхглубокого проникания, которые оканчиваются на глубине 350…400 мкм.

данные микроэлектронноскопических исследований хорошо согласуются с результатами исследований методом РФЭС (рис. 5) и исследований нанотвердости на поверхности шлифа. Титан обнаруживается в подложке на глубине до 400 мкм. Нанотвердость покрытия (рис. 6) в среднем составляет 1500, что превышает твердость стандартных твердосплавов Т15К6 (Hv=1100). В слое взаимного перемешивания она плавно снижается до среднего уровня 580, что почти в два раза выше нанотвердости Ст.3 (Hv=255).



Рис. 5. Данные рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии граничного слоя взаимного перемешивания материалов твердого покрытия на основе титана и дюралюминиевой подложки

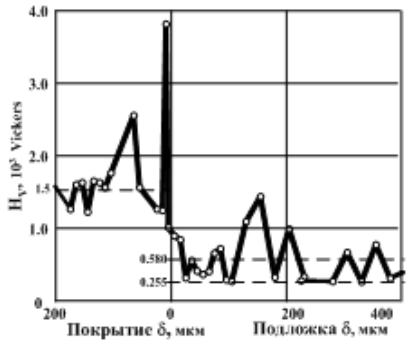


Рис. 6. Кривая изменения твердости стального образца с твердым покрытием на основе титана

Повышенной нанотвердостью обладает поверхностный слой подложки толщиной до 400 мкм. При повышении энергии струи (скорости, длительности и массы материала) граница раздела между покрытием и подложкой становится неразличимой, как это видно на микрофотографиях стального (рис. 7а) и медного (рис. 7б) образцов с твердым покрытием на основе титана

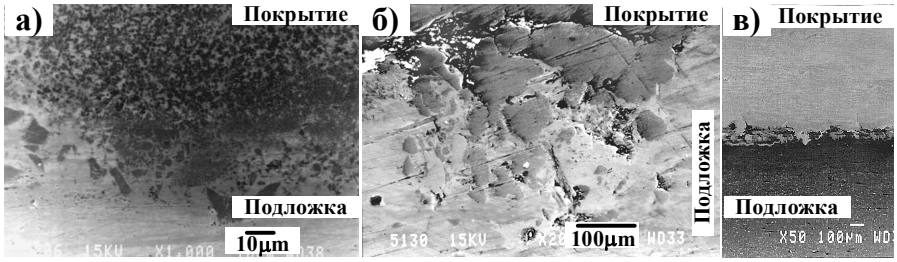


Рис. 7. микрофотографии образцов с твердым покрытием на основе титана на подложках из: а) стали; б) меди; в) дюралюминия

Аналогичные данные получены и при исследовании дюралюминиевого образца, обработанного гиперзвуковой струей из КМПУ с титановым электродом. На микрофотографии (рис. 7в) отчетливо видно образование слоя взаимного перемешивания и сцепления материала сверхтвердого покрытия на основе титана (Hvcp≈1000) с дюралюминиевой подложкой и внедрение в нее материала струи на глубину порядка 1,0 мм, обеспечивающее существенное повышение нанотвердости этого слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. – М.: Наука, 1977. – 184 с.

2. сивков А.А., Корольков Л.В., Сайгаш А.С. нанесение медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности с помощью магнитоплазменного ускорителя // Электротехника. – 2003. – № 3. – с. 41–46.

3. Сивков А.А., ильин А.П., Громов А.М., Бычин Н.В. сверхглубокое проникание вещества высокоскоростного плазменного потока в металлическую преграду // Физика и химия обработки материалов. – 2003. – № 1. – с. 42–48.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО СЕПАРАТОРА С КРЫЛЬЧАТКОЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ

Тимербаев А.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Разработка нефтяных месторождений осуществляется высокими темпами. При этом, если не восполнять израсходованный запас пластовой энергии, происходит быстрое падение пластового давления. При падении его ниже давления насыщения из нефти выделяется газ, увеличивается газовый фактор, напорный режим работы залежей переходит в режим растворенного газа, дебиты скважин резко снижаются. В результате не обеспечивается полнота отбора нефти из залежи и на многие годы затягивается ее разработка.

Для повышения коэффициентов нефтеотдачи при высоких темпах отбора нефти и газа из залежей необходимо искусственное поддержание пластовой энергии. Наиболее распространенный способ - закачка воды в продуктивные пласты.

В настоящее время основными ведущими нефтедобывающими компаниями выработаны высокие требования к качеству воды для систем ППД. Основные требования по качеству подготовки воды соответствуют отраслевому стандарту ОСТ 39-225-88 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству». В данном стандарте жестко регламентируется допустимое содержание в воде нефти и механических примесей, в зависимости от проницаемости пористой среды коллектора. К сожалению, достичь наиболее жесткие требования стандарта (допустимое содержание в воде механических примесей до 3 мг/л, нефти до 5 мг/л [1]), затруднительно, поэтому на текущий момент существует потребность в компактных устройствах, которые обеспечат необходимую степень очистки при оптимальном режиме.

В рамках данной работы были проанализированы различные методы очистки нефтесодержащих вод.

На наш взгляд, перспективно при очистке пластовых нефтесодержащих вод вместо традиционного гравитационного разделения, используемого при отстаивании и флотации, применять центробежную силу, которая позволит многократно интенсифицировать процесс разделения и повысить степень очистки воды от нефти и механических примесей. Разделение в поле центробежных сил может быть осуществлено в центрифугах и гидроциклонах.

Но данные типы аппаратов имеют ряд недостатков. Например, гидроциклоны имеют перепад давления, поэтому их использование возможно только при высоком давлении, центрифуги могут применяться при любых давлениях, но имеют ограничение по максимальному расходу.

В настоящее время наиболее перспективно применение осевого центробежного сепаратора, в котором жидкость движется через крыльчатку в направлении её оси и вращательное движение жидкости передается от крыльчатки. Данные аппараты отличаются простотой конструкции и компактностью, меньшей по сравнению с флотаторами и центрифугами массой, а так же возможностью работы в широком диапазоне производительностей и давлений [2].

В результате анализа возможной конструкции осевого центробежного сепаратора, была создана трехмерная модель сепаратора с вводом жидкости по нормали в САПР Autodesk Inventor (рис.1). Габаритные размеры (ДхШхВ) сепаратора составляют 1600х185х340мм.

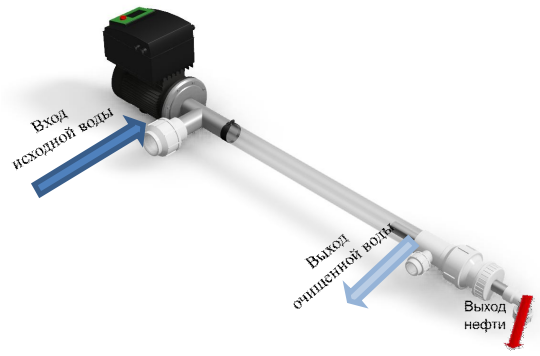


Рис.1. 3D модель центробежного сепаратора

Для моделирования работы и оптимизации конструкции центробежного сепаратора был использована программа STAR-CCM+.

На основе CAD-модели была сгенерирована объемная сетка (рис.2) на основе многогранных ячеек размерностью 3.7 млн. шт.

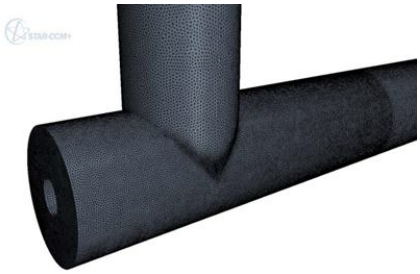


Рис.2. Поверхностная сетка корпуса сепаратора

Модель сепаратора предполагает вращение ротора и вала. Поэтому для получения более точных результатов с помощью CAD-моделера исходная модель была разбита на три региона: входной патрубок, регион с ротором и валом, выходной патрубок.

Целью численного моделирования было исследование зоны рециркуляции потока в концевой зоне крыльчатки. Наличие такой зоны свидетельствует о несогласованности между граничными условиями, в данном случае - расход жидкости, и величиной оборотов крыльчатки. Для исследования зависимости зоны рециркуляции от расхода была проведена серия расчетов, в которых расход жидкости на входе изменялся от Q = 3 м3/ч до Q = 15 м3/ч.

Исходные данные:

- Объемный расход воды: 3, 6, 10, 12, 15 м3/ч;
- Частота оборотов ротора N = 3000 об/мин.;
- Плотность воды: ρ= 1000 кг/ м3;
- Динамическая вязкость воды: μ = 1,005 мПа·с.

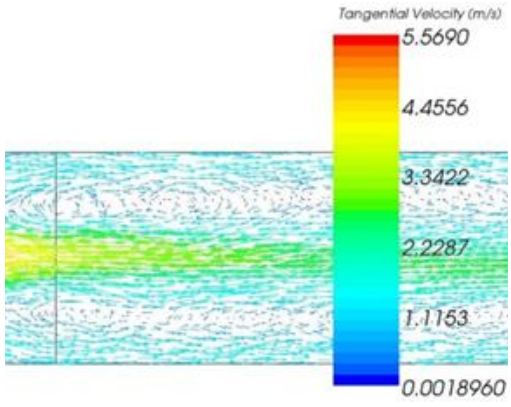


Рис.3. Векторное поле скорости с центральном сечении (Q=3 м3/ч)

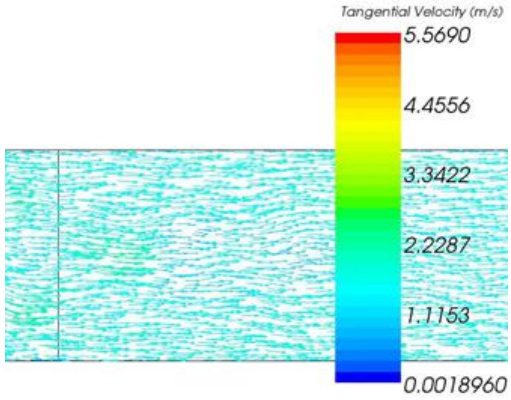


Рис.4. Векторное поле скорости с центральном сечении (Q = 15 м3/ч)

Анализируя векторное поле скорости в центральном сечении, видно, что при расходе Q = 3 м3/ч (рис.3) присутствует зона сильной рециркуляции или возвратного потока через осевую часть крыльчатки. При увеличении расхода скорость рециркуляции снижается, и уже для Q = 12м3/ч обратный поток исчезает. При Q= 15м3/ч (рис.4) наблюдается равномерный поток в направлении выхода.

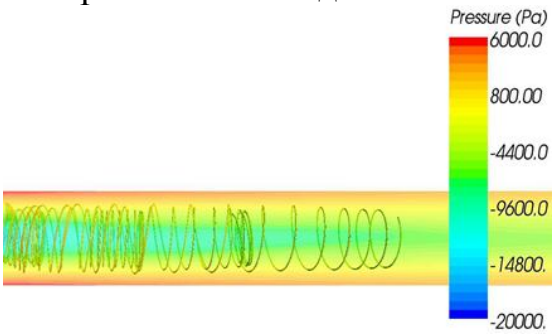


Рис.5. Поле давления и линии тока (Q=3 м3/ч)

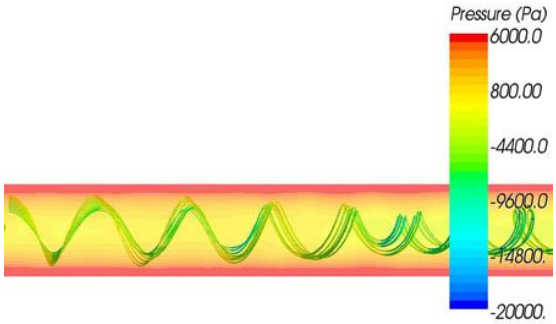


Рис.6. Поле давления и линии тока (Q =15м3/ч)

Анализируя поле давления в центральном сечении и линии тока, необходимо обратить внимание на случай при Q = 3 м3/ч (рис.5) где видно, что ни одна линия тока не доходит до выхода. Это говорит о том, что рециркуляция в данном случае очень сильна. По мере увеличения расхода

все больше линий доходит до выхода (рис.6). Структурированная линия тока наблюдается при Q = 15 м3/ч (рис.6).

Таким образом, анализ результатов данной серии численного моделирования показал, что предлагаемая комбинация расхода жидкости на входе и скорости вращения вала крыльчатки для данной конструкции не согласованы, т.к. возникает сильная зона рециркуляции. Вода засасывается обратно в крыльчатку. Установлено минимальное значение расхода воды на входе (15м3/ч), при котором рециркуляция исчезает.

По итогам моделирования разработаны рекомендации для дальнейших исследований, согласно которым необходимо увеличить расход жидкости на входе, либо уменьшить обороты крыльчатки.

ЛИТЕРАТУРА

1. ОСТ 39-225-88 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству»;

2. Тимербаев А.С. Исследование физико-химического способа очистки воды для систем ППД с применением центробежного сепаратора с крыльчаткой// Всероссийская научно-практическая конференция “Новые технологии – нефтегазовому региону”/ Сборник трудов в 2-х томах. Т. 2; – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. - 284 с.

КОМПАКТИРОВАНИЕ НАНОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ НИТРИДА ТИТАНА ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Усиков А.И.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящей работе показана возможность получения компактных образцов сверхтвердого материала методом искрового плазменного спекания (ИПС) из ультрадисперсного порошка (УДП) нитрида титана плазмодинамического синтеза. ИПС является модифицированным методом горячего прессования. Его отличительной особенностью является то, что импульсный электрический ток протекает непосредственно через графитовую пресс-форму и прессуемую заготовку из порошкового материала, расположенную между пуансонами. К последним прикладывается статическое усилие от гидравлической системы. При совокупном воздействии плазмы искровых микроразрядов, возникающих в зазорах между частицами порошка, быстро и эффективно разогревает

поверхность частиц до температуры плавления. Статическое сжатие обеспечивает сближение и консолидацию частиц. Быстрый нагрев и малая продолжительность рабочего цикла позволяют подавить рост зерна и получить равновесную субмикронную и даже наноструктуру материала.

Эта инновационная технология позволяет консолидировать практически любые субмикронные и наноразмерные порошкообразные материалы, обеспечивая плотность, близкую к плотности монокристалла.

В экспериментах использовалась установка искрового плазменного спекания SPS-515S, принципиальная схема которой показана на рис.1.

Процесс происходит следующим образом. Порошкообразный материал 1 (рис. 1) закладывается в графитовую пресс-форму (2) между подвижным (3) и неподвижным (4) графитовыми пуансонами. Рабочая камера герметизируется и задаются необходимые параметры установки: величина усилия сжатия, скорость нагрева, температура и время спекания.. После откачки рабочей камеры до давления 6 Па на подвижный пуансон прикладывается усилие от гидравлической системы и включается источник электрических импульсов.

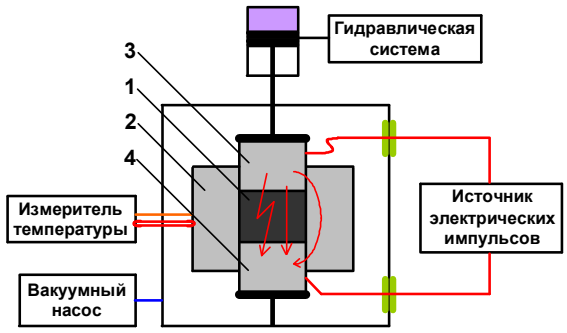


Рис. 1. Принципиальная схему установки ИПС. 1- порошкообразный материал, 2- пресс-форма, 3- подвижный пуансон, 4- неподвижный пуансон

В качестве исходного материала использовался УДП нитрида титана (содержание кристаллического TiN – 92%, TiO2(r) – 6% и TiO2(a) – 2%), полученный методом плазмодинамического синтеза, без какой-либо предварительной подготовки с распределением от 20 нм до 200 нм (средний размер порядка 100 нм). Получение компактных материалов производилось при температурах спекания Тсп 900 °С, 1100 °С и 1300 °С, при прочих равных условиях: усилие сжатия 5 кН, скорость нагрева 100°С/мин, выдержка при максимальной температуре 5 мин, охлаждение естественное.

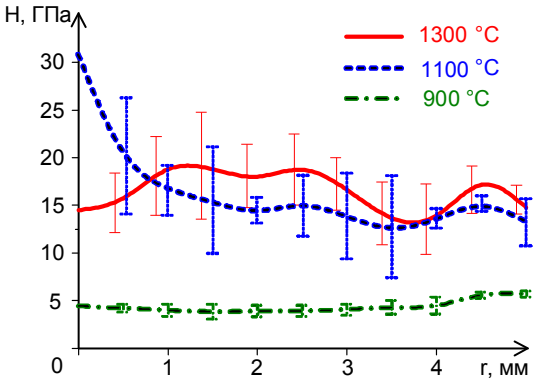


Рис. 2. Зависимость твердости компактных образцов по радиусу на определенных расстояниях от центра

Исследования физико-механических характеристик полученных объемных образцов проведены с использованием компьютеризированных комплексов Nanohardness tester, Microscratch tester и Micromeasure 3D station (CSEM instrument). При исследовании нанотвердости проведено по четыре серии индентирования по разным радиусам отшлифованной поверхности всех образцов. Измерения проведены при максимальной нагрузке на индентор Виккерса 300 мН. Усредненные по радиусу результаты измерений представлены на рис. 2 в виде профилей нанотвердости по радиусу поверхности образца. Видно, что минимальный и практически постоянный уровень нанотвердости с минимальным разбросом имеет материал, полученный при температуре 900 °C. Увеличение температуры спекания приводит к многократному увеличению твердости, но увеличивается разброс значений отдельных индентирований. Относительное постоянство H(r) имеет место на расстоянии от центра более 1,0 мм, причем среднее значение нанотвердости, как видно из табл. 1 увеличивается с ростом Тсп.

Таблица 1.

Усредненные результаты индентирования объемных образцов

ТСП, °C	H, ГПа	E, ГПа
1300	17,3	357
1100	15,5	303
900	4,4	106

Однако при этом возникают аномалии профилей нанотвердости в центральной части дисковых образцов радиусом до 1,0 мм. При Тсп=1100 °C твердость незначительно снижается, а при Тсп=1300 °C значительно увеличивается. Аналогичный эффект наблюдается при SPS SiC в титановой матрице [1]. Объясняется это тем, что при некоторых условиях проведения процесса компактирования электропроводящих

материалов, ток через образец превышает ток, протекающий по пресс-форме. Это вызывает градиент температуры с увеличением к центру образца. Неоднородность нагрева проявляется в виде повышения плотности и твердости. Нельзя исключить и обратное проявление эффекта неоднородности плотности тока и градиента температуры в отличных условиях, например при задании Тсп=1100 °С.

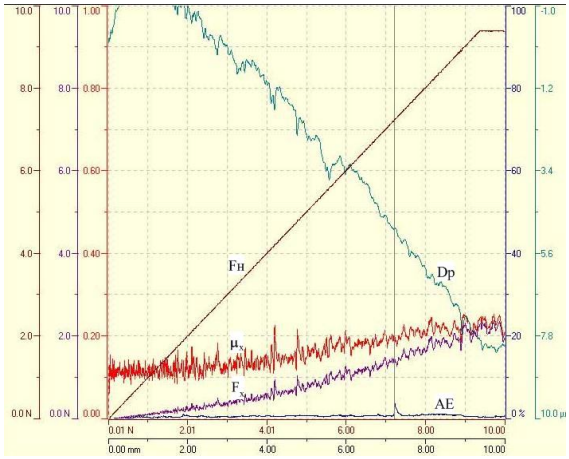


Рис. 3. Зависимости изменения Fн, AE, Fx, μx и Dp по длине трека, полученные с интерфейса Microscratch tester

Приведенные профили H(r) и средние по поверхности образца данные (табл. 1) показывают, что лучший результат по твердости и плотности достигается при Тсп=1300 °С. Такой же вывод следует из анализа данных скретч-тестирования этих же образцов. Было проведено по два скретч-теста на поверхности каждого образца. При этом скорость движения индентора Роквелла состовляла 10 мм/мин, а нагрузка на индентор изменялась в течении минуты со скоростью 10 Н/мин. Контроль параметров осуществлялся в реальном времени, а результат выдавался на интерфейс, в виде кривых изменения: нормальной силы нагружения (Fн), уровня акустической эмиссии (AE), силы трения (Fx), коэффициента трения (μx), глубины вдавливания индентора Роквелла (Dp) по длине трека, как показано на рис. 3 для случая скретч-тестирования образца, полученного при Тсп=1300 °С.

В табл.2 приведены средние значения силы трения (Fx) и коэффициента трения (μx), полученные при максимальной нагрузке Fн = 10 Н. Видно, что с ростом Тсп и Н, снижаются сила трения и коэффициент трения.

Износостойкость материала полученных образцов оценивалась путем анализа трехмерных изображений и профилей царапины, нанесенных при скретч-тестировании, показанных на рис. 4.

Таблица 2.

Физико-механические характеристики компактных образцов

ТСП, °С	Fx, Н	μx	hmax, мкм	S, мкм2
1300	2,3	0,23	1,18	3299
1100	2,8	0,28	1,95	3973
900	5,0	0,50	13,25	22057

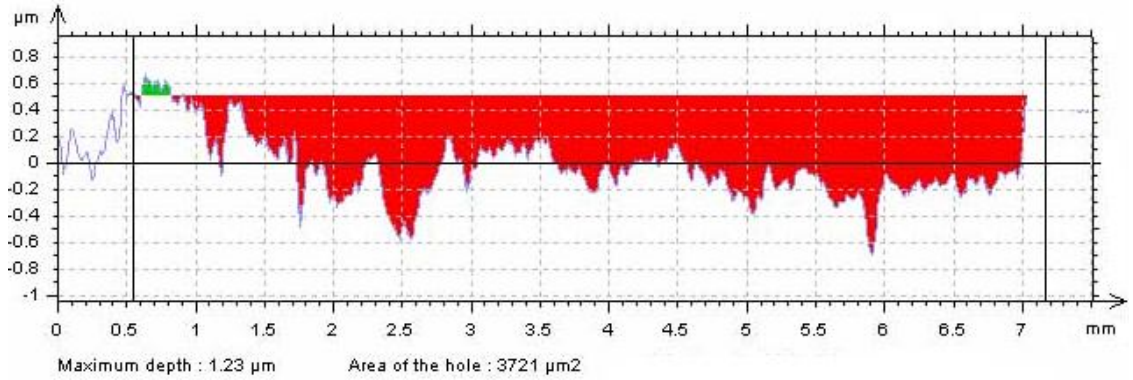


Рис. 4. Профиль продольного сечения трека поверхности образца после скретч-тестирования, полученного при Тсп=1300 °С

В табл. 2 приведены средние значения по максимальной глубине трека (hmax) и площади продольного сечения трека (S). Очевидна обратная корреляция между Тсп, Н и глубиной h и площади продольного сечения трека S, т.е. износостойкость поверхности образца сильно повышается с ростом физико-механических характеристик материала, обусловленных ростом температуры спекания.

ЛИТЕРАТУРА

1. H.U. Kessel, J. Hennicke, R. Kirchner, T. Kessel. Rapid sintering of novel materials by FAST/SPS – further development to the point of an industrial production process with high cost efficiency. FCT Systeme GmbH. www.fct-systeme.de.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (номер 14.740.11.1237), с использованием оборудования центра ТПУ «Наноматериалы и нанотехнологи».

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Халикова Г.Р.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

ВВЕДЕНИЕ

Разработка новых конструкций связана с проведениями термопрочностных расчетов. Сложность этих расчетов зависит от сложности самой конструкции. Инженерные пакеты позволяют упростить моделирование прочностных задач сложных конструкций, но время расчета, особенно для геометрии содержащей большое количество конечных элементов может быть большим. Анализ уравнений на упругие деформации относительно линейных преобразований координат и нагрузок позволяет провести в инженерном пакете единичный расчет и пересчитать распределения напряжений для различных нагрузок с помощью масштабирования, а так же определить критические параметры конструкции (например, достижение предела текучести в концентраторах напряжений).

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим масштабирование уравнений для упругих деформаций относительно преобразования $x_i = aX_i$, где xi — первоначальные координаты тела, Xi — преобразованные координаты, a — масштабный коэффициент.

Согластно закону Гука, сила упругости, возникающая в теле при его малой деформации, прямо пропорциональна величине этой деформаций. Поэтому вектор деформаций преобразуется в виде $u_i = aU_i$. Тензор напряжений не меняется:

$$\varepsilon_{ij} = \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right) = \left(\frac{a\partial U_i}{a\partial X_k} + \frac{a\partial U_k}{a\partial X_i} \right) = \left(\frac{\partial U_i}{\partial X_k} + \frac{\partial U_k}{\partial X_i} \right),$$

где a – масштабный коэффициент для линейного размера. При масштабировании размера тензор деформации не меняется.

Тензор напряжений и тензор деформаций связаны линейно:

$$\sigma_{ik} = K\varepsilon_{ll}\delta_{ik} + 2\mu\left(\varepsilon_{ik} - \frac{1}{3}\delta_{ik}\varepsilon_{ll} \right),$$

где коэффициенты K (модуль всестороннего сжатия) и μ (модуль сдвига) характеризуют упругие свойства материала [1]. При преобразовании линейного размера тензор напряжений σ_{ik} не меняется.

В статических задачах с внешней силой f тензор напряжений определяется из условия равновесия:

$$\sum_{k=1}^{3} \frac{\partial \sigma_{ik}}{\partial x_k} + f_i = 0 \Rightarrow \sum_{k=1}^{3} \frac{\partial \sigma_{ik}}{a\,\partial X_k} + f_i = 0 \Rightarrow \sum_{k=1}^{3} \frac{\partial \sigma_{ik}}{\partial X_k} + F_i = 0,$$

где $F_i = af_i$, т.е. уравнения остаются неизменными при замене $f_i \to af_i$.

Для определения зависимости от деформаций от внешних нагрузок рассмотрим преобразование $F' = bf$, где b – коэффициент масштабирования внешней силы. Давление p преобразуется как:

$$p = \frac{f}{s} = \frac{F'/b}{S'/a^2} = \frac{a^2}{b} \cdot \frac{F'}{S'} = \frac{a^2}{b} \cdot P'$$

где s — единица площади до преобразования.

Окончательно получим преобразования:

$$x_i \to ax_i, f_i \to bf_i, p \to (a^2/b)p.$$

2. РАСЧЕТЫ

Покажем применение полученных преобразований для расчета предела текучести 3D элемента полой лопатки (Рис. 1) состоящей из соединительной хорды между двумя листами металла в инженерном пакете ANSYS Mechanical. В качестве основного типа конечных элементов был выбран элемент SOLID186, поскольку он поддерживает необходимые для рассматриваемой задачи степени свободы и поддерживает необходимые свойства материала (модуль Юнга, коэффициент Пуассона). Нижняя поверхность закреплена, к верхней поверхности верхнего бруска задается перепад давления – 1…2 МПа. В качестве материала образца выбран титановый сплав ВТ6 [2]. Используются следующие параметры модели материала, зависящие от температуры: модуль Юнга Evt6 = 1.17·1011 Па (взят из библиотеки материалов инженерного пакета Deform 3D) при температуре диапазоне T=20°C и коэффициент Пуассона ν = 0,31.

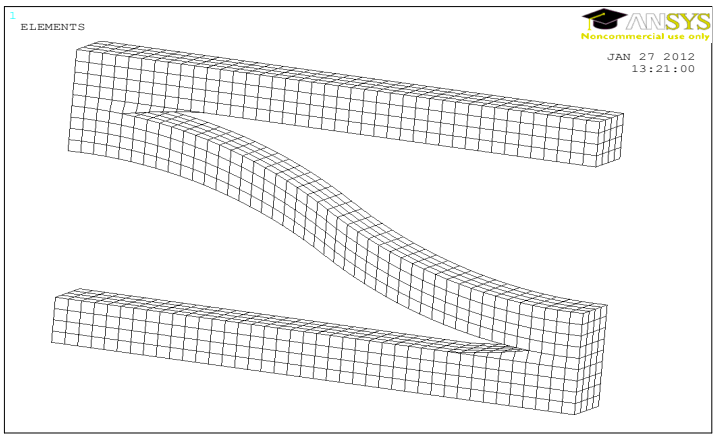


Рис.1. Геометрия образца, разбитая на КЭ

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Для материала ВТ6 при Т=20°С концентраторы напряжений располагаются на стыке нижнего и верхнего листов металла с хордой. Предел текучести для ВТ6 при Т=20°С достигается при соотношении a2/b =1,325 (например, a=1, b=0.755). При этом значение внешнего давления становится равным 1,325·106 Па.

На Рис. 3-6 построены графики распределения напряжений вдоль выбранных линий. Вдоль направлений 1 и 2 распределение напряжений равномерно в пределах 2-3%, а вдоль остальных линий напряжения меняются в значительном диапазоне.

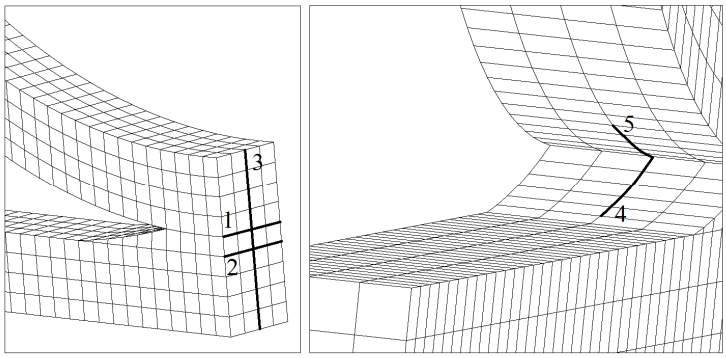


Рис. 2. Контрольные линии для измерения напряжений

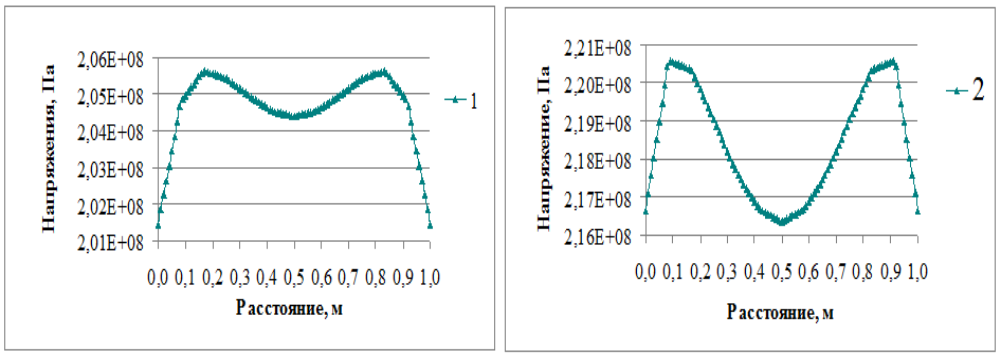


Рис. 3. Распределение напряжений вдоль линий 1,2

На рис. 5-6 видно, что обе линии сходятся в одной точке (концентратор напряжений) со значением напряжения 900 МПа. Вдоль линий 4 и 5 падение напряжения через 3 элемента составляет 10 и 3 раза, соответственно. Вдоль линии 3 (Рис. 4) напряжения снижаются 4,5 раза по сравнению со значением в концентраторе. Таким образом, концентратор напряжений сильно локализован и вблизи него необходима более подробная сетка.

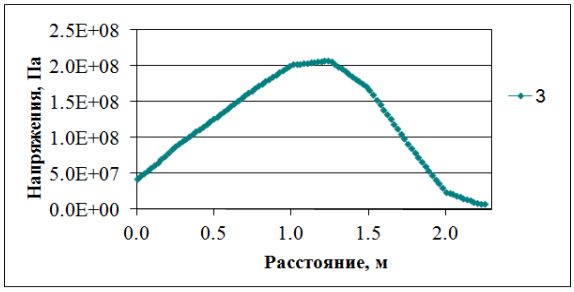


Рис. 4. Распределение напряжений вдоль линии 3

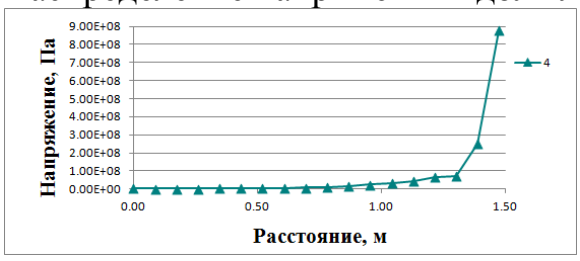


Рис. 5. Распределение напряжений вдоль линии 4

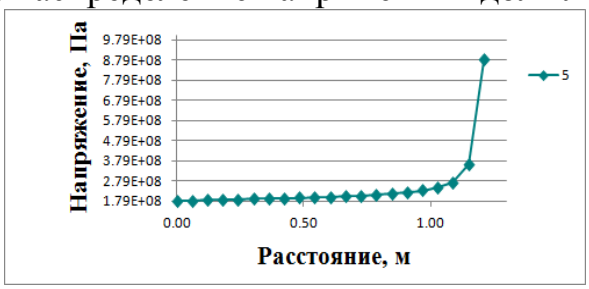


Рис. 6. Распределение напряжений вдоль линии 5

Для определения критического значения внешнего давления, при котором в концентраторе напряжений достигается предел текучести, понадобился единичный расчет в инженерном пакете. На основе рассчитанного в пакете поля напряжения и с помощью преобразований линейных размеров и внешних нагрузок было найдено критическое значение. Отметим, что любой набор параметров, удовлетворяющих условию a2/b < C (для нашей конструкции C=1,325) соответствует упругим деформациям, и разрушения конструкции за счет течения металла не происходит.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Было проведено изучение уравнений на упругие деформации относительно линейных преобразований размеров и нагрузок. С помощью преобразований для единичного расчета элемента полой лопатки было найдено напряжение, при котором в концентраторе напряжений достигается предел текучести. На основе полученных преобразований планируется разработка макроса в пакете ANSYS Mechanical, определяющего максимальную нагрузку, при которой достигается предел текучести.

Работа выполнена в рамках проекта «Создание технологий и промышленного производства узлов и лопаток ГТД с облегченными высокопрочными конструкциями для авиационных двигателей новых поколений» (шифр 2010-218-01-133) в рамках реализации постановления № 218 Правительства РФ от 9.04.2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л.Д., Липшиц Е.М. Теоретическая физика в 10т., Т.VII Теория упругости – М.: Наука, 1987. – 248с.

2. ГОСТ 19807-91: Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки.

НАНЕСЕНИЕ МЕДНОГО ПОКРЫТИЯ НА АЛЮМИНИЕВЫЕ КОНТАКТНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ

Цыбина А.С., Герасимов Д.Ю.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Проблема уменьшения переходного сопротивления и совмещения электрического контакта медь-алюминий, повсеместно встречающегося в промышленной электротехнике, общеизвестна. Существует, по крайней мере, два способа совмещения такой контактной пары. При использовании одного из них, биметаллических прокладок, увеличивается число контактных переходов, что приводит к увеличению переходного сопротивления контакта. Наиболее эффективным способом решения этих задач является использование специальной смазки на основе медного порошка. Однако, ему присущи такие недостатки как ухудшение свойств при длительной эксплуатации с циклическими нагрузками и невозможность повторного использования при ревизии контакта. В работе предложен новый способ решения этой проблемы – нанесение медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности с помощью импульсного коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ). В процессе работы ускорителя в плазменной структуре разряда накапливается ~ 10,0 г материала, эродированного с поверхности его электродов и вовлекаемого в движение. Скорость фронта потока в начале

его воздействия на поверхность мишени составляет ~1,0 км/с. При таких скоростях потока с плотностью вещества ~1 г/см3 следует ожидать пластической деформации, разогрева и плавления поверхностного слоя алюминиевой подложки-мишени [1]. Давление соударения должно превышать 100 кбар и приводить к межмолекулярному взаимодействию. Совокупность этих факторов должна обеспечить возникновение граничного слоя взаимного перемешивания материала потока, образующего покрытие, и материала подложки. за один цикл наносится медное покрытие на круговую алюминиевую поверхность площадью ~ 80 см2. Из алюминиевых подложек с нанесенным медным покрытием были приготовлены образцы вертикального среза со шлифами. Исследование структуры поверхности шлифов проведены на растровом электронном микроскопе Jeol-840 с приставкой Link для рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Установлено, что толщина покрытия в среднем не менее 100 мкм, структура его однородна и практически не имеет пор. медное покрытие плотно сопрягается с поверхностью алюминиевой подложки (рис.1а). Частицы меди размером до ~10 мкм визуально обнаруживаются в подложке на глубине до ~50 мкм, что подтверждается данными РФЭС. На такой глубине в алюминии присутствует до 1,0% меди. Характер взаимного перемешивания и сцепления материалов покрытия и подложки в граничном слое отчетливо виден на микрофотографии (рис.1б) и может быть объяснен плавлением алюминия. на отдельных участках границы раздела обнаруживаются фрагменты, напоминающие по очертанию микрокумулятивные конфигурации (рис.1в), аналогичные представленным в работе [2]. Внедрение микрокумулятивных медных струй в алюминиевую подложку возможно и является механизмом проникания меди на глубину в несколько десятков микрометров.

Для проведения сравнительных исследований характеристик и свойств контактных переходов выполнена сборка из четырех образцов тороидальной формы с контактными кольцевыми поверхностями площадью 600 мм2, стянутых одним болтом (рис.2) с токоподводящими медными шипами. Таким образом обеспечивались равные усилия сжатия всех контактных переходов. Исследования проведены в условиях нагружения образцов импульсным током и длительного циклического нагружения переменным током. Импульсный режим создавался разрядом одного молекулярного конденсатора МИГ-100 (С=2Ф, Rвн=0,05Ом, Uн=100В). Амплитуда тока импульса (длительностью ~ 10мс) изменялась от 760А до 1040А за счет изменения зарядного напряжения конденсатора.

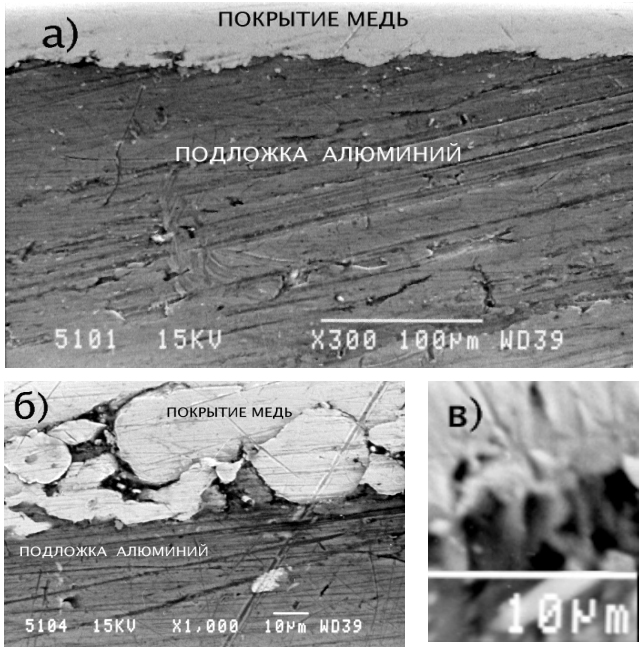


Рис.1. Микрофотографии шлифа вертикального среза алюминиевой подложки с медным покрытием
а) Граница покрытие-подложка при увеличении×300
б) Фрагмент граничного слоя с взаимным перемешиванием материалов покрытия и подложка
в) Фрагмент с микрокумулятивным эффектом

В течение одного импульсного нагружения температура переходов остается практически постоянной ~200С. определенные вольт-амперным способом средние значения сопротивления переходов, при различных токах и одинаковой температуре показали, что сопротивление контактной пары Cu-Al равно 1,83 мкОм, контактной пары Cu-Cu – 0,61 мкОм, контактной пары Cu-Al (с медным покрытием) – 1,06 мкОм. Разница значений сопротивления контактной пары Cu-Al и Cu-Cu может быть принята для оценки величины электрического сопротивления границы перехода между медным покрытием и алюминиевой подложкой.

Из рис.3 видно, что контактная пара Cu-Al (с медным покрытием) менее чувствительна к усилию сжатия по сравнению с обычной контактной парой Cu-Al (кривая 2 более полога, чем кривая 1), вероятно из-за большей твердости алюминиевой поверхности образца с покрытием. Близкие к реальным условия длительного нагружения переменным током промышленной частоты создавались с помощью нагрузочного трансформатора. В соответствии с [3] контактные элементы сжимались с усилием 230 Н.

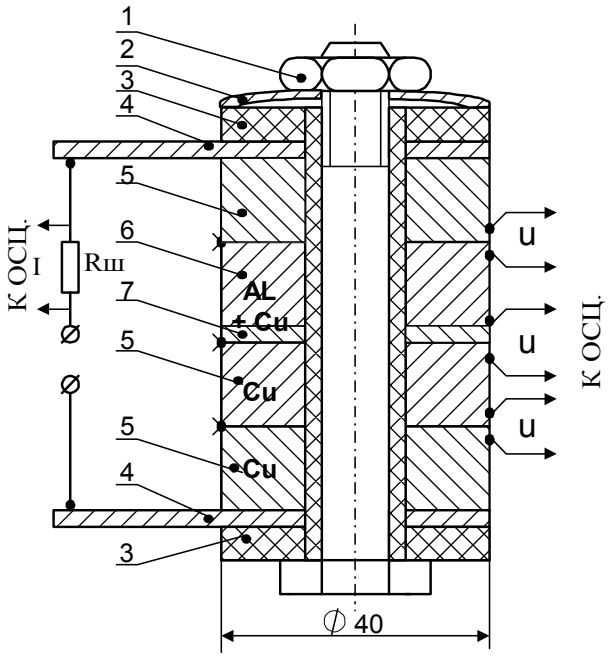


Рис.2. Схема и конструкция контактной сборки для исследования переходного контакта. 1.Стяжной болт с гайкой. 2.тарельчатая шайба 3.стеклотекстолитовые шайбы. 4.токоподводя- щие шины. 5.медные контактные элементы. 6.алюминиевый контактный элемент с медным покрытием (7). I-ток нагрузки, U-падение напряжения на контактном переходе

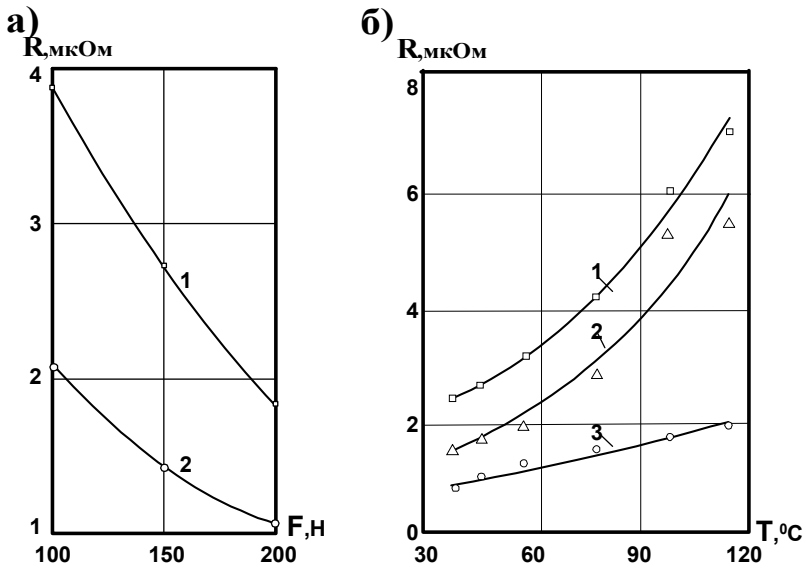


Рис.3. Зависимости сопротивления контактного перехода:
а) от величины усилия сжатия R(F)
б) от температуры R(T0C): 1-для перехода Cu-Al, 2-для перехода Cu-Al с медным покрытием, 3-для перехода Cu-Cu

Ток нагрузки 470 А и плотность тока на контактных переходах устанавливались с учетом требований ГОСТ-434-53. Температура исследуемых образцов устанавливалась на постоянном уровне ~ 500С через ~ 3 часа после включения тока. Естественный рост температуры образцов под нагрузкой сопровождается увеличением сопротивления контактных переходов. В экспериментах температура образцов доводилась до 1150С как путем подогрева от внешнего нагревателя при постоянном номинальном уровне тока, так и за счет повышения плотности тока сверх номинальной (рис.2). Анализ экспериментальных зависимостей, представленных на рис.2 показывает, что сопротивление контактного перехода Cu-Al более чувствительно к росту температуры, чем перехода Cu-Cu. Однако, сопротивление перехода Cu-Al с покрытием на постоянную величину ΔR ~ 0,67мкОм ниже сопротивления обычного перехода Cu-Al во всем исследуемом температурном диапазоне. Образец контактной пары Cu-Al с медным покрытием подвергался длительным циклическим нагрузкам номинальным током (10 циклов по 12 часов). В перерывах происходило естественное охлаждение сборки до комнатной температуры. При этом не было обнаружено заметного увеличения переходного сопротивления и изменения режима нагрева контактной пары, изменения не происходили и при охлаждении контактной пары в перерывах.

Выводы:

Показана принципиальная возможность создания технологической установки по нанесению медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности на основе импульсного коаксиального магнитоплазменного ускорителя.

Высокая адгезия покрытия и низкое переходное электрическое сопротивление обусловлены глубоким внедрением материала покрытия (медь) в алюминиевую подложку и образованием граничного слоя взаимного перемешивания и сцепления материалов покрытия и подложки.

Медное покрытие на алюминиевой контактной поверхности дает возможность решения задач совмещения контактной пары Cu-Al и снижения ее переходного сопротивления. Это обеспечивает повышение надежности контактных соединений и снижение потерь электроэнергии при длительной эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сивков А.А., Корольков Л.В., Сайгаш А.С. Нанесение медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности с помощью магнитоплазменного ускорителя // Электротехника. 2003. № 8. с. 41-46.

2. Сивков А.А.. О возможном механизме “сверхглубокого проникания” микрочастиц в твердую преграду // Письма в ЖТФ. 2001. Вып. 16. с. 60-65.

3. Афанасьев В.В. Справочник по расчету и конструированию контактных частей сильноточных электрических аппаратов. Ленинград. Энергоатомиздат.1988.

ФЕРРИТЫ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Чеповской А.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск

Важнейшими моментами при создании надежной электротехнической аппаратуры эксплуатируемой в условиях космоса являются микроминиатюризация составляющих ее частей. В связи с этим, при разработке радиоэлектронной аппаратуры возникла необходимость получения малогабаритных трансформаторов на основе ферритовых сердечников марки 2000НМ1.

В данной работе представлена новая технология получения таких трансформаторов, применяемых в радиоэлектронной аппаратуре ОАО «НПЦ «Полюс».

Целью работы является, создание новой ресурсосберегающей технологии получения трансформаторов радиоэлектронной аппаратуры на основе ферритовых сердечников марки 2000НМ1.

Для достижения необходимых результатов были сформированы следующие задачи:

1. Создание технологии механической обработки сердечников;
2. Разработка новой технологии изолирования сердечников;
3. Определение пробивного напряжения изоляционного покрытия.
4. Исследование изменения начальной магнитной проницаемости сердечников процессе изготовления трансформаторов;

Для создания малогабаритных трансформаторов нами предложена следующая технологическая цепочка:

1. Механическая обработка сердечника (снятие кромок);
2. Замена лакоткани на порошковое покрытие П-ЭП-ПЛ-206. Исследования показали, что основные магнитные характеристики ферритовых сердечников практически не ухудшаются при использовании новой технологической схемы.

Главным преимуществом новой технологии является существенное снижение габаритных размеров трансформаторов (до 13 %) на основе ферритовых сердечников марки 2000НМ1.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ВРАЩЕНИЯ НЕУРАВНОВЕШЕННОГО РОТОРА С ЖИДКОСТНЫМ АВТОБАЛАНСИРОМ НА ГИБКОМ ВАЛУ

Юровский П.Г.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

В процессе эксплуатации систем с жидкостными автобалансирными устройствами (АБУ) необходимо знать критические угловые скорости, при которых нарушается устойчивость стационарных вращений. В ряде работ, например в [1, 2], получены приближённые условия устойчивости установившегося вращения уравновешенного цилиндра, частично заполненного жидкостью, которые трудно применить к системам с АБУ. Непосредственное исследование устойчивости вращения роторов с жидкостными АБУ в литературе не описано.

В предлагаемой работе, анализируется устойчивость вращения ротора с жидкостным АБУ без свободной поверхности при действии сил внешнего и внутреннего трения. Представляет интерес исследовать влияние соотношения рассмотренных сил на устойчивость вращения ротора с АБУ. Пусть ротор с АБУ закреплён симметрично относительно опор вертикального гибкого вала, проходящего через его геометрический центр О1 (рис. 1, 2).

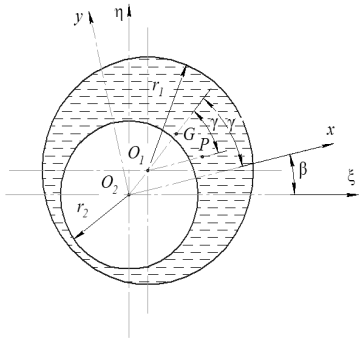


Рис. 1. Сечение ротора с жидкостью

Введем дополнительные ограничения для АБУ, считаем свободную поверхность жидкости недеформируемым поплавком. Тогда при вращении системы вал прогибается в месте крепления ротора на величину O2O1, поплавок, для которого геометрическая и материальная оси симметрии совпадают, так же как в поплавковых гироскопах [3] центрируется на оси вращения O2 за счёт сил давления, а жидкость перетекает в сторону прогиба. Предполагаем, что при возмущённом движении ротора отрыв жидкости от стенок не происходит и центрирование поплавка сохраняется. В этом случае центр масс слоя жидкости расположен на линии центров O2O1 в точке G (рис. 1, 2). Сформулированные предположения позволяют исключить из рассмотрения гидродинамическую задачу.

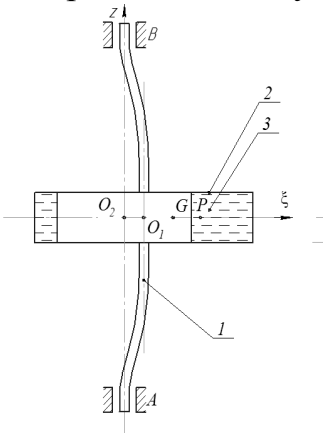


Рис. 2. Схема закрепления ротора

Законы вращательного движения ротора и системы O2xy определяются одним и тем же углом поворота β(t) (t – время), следовательно, ротор в подвижной системе координат может перемещаться только поступательно. За обобщённые координаты возьмём координаты в неподвижной системе точки O1, которые обозначим через ξ, η. Считаем, что на ротор со стороны вала действуют сила упругости $\overline{F}_c = -c\,\overline{O_2O_1}$, силы внутреннего и внешнего трения $\overline{F}_k = -k\,\overline{V}^r_{O_1}$ и $\overline{F}_\chi = -\chi\,\overline{V}_{O_1}$ приложенные в точке O1, пропорциональные соответственно прогибу вала $\overline{O_1O_2} = x\overline{i} + y\overline{j}$; скорости точки O1 в подвижной системе координат O2xy

$$\overline{V}^r_{O_1} = (\dot{\xi} + \eta\dot{\beta})\overline{i} + (\dot{\xi} + \eta\dot{\beta})\overline{j} \qquad (1)$$

и абсолютной скорости

$$\overline{V}_{O_1} = \dot{\xi}\overline{i} + \dot{\eta}\overline{j}, \qquad (2)$$

где i, j – орты декартовой системы O2ξη. Условие равновесия перечисленных сил и сил инерции системы запишется в виде:

$$-c\overline{O_2O_1} - k\overline{V}^r_{O_1} - \chi\overline{V}_{O_1} - m_1\overline{a}_P - m_2\overline{a}_G = 0. \qquad (3)$$

Здесь m1, m2 и $\overline{a}_P$ и $\overline{a}_G$ – массы и ускорения центров масс соответственно ротора и жидкости. Последние вычисляются через координаты точек P и G в неподвижной системе отсчёта (4):

$$\xi_P = \xi + e\cdot\cos\beta, \quad \eta_P = \eta + e\cdot\sin\beta, \quad \xi_G = r\xi, \quad \eta_G = r\eta.$$

Проецируя (3) на оси ξ, η с учётом (1, 2) и (2.14), получаем дифференциальные уравнения движения ротора с АБУ (5):

$$c\ddot{\xi} + (p+\chi)\dot{\xi} + c\xi + p\eta\dot{\beta} = m_1 e(\dot{\beta}^2\cos\beta + \dot{\beta}\sin\beta);$$
$$c\ddot{\eta} + (p+\chi)\dot{\eta} + c\eta + p\xi\dot{\beta} = m_1 e(\dot{\beta}^2\sin\beta + \dot{\beta}\cos\beta).$$

Полагая в (5) e=0, m2=0 и χ=0, имеем уравнения движения центра масс уравновешенного диска на упругом валу при действии внутреннего трения, приведённые в [4]. Сравнивая эти уравнения с (5), устанавливаем соотношение между коэффициентом p и коэффициентом k, входящим в зависимость напряжения от деформации вязкоупругого материала вала $\sigma = E\varepsilon + k\dot{\varepsilon}$, p=ck/E. Здесь для свободно опёртого вала длиной l с диском посередине [5] c=48EI/l3 – есть жёсткость вала на изгиб; E – модуль упругости материала; I – момент инерции площади сечения относительно центральной оси перпендикулярной плоскости изгиба вала. При $\omega = \dot{\beta}(t) = const$ уравнения (5) допускают решение (6):

$$\xi_c = A\cos(\omega t + \eta); \qquad \eta_c = A\sin(\omega t + \xi);$$
$$A = \frac{m_1 e\omega^2}{\sqrt{(c - m\omega^2)^2 + \chi^2\omega^2}}; \qquad tg\gamma = -\frac{\chi\omega}{c - m\omega^2};$$

где A – прогиб вала,

γ– угол сдвига фазы движения (угол между вектором дисбаланса ротора $\overline{O_1P}$ и стрелой прогиба $\overline{O_1O_2}$.

Из (6) видно, что приведённое решение, соответствующее стационарному вращению ротора с АБУ, не зависит от сил внутреннего трения. Это очевидно, так как при таком движении деформация вала не изменяется.

Для исследования устойчивости рассматриваемого вращения введём отклонения ξ'=ξ-ξc, η'=η-ηc. Полагая, что угловая скорость остается всё время постоянной, из (5) с учётом (6) получаем уравнения возмущённого движения:

$$m\ddot{\xi}' + (p+\chi)\dot{\xi}' + c\xi + p\omega\eta' = 0;$$
$$m\ddot{\eta}' + (p+\chi)\dot{\eta}' + c\eta + p\omega\xi' = 0. \qquad (7) \qquad (2.17)$$

Характеристическое уравнение для системы (7) имеет вид:

$$a_0\lambda^4 + a_1\lambda^3 + a_2\lambda^2 + a_3\lambda^1 + a_4 = 0. \qquad (8)$$

Матрица Гурвица H из коэффициентов уравнения (8) согласно [6] запишется

$$H = \begin{Vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{Vmatrix}.$$

Условия устойчивости имеют вид неравенств

$\Delta i>0$; i=1...4, (9)

где Δi – главные диагональные миноры матрицы H.

Неравенства (9) выполняются, если

$$\omega < \omega^* = (1+\frac{\chi}{p})\sqrt{\frac{c}{m_1}}\sqrt{\frac{1}{\mu_1}}, \quad \mu_1 > 1. \qquad (10)$$

При $\mu 1=1$, получаем условие устойчивости стационарного вращения ротора без АБУ. Сравнивая (10) с соответствующим неравенством в [6] заключаем, что предельное значение угловой скорости при устойчивом вращении ротора с АБУ $\omega^*(\mu 1)$ меньше, чем для ротора без АБУ.

Известно, что жидкостное АБУ уменьшает прогиб вала и дисбаланс системы при угловых скоростях вращения [7]

$$\omega > \omega_* = (1+\frac{\chi}{p})\sqrt{\frac{c}{m_1}}\sqrt{\frac{2}{1+\mu_1}}. \qquad (2.21)$$

Из (10, 11) следует, что устойчивое стационарное вращение ротора с жидкостным АБУ, уменьшающим вибрацию, возможно при угловых скоростях, удовлетворяющих условию $\omega^*<\omega<\omega^*$.

Заключение

Жидкостное автобалансирующее устройство, присоединённое к ротору, уменьшает угловую критическую скорость вала, переход через которую приводит к неустойчивости вращения системы.

Устойчивая работа системы реализуется в интервале угловых скоростей, определяемых параметрами ротора и автобалансирующего устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саруев Л.А., Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий. - 2010 - №. 6-3 (13) - С. 61-65.

2. Мартюшев Н.В. Расчет параметров структуры материалов с помощью программных средств // В мире научных открытий. - 2011 - №. 1 (13) - С. 77-82.

3. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. MATERIALS AND ENGINEERING SCIENCE (УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 2. – с. 126-127.

4. Мартюшев Н.В. Программные средства для автоматического металлографического анализа // Современные проблемы науки и образования. 2012. – № 5. – с. 79-79.

5. Пашков Е.Н., Дубовик В.А. Устойчивость стационарного вращения неуравновешенного ротора с жидкостным устройством на гибком валу // Известия Томского политехнического университета. 2007. – Т. 311. – С. 12.

6. Пашков Е.Н., Саруев Л.А., Зиякаев Г.Р. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2011. – № 5. – С. 26.

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ПОТОКОМ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЫ

Ягин. А.Г.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Сверхзвуковой поток электроразрядной плазмы создается импульсным коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) с сильноточным разрядом типа Z-пинч. В процессе его работы в токовой оболочке разряда накапливается металлическая плазма за счет электрической эрозии металла с поверхности цилиндрического ускорительного канала. При длине ствола до 250 мм, диаметре канала до 20 мм, головная часть разряда ускоряется импульсом нарастающего до 100÷150 кА тока до скорости 3÷5 км/с в атмосферных условиях. За один цикл из ствола выносится до 10 г металла. В работе представлены результаты экспериментальных исследований по обработке поверхности дюралюминиевых образцов потоком состава нержавеющей стали.

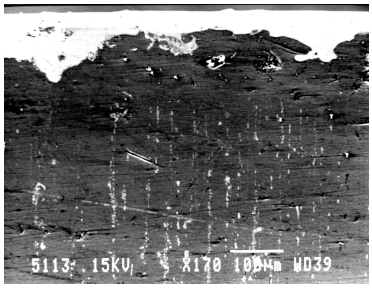


Рис. 1.

Исследование шлифа вертикального среза образца на растровом электронном микроскопе показали, что покрытие однородно по структуре, не имеет пор и абсолютно плотно сопрягается с поверхностью подложки. Элементный состав материала покрытия соответствует нержавеющей стали. Совокупный анализ данных электронной микроскопии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и оже-спектроскопии показывает образование граничного слоя взаимного перемешивания материалов покрытия и подложки толщиной 50÷150 мкм. Этим обусловлена предельно высокая адгезия покрытия из нержавеющей стали на дюралюминии. В граничном слое массовое содержание железа составляет 50÷10 % и снижается ~ до 1.5 % на глубине дюралюминиевой подложки ~ 150 мкм. На представленной электронной микрофотографии отчетливо видны множественные струйные включения плотного вещества, распространяющиеся в толщу подложки начиная ~ от 150 мкм до 500 мкм. Сверхглубокое струйное внедрение может быть объяснено лишь кумулятивным механизмом [1]. Данные, полученные с помощью указанных методик, согласуются с результатами исследования микротвердости. Её значение на границе составляет ~104 Мпа и медленно увеличивается до 2·104 Мпа с углублением ~ до 250 мкм. Такой уровень твердости обусловлен как наличием материала потока в рассматриваемом слое, так и насыщением его углеродом. Далее с углублением твердость резко возрастает до 105 Мпа (и более) на глубине ~ 450 мкм. Представленные данные получены на отожженном при 325 0С образце. Далее твердость резко падает до 1.5·104 Мпа на глубине 500 мкм и продолжает медленно снижаться до уровня 5·103 Мпа на глубине более 1.5 мм. Трибологические испытания, показали повышение износостойкости поверхности более чем на два порядка при температуре от 25 0С до 325 0С. Обработка поверхности деталей из алюминиевых сплавов высокоскоростным потоком электроразрядной плазмы состава нержавеющей стали, обеспечивает существенное повышение механических свойств. Получаемое покрытие может выполнять антикоррозионные и термобарьерные функции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сивков А.А. О возможном механизме «сверхглубокого проникания» микрочастиц в твердую преграду // Письма в ЖТФ. 2001. вып. 16. С. 60-65.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ КОМПАКТИРОВАНИЯ ОКСИДНЫХ ПОРОШКОВ

Ивашутенко А.С., Сивков А.А., Акарачкин С.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Бурно развивающаяся в настоящее время отрасль нанотехнологий захватывает все больше области науки и техники. Разработка высокоэффективных и перспективных нанотехнологий зачастую требуют использование материалов с высокими физико-механическими, а также тепловыми свойствами. Одним из таких материалов может служить корундовая нанокерамика. Перспективность использования данного материала обусловлена его высокими эксплуатационными характеристиками – износостойкость, твердость, прочность. Однако, все перечисленные характеристики и свойства присущи только лишь для наноструктурной керамики.

Для того чтобы получить нанокерамику необходимо выполнить три основных условия: 1) использование ультрадисперсных порошков с нанокристаллической структурой, 2) использование методов компактирования порошков, позволяющих получить компакты с плотностью, составляющей 0,7…0,9 от теоретической плотности материала, 3) спекание керамики в условия, максимально ограничивающих рекристаллизационный рост керамических зерен (активированное спекание).

В данной работе мы подробно рассмотрим второй пункт.

Компактированию подвергался ультрадисперсный порошок (УДП), полученный с помощью плазмохимического синтеза. В основе технологии синтеза порошка лежит термическое разложение сильно диспергированного водного раствора соответствующей соли металла в плазме высокочастотного разряда [1]. Частицы порошка имеют сферическую форму (рис. 1а) и являются пустотелыми образованиями. Оболочка сфер имеет поликристаллическое строение (рис. 1б). Средние размеры сфер изменяются от десятых долей до единиц микрометров. Размеры кристаллитов, формирующих оболочку сфер, по данным

рентгеноструктурного анализа, изменяются от единиц до сотен нанометров и зависят от размера самих сфер.

В работе исследовались следующие способы прессования:

1) Одноосное прессование в одностороннем режиме. Изучалось влияние давления в интервале от 100 до 700 МПа на эффективность прессования порошка;

2) Магнитно-импульсное (МИ) компактирование в одностороннем и двухстороннем режимах.

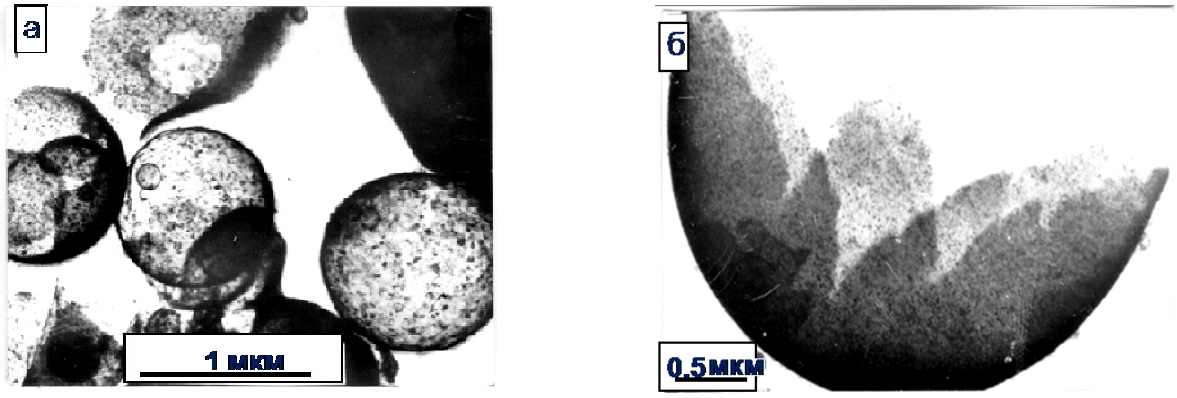


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки ультрадисперсного порошка оксида алюминия

Прессование проводилась на установке изображенной на рис. 2. Принцип действия данной установки основан на законе Ампера и заключен в следующем: механический импульс силы, сжимающий порошок 2 в матрице 1, генерируется в результате взаимодействия импульсного магнитного поля индукторов 5 с проводящей поверхностью концентраторов 4, приводящих в движение пуансоны 3. Индуктор представляет собой спираль, навитую из медной ленты, витки которой изолированы друг от друга и жестко зафиксированы. Он включен в цепь емкостного генератора импульсных токов, содержащего батарею импульсных конденсаторов С и сильноточный коммутатор К.

Данная установка разработана на основании действующей в институте электрофизики УрО РАН [2], в отличие от которой реализован двухсторонний способ прессования, а также возможно регулировать как длительность импульса, так и проводить многократное прессование (режим ковки).

Одностороннее магнитно-импульсное прессование оксида алюминия осуществлялось на этой же установке, посредством отключения одного из индукторов из общей схемы включения.

Результаты проделанной работы представлены на рис. 3:

На основании данных представленных на рис. 3 можно сказать, что наиболее эффективным способом прессования является двухстороннее магнитно-импульсное компактирование (кривая D). Данный эффект нами ожидаем и связан с тем, что нагрузка, в случае двухстороннего формования, прикладывается с двух сторон. Тем самым, обеспечивая большее давление прессования, равноплотность по высоте прессовки, а также меньшую энергию прессования. Ниже представлены зависимости плотности компактов от давления прессования для одностороннего МИ режима формования – кривые B и C. Кривая B –данные, полученные с использованием нашей установки. Кривая C – литературные данные, полученные на МИ прессе в институте электрофизики УрО РАН г. Екатеринбург [3].

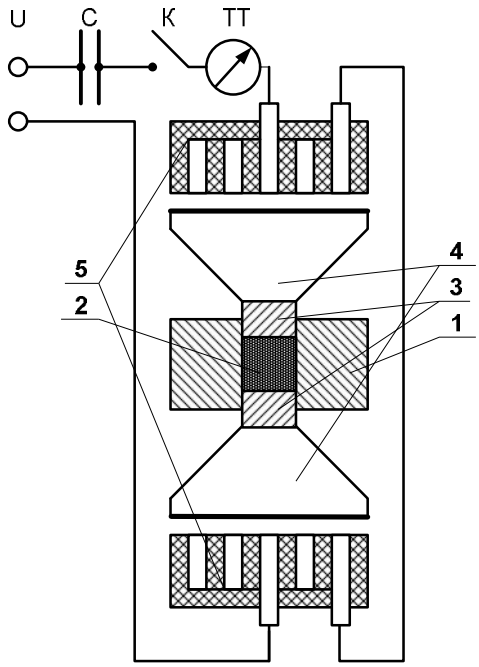


Рис. 2. Принципиальная схема МИ-пресса: С – батарея импульсных конденсаторов, К – разрядник, ТТ – трансформатор тока, 1 – матрица пресс-формы, 2 – прессуемый порошок, 3 – пуансоны, 4 – концентраторы, 5 – индукторы

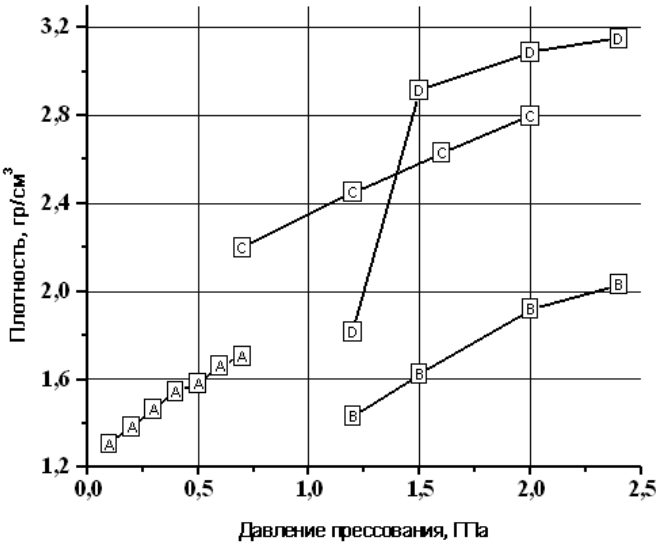


Рис. 3. Зависимость плотности прессобразцов состава Al2O3 от давления прессования для различных способов компактирования: A – одностороннее одноосное, B – одностороннее МИ, C – одностороннее МИ (лит. данные), D – двухстороннее МИ

Существенная разница в данных результатах обусловлена:

1) Предварительной подготовкой порошка перед прессованием (кривая С). Подготовка заключалась в дегазации путем вакуумирования порошка (остаточное давление ~ 10 Па) с одновременным нагревом до 400°С для удаления адсорбированных веществ. Прессование проводилось при комнатной температуре.

Для кривой В данная подготовка не проводилась.

2) Большей кинетической энергией системы концентратор-пуансон (кривая С).

Процесс прессования осуществляется за счет взаимодействия магнитных полей индуктора и концентратора. При этом энергия взаимодействия этих полей передается концентратору в виде кинетической энергии, которая затем переходит в работу на сжатие порошковой среды. В случае данных кривой С, концентратор имеет значительно большие размеры, чем при В, соответственно, кинетическая энергия концентратора и затем сама работа прессования приобретают большие значения, в отличии от ситуации, представленной на кривой В. Кроме того, большая масса системы концентратор-пуансон позволяет реализовать схему «мягкого» прессования, т.е. за счет инертности данной системы время воздействия на порошок увеличивается, тем самым обеспечивая ограничение влияние ударной волны, возникающей при прессовании.

В случае данных кривой В, ударная волна проявляет себя всегда, но особенно это активно происходит при больших давлениях прессования. Так, при давлении 2,8 ГПа все компакты имели низкую плотность и рассыпались при извлечении из пресс-формы (на рис. 3 не показано).

Анализ данных представленных на кривых А и В показал, что в случае традиционной технологии прессования удается получить одинаковую плотность компактов Al2O3 при значительно низких давлениях, в отличие от одностороннего МИ прессования. Данное явление объясняется нами также с позиции малой работы на прессование.

Анализ представленных методов компактирования выявил высокую эффективность двухстороннего магнитно-импульсного прессования, при котором плотность брикетов достигает уровня 0,78 от теоретического значения. Столь высокие значения плотности обусловлены импульсной формой прессования, определяющей низкий уровень пристеночного трения и адиабатичность процесса. Данный эффект позволяет ожидать снижение температуры спекания компактов и, как следствие, получить мелкозернистую керамическую структуру, не «отравленную» рекристаллизационными процессами. Соблюдение данного условия особенно важно при изготовлении нанокерамики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Ю.Ф., Дедов Н.В. Плазмохимический способ получения ультрадисперсных порошков // Физика и химия обработки материалов. – 1995. – №1. – С. 177 – 183.

2. Иванов В.В., Вихрев А.Н., Ноздрин А.А. Прессуемость наноразмерных порошков Al2O3 при магнитно-импульсном нагружении // Физика и химия обработки материалов. – 1997. – № 3. – С. 67–71.

3. Иванов В.В., Ноздрин А.А. Метод определения динамических адиабат сжатия порошков // Письма в ЖТФ. – 1997. – № 13. – Т23. – С. 76 – 80.

АНАЛИЗ ПРЕССУЕМОСТИ КОРУНДО-ЦИРКОНИЕВЫХ ПОРОШКОВ РАЗЛИЧНОЙ ДИСПЕРСНОСТИ

Кондратюк А.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Компактирование является одной из главных технологических операций, обеспечивающей получение высококачественной керамики. Главная задача современных методов формования изделий из порошков – добиться максимальной плотности компакта, составляющей (60-80)% от плотности беспористой структуры. Это условие требует применения наиболее эффективного способа компактирования порошков. Отметим, что пористость керамики определяется по формуле:

$$П = (1 - \rho_T / \rho) \cdot 100\% \quad (1)$$

где ρТ-теоретическая плотность беспористого материала, ρ-плотность керамики.

В работе изучалась эффективность одноосного (одностороннего и двухстороннего), ультразвукового и гидростатического прессования оксидных порошков различной дисперсности. Исследовались ультрадисперсные порошки (средний размер частиц около 0,5мкм): 20вес.%Al2O3 +77вес%(ZrO2+3вес%Y2O3)– состав С1, (ZrO2+3вес%Y2O3) - состав С2 и корундовые среднедисперсные порошки (размер частиц около 2-3мкм) – состав С3.

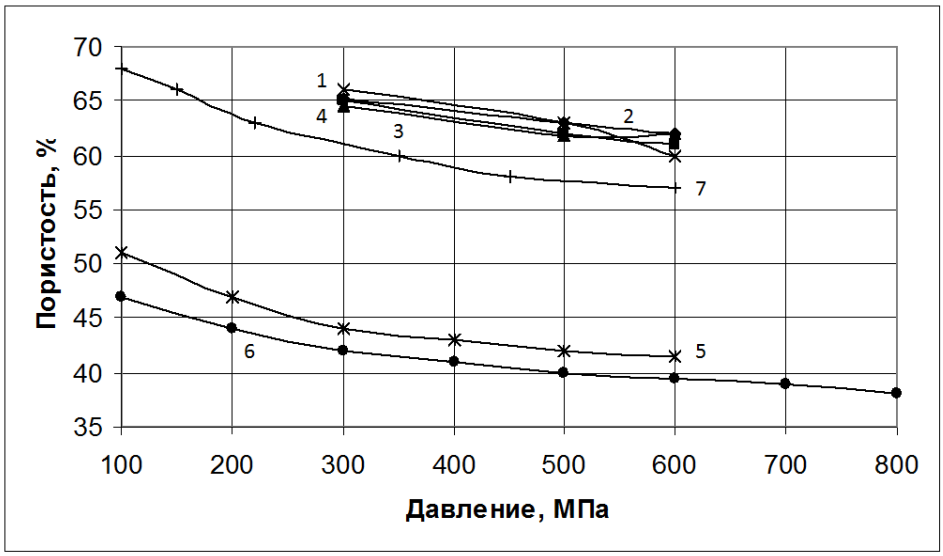


Рис. 1. Зависимость пористости прессовок от давления прессования. 1 – мелкая фракция, 2 – крупная фракция, 3 – смесь мелкой и крупной фракций, 4 – смесь мелкой и крупной фракций с добавлением воды 3%, - состав С1, 5 – одностороннее одноосное прессование, 6 – двухстороннее одноосное прессование – состав С2, 7 - гидростатическое прессование УД-порошка 97%ZrO2 + 3%Y2O3, составС3

Прессование порошков осуществлялось тремя способами: 1) Одноосное прессование в одностороннем и двухстороннем режимах, 2) Ультразвуковое прессование, 3) Гидростатическое обжатие образцов. Исследовалось влияние давления (в интервале от 100МПа до 800МПа), фракционности и добавок пластификатора на прессуемость порошка. Влияние фракционности порошка на его прессуемость изучалось следующим образом: спрессованные таблетки из ультрадисперсного порошка размалывались и с помощью сита №80 формировалась мелкая и крупная фракции. При этом размер крупной фракции не превышал 200 мкм. В качестве пластификатора применялись дистиллированная вода и водный раствор поливинилового спирта (ПВС). Гидростатическое прессование осуществлялось в сосуде, заполненном машинным маслом, котором развивалось давление до 800МПа. Параметры ультразвукового компактирования представлены в табл.2.

1. По данным рентгеноструктурного анализа, ультрадисперсные порошки имели кристаллические области размеров (20-40) нанометров, при этом поликристаллические частицы имели форму чешуек и полых сфероидов размером (0,1-1)мкм.

2. Другой тип порошков – корундовые порошки средней дисперсности, в которых кристаллиты достигают размеров до10мкм.

На рис.1 и в табл.1 приведены основные результаты экспериментов по одноосному и гидростатическому прессованию. Одним из способов, позволяющих значительно увеличить плотность прессовок, является прессование с использованием ультразвука – ультразвуковое компактирование. В работах [1,2] исследовалась эффективность ультразвукового прессования УДП состава С1. Установлено, что при оптимальном режиме

Таблица 2.
Пористость прессовок, полученных различными способами компактирования порошков состава С1

Пористость, %	Давление, МПа	Условия прессования
49-45	600	Тпрес = 25˚С, на воздухе
42	50	Мощность генератора 4кВт, время озвучивания 10 мин, статическая нагрузка на пуансон 50 МПа, температура порошка в процессе прессования 90˚С.

УЗ-компактирования (мощность генератора 4кВт, время озвучивания 10 мин, статическая нагрузка на пуансон 50 МПа, температура порошка в процессе прессования 360К) получен наилучший результат: пористость образцов не превышала 42%. Табл.2 иллюстрирует эти опыты.

Представленные результаты, позволяют сделать следующие выводы:

- Прессуемость УДП меньше, чем порошков средней дисперсности.
- Пористость прессовок из УДП не зависит от фракционности порошка.
- Пористость прессовок, полученных двусторонним прессованием по сравнению с односторонним, на (2-5)% меньше.
- Гидростатическое прессование УДП обеспечивает уменьшение пористости прессовок на (4-7)%
- Ультразвуковое компактирование УДП дает наилучший результат: пористость прессовок не превышает 42%.

Обсуждение результатов

1. Как показано на рис.1, ультрадисперсный порошок отличается низкой прессуемостью по сравнению с порошками более крупными. Анализ рентгенограммы образца, полученного методом одноосного прессования, показал, что частицы диоксида циркония находятся в кубической модификации и имеют средний размер (20 – 30) нм. Частицы корунда, по данному анализу, находятся в α - модификации со средним размером (100-150)нм. Размер кристаллитов определялся по уширению

полос относительно эталона. Таким образом, первичные ультрадисперсные кристаллиты имеют размеры (20-40)нм. На поверхности кристаллитов находится большая концентрация ненасыщенных химических связей, которые насыщаются при контакте частиц и обуславливают высокие адгезионные межчастичные силы. Результатом действия адгезионных сил является сильная агломерация ультрадисперсных порошков. При этом агломераты достигают (0,1-1)мкм, о чем свидетельствуют данные электронно-микроскопических измерений. Следовательно, ультрадисперсный порошок состоит из сильно агломирированных нанокристаллических частиц. Кроме того, плазмохимические ультрадисперсные порошки содержат до 20% пустотелых сфероидов. Все указанные факторы приводят к плохой прессуемости ультрадисперсных порошков.

2. Экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что двухстороннее одноосное прессование уменьшает общую пористость прессовок по сравнению с односторонним прессованием. Этот факт объясняется повышением однородности компакта за счет уменьшения влияния пристенного давления.

3. Гидростатическое обжатие прессовок является эффективным методом получения высокоплотных компактов. В нашем случае эта процедура при давлении 600МПа привела к уменьшению пористости образцов на (4-7)%, чем при одноосном прессовании.

4. Снижения величины пристенного трения в процессе компактирования достигают использованием различных пластификаторов. Для осуществления данного эксперимента в смесь крупной и мелкой фракции порошка был введен пластификатор в виде воды и раствора ПВС, при этом пористость образцов снижается на (5-10)%.

5. Данные таблицы 2 свидетельствуют о высокой эффективности ультразвукового прессования, пористость озвученных при прессовании образцов составляла всего 42%, что является рекордной цифрой для данной работы.

Таким образом, результаты данной работы позволяют считать, что в качестве наиболее эффективной технологией компактирования оксидных порошков следует рекомендовать ультразвуковое прессование и последующее обжатие прессовок. При этом можно получить изделия с пористостью около 30%, что необходимо для получения нанокерамики.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЛИПСНОСТИ И ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РЕЗЕРВУАРА НА ТОЧНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ

Массон И.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

В исследованиях, посвященных разработке шаровых и жидкостных автобалансирующих устройств [1], показано, что наличие эксцентриситета беговой дорожки шарового автобалансира и эксцентриситета обоймы приводит к появлению остаточного дисбаланса ротора. Влияние эллипсности резервуара на точность балансировки не рассматривалось. После решения проблемы, повышения эффективности автоматической балансировки за счет использования многорезервуарного устройства, необходимо: исследовать влияние эллипсности и эксцентриситета внутренней поверхности резервуара на точность балансировки и показать пути устранения этого влиянии.

Материал и методы исследования

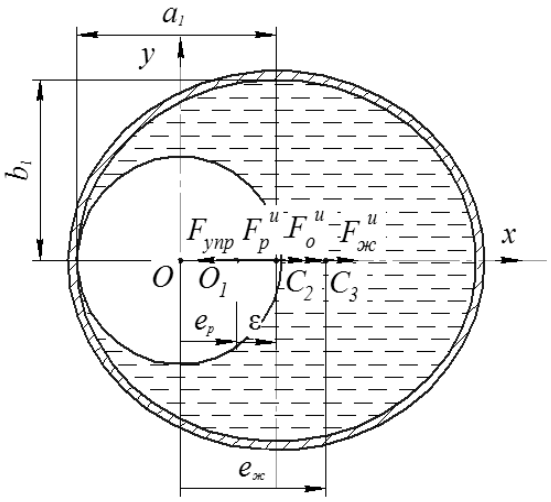


Рис. 1. Схема, поясняющая влияние эллипсности на точность балансировки

Для наглядности взята модель ротора с гибким валом [2]. Вначале определим влияние эллипсности внутренней поверхности обоймы на точность балансировки. На этом этапе полагаем, что ротор не имеет дисбаланса (рис. 1), т.е. центр масс ротора Ср без жидкости расположен на оси ротора (точка С1). Центр С2 внутренней поверхности обоймы смещен относительно оси ротора на величину эллипсности ε. Центр масс жидкости (точка С3) смещен относительно оси вращения на величину еж и жидкость

вносит дополнительный дисбаланс (рис. 1). При условии совпадения центральных осей эллипса и ротора, неуравновешенность отсутствует, поэтому данный случай не рассматривается [3].

Результаты исследования и их обсуждение

Для расчетов воспользуемся методом кинетостатики и составим уравнение установившегося движения рассматриваемой механической системы [7, 8]:

$$\bar{F}^u_{ж} + \bar{F}^u_p + \bar{F}^u_o + \bar{F}_{упр} = 0. \quad (1)$$

При условии жесткой связи с валом сила инерции оболочки будет входить в уравнение центробежной силы инерции ротора.

Используя уравнение (1) находим прогиб вала

$$e_p = \frac{\varepsilon\rho\pi h a_1 b_1 \omega^2}{c - (m_p + \rho\pi h a_1 b_1)\omega^2}.$$

Отсюда видно, что прогиб вала s прямо пропорционален эллипсности ε. Если частота вращения ротора значительно больше критической частоты, и выполняется неравенство $m_p << \rho\pi h a_1 b_1$, то прогиб вала s становится равным величине ε, а произведение ab – не влияет на балансировочный процесс.

Покажем способ устранения влияния эллипсности обоймы на точность балансировки. Присоединяем к ротору дополнительное тело на расстоянии sD от оси ротора, что позволяет компенсировать действие жидкости на ротор, возникающее из-за эллипсности обоймы. Прогиб вала при этом отсутствует, и выполняется условие:

$$\bar{F}^u_{ж} + \bar{F}^u_D = 0, \quad (2)$$

где $F^u_D = m_D e_D \omega^2$ – центробежная сила инерции дополнительного тела;

mD, eD – масса дополнительного тела и расстояние от него до оси ротора. Тогда из уравнения (2) определяется масса дополнительного тела:

$$m_D = \frac{\varepsilon\rho\pi h a_1 b_1}{s_D} \quad (3)$$

Считаем, что путем соединения с ротором дополнительной массы mD осуществляется дополнительная балансировка ротора совместно с жидкостью в резервуаре.

Полагаем, что в дальнейшем процессе эксплуатации машины появляется дисбаланс ротора, и покажем, что после проведения дополнительной балансировки имеющийся эксцентриситет обоймы не будет влиять на точность устранения возникающего дисбаланса. Обозначим удельный дисбаланс ротора e0. Возможны три случая ориентации этого вектора [4]. В первом случае вектор дисбаланса совпадает с линией, проходящей через ось ротора, и центр внутренней

поверхности обоймы рис. 2. Во втором случае вектор дисбаланса перпендикулярен указанной линии рис. 3. Третий случай: вектор дисбаланса имеет направление, промежуточное между двумя первыми случаями [5].

Рассмотрим первый случай. Для него с помощью метода кинетостатики составляем уравнение:

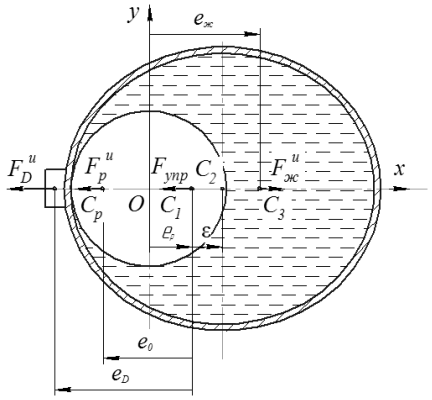


Рис. 2. Графическое пояснение к расположению сил для первого случая

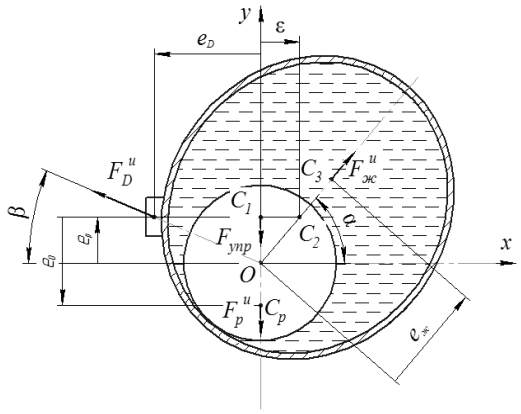


Рис. 3. Графическое пояснение к расположению сил для первого случая

$$\bar{F}_D^u + \bar{F}_p^u + \bar{F}_ж^u + \bar{F}_{упр} = 0, \qquad (4)$$

где $F_D^u = m_D(e_D - e_p)\omega^2$ – сила инерции дополнительного тела;

$F_p^u = m_p(e_0 - e_p)\omega^2$ – сила инерции ротора;

$e_ж = (e_p + \varepsilon)\dfrac{a_1 b_1}{a_1 b_1 - r^2}$ – расстояние от оси вращения до центра масс жидкости.

Из уравнения (3) с учетом (4) находим прогиб вала

$$e_p = \frac{e_0 m_p \omega^2}{(m_p + \rho\pi h a_1 b_1)\omega^2 - c} \qquad (5)$$

Отсюда видно, что величина эксцентриситета ε оболочки не входит в выражение (5), определяющее прогиб вала из-за наличия дисбаланса

ротора, появляющегося в процессе эксплуатации машины. Следовательно, при рассматриваемом расположении вектора дисбаланса ротора эксцентриситет обоймы не влияет на точность балансировки, если предварительно проведена дополнительная балансировка с соблюдением условия (3).

Для второго случая по методу кинетостатики составляем уравнения установившегося движения в проекциях на оси x, y (6), (7):

$$\begin{cases} F_D^u \cos\beta - F_{ж}^u \cos\alpha = 0; \\ F_D^u \sin\beta + F_{ж}^u \sin\alpha - F_p^u - F_{упр} = 0; \end{cases}$$

$$F_D^u = \frac{m_D e_D \omega^2}{\cos\beta}; \quad e_{ж} = \sqrt{\varepsilon^2 + e_p^2}\,\frac{a_1 b_1}{a_1 b_1 - r^2};$$

$$\sin\alpha = \frac{e_p}{\sqrt{\varepsilon^2 + e_p^2}}; \qquad \cos\alpha = \frac{\varepsilon}{\sqrt{\varepsilon^2 + e_p^2}};$$

$$\sin\beta = \frac{e_p}{\sqrt{e_D^2 + e_p^2}}; \qquad \cos\beta = \frac{e_D}{\sqrt{e_D^2 + e_p^2}}.$$

Подставляем (6) в (7) откуда после преобразования находим выражение прогиба вала для второго случая, которое полностью совпадает с выражением (5) – для первого случая. Это позволяет сделать вывод, что для второго случая ориентации вектора дисбаланса точность балансировки не зависит от эксцентриситета обоймы.

Третий случай ориентации вектора дисбаланса является линейной комбинацией первых двух случаев, поэтому и на него распространяется вывод о независимости точности балансировки от эксцентриситета обоймы в том случае, если проведена дополнительная балансировка согласно условию (3).

Заключение

Результаты проведенных расчетов говорят о том, что точность балансировки не зависит от эксцентриситета обоймы во всех случаях ориентации вектора дисбаланса. Как в случае, когда вектор дисбаланса совпадает с линией, проходящей через ось ротора, и центр внутренней поверхности обоймы, так и в случае когда вектор дисбаланса перпендикулярен указанной линии и в случае когда вектор дисбаланса имеет направление, промежуточное между двумя первыми случаями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саруев Л.А., Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий. - 2010 - №. 6-3 (13) - С. 61-65.

2. Мартюшев Н.В. Расчет параметров структуры материалов с помощью программных средств // В мире научных открытий. - 2011 - №. 1 (13) - С. 77-82.

3. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. MATERIALS AND ENGINEERING SCIENCE (УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 2. – с. 126-127.

4. Мартюшев Н.В. Программные средства для автоматического металлографического анализа // Современные проблемы науки и образования. 2012. – № 5. – с. 79-79.

5. Пашков Е.Н., Дубовик В.А. Устойчивость стационарного вращения неуравновешенного ротора с жидкостным устройством на гибком валу // Известия Томского политехнического университета. 2007. – Т. 311. – С. 12.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ

Петренко Ю.Н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

Количественная оценка параметров структуры материалов является одной из задач в исследовательских работах по определению влияния технологических факторов и различных видов обработки материалов. Такая оценка может быть проведена как для видимой плоскостной микроструктуры, так и для пространственного строения [1].

Наибольшей трудоемкостью в оценках структуры является первичный замер геометрических параметров структурных составляющих. Ранее, до появления ПЭВМ, существовали дорогостоящие установки типа EPIQUANT для автоматического структурного анализа. С развитием цифровой техники появилась возможность проводить исследование с гораздо большей производительностью и меньшими затратами на оборудование [2].

В настоящей работе предлагается программный продукт для автоматического структурного анализа., позволяющий использовать ПЭВМ, цифровой фотоаппарат (или сканер) и микроскоп.

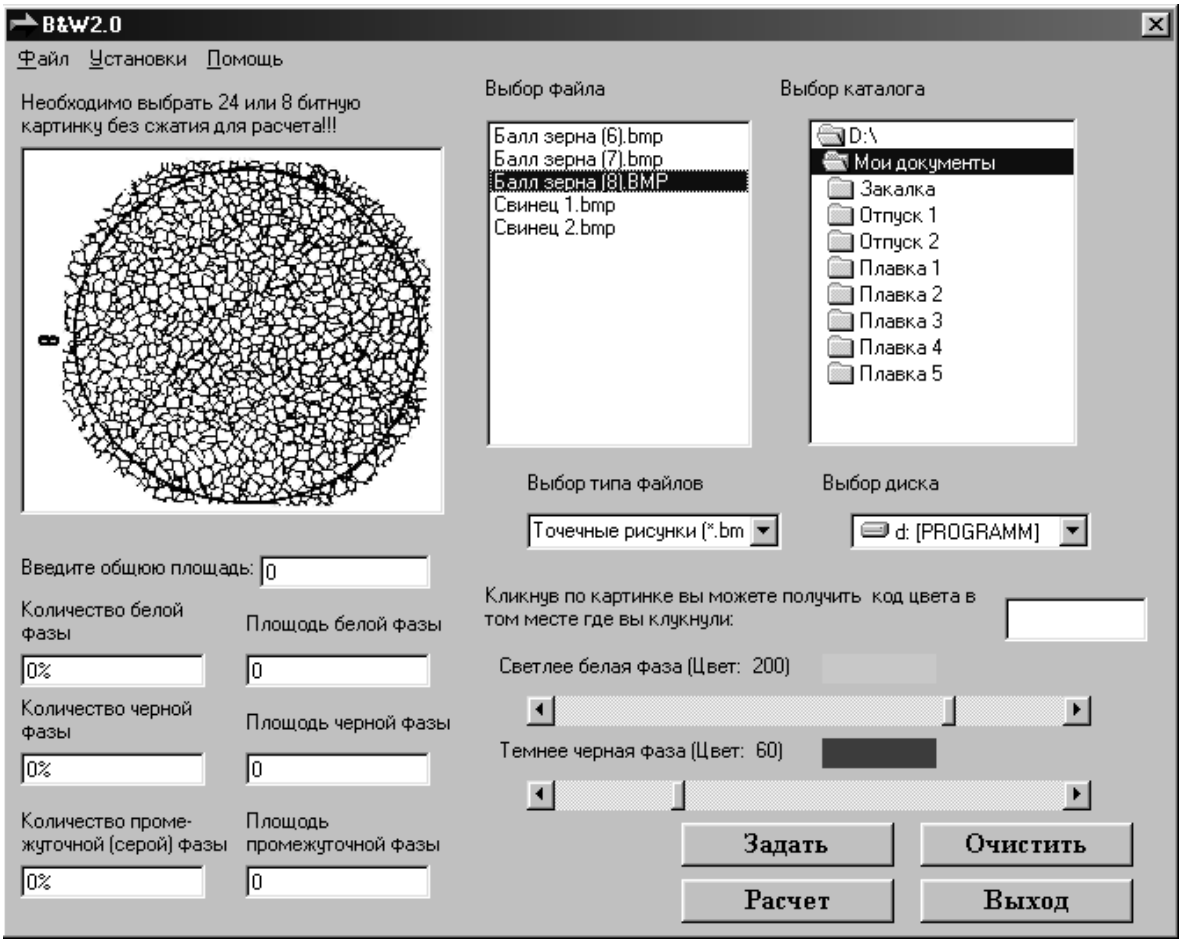


Рис.1 Интерфейс программы

В цифровом виде исследуемое изображение представляется в виде большого количества точек – пикселей, расположенных последовательно ввиде горизонтальных цепочек. Непосредственно файл содержит коды цветов пикселей, а их координаты получаются автоматически. Программа извлекает коды цветов, сравнивает с заданными пользователем значениями и, в зависимости от результата, добавляет к банку данных белой, либо черной фазы [3]. Так собирается информация о количестве черной и белой фазы, процент серой фазы вычисляется как остаток. Гистограмма же белой или черной фазы получается путем линейного поиска одноцветных цепочек пикселей, с вычислением их длины и последующей сортировкой по размерам.

Сканирование изображения ведется в горизонтальном направлении большое число раз (порядка нескольких сотен), а количество точек для белой и черной фазы (порядка нескольких десятков тысяч точек) сортируется и суммируется.

Интерфейс программы (рис. 1) представлен окном выбора каталогов, списком файлов, полями вывода результатов обработки, линейками задания уровня сигнала для белой и черной фазы и т. д. [4] Программа

имеет ряд настроек, которые, например, позволяют строить гистограмму по белой или черной фазе, изменять уровень интенсивности сигнала, задавать коэффициент увеличения изображения.

Для практического проведения компьютерного анализа структуры выполняется следующий порядок действий:

Подготовка микроструктуры для фотографирования.

Съемка микроструктуры цифровым фотоаппаратом или сканирование с готовой фотографии.

Запись цифровой информации о структуре на винчестер ПЭВМ

Настройка программы для расчета соответствующих структурных составляющих и проведение структурного анализа

Результаты структурного анализа выводятся как в текстовый файл, так и в файл Excel для дальнейшей обработки пользователем [5].

К достоинствам предлагаемого программного продукта можно отнести его относительную дешевизну и простоту (программа русскоязычна и имеет подробную документацию). Из недостатков следует упомянуть зависимость точности получаемых результатов от качества (контрастности) получаемых изображений. Хотя с помощью некоторых программ работы с графикой (Adobe Photoshop, Corel Draw и т.д.) можно получить необходимый уровень контрастности [6].

В качестве примера, в таблице приведены результаты структурного анализа литого инструментального сплава железа с углеродом и ванадием, микроструктура которого приведена на рис.2.

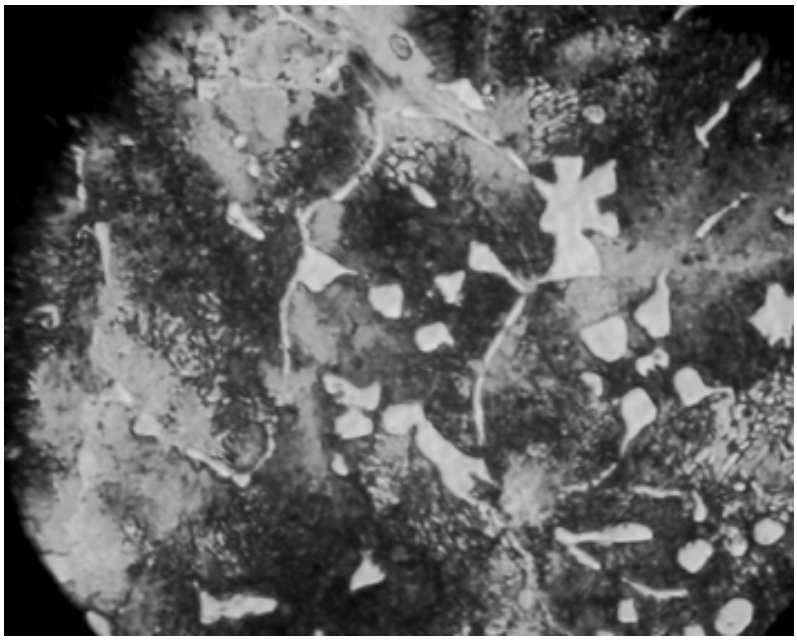


Рис.2. Микроструктура литого сплава

Таблица 1.

Белая фаза (карбидная)-	14%
Черная матрица -	46%
Серая матрица -	40%
Средний размер карбидов	1,37 мкм
Дисперсия	0,09
Коэффициент вариации	0,02
Интервал (мкм)	Количество частиц в интервале
0 - 1 (1)	4968
1 - 2 (2)	1495
2 - 3 (3)	649
3 - 4 (4)	357
4 - 5 (5)	272
5 - 6 (6)	205
6 - 7 (7)	100
7 - 8 (8)	43
8 - 9 (9)	15
9 - 10 (10)	13

Время проведения анализа структуры, приведенной на рис.2, составило 35 сек.

Результаты исследование представленные в настоящей работе выполнены при поддержке гранты Президента РФ МК-6661.2013.8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мартюшев Н.В., Петренко Ю.Н., Егоров Ю.П. Производство поршневых колец компрессоров высокого давления // Литейное производство. – 2008. – № 8. – С. 24-26.

2. Мартюшев Н.В., Семенков И.В. Структура и свойства бронзовых отливок при различных скоростях охлаждения // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 1-1.

3. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на структуру и свойства бронз, содержащих свинец // Металлургия машиностроения. – 2010. – № 4. – С. 32-36.

4. Мартюшев Н.В. Параметры дендритной структуры медных сплавов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2011. – № 11-3 (54). – С. 229-232.

5. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на свойства отливок из бронзы брос 10-10 // Литейное производство. – 2011. – № 6. – С. 11-13.

6. Мартюшев Н.В. Программные средства для автоматического металлографического анализа // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 79-79.

НАНЕСЕНИЕ СВЕРХТВЕРДЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ТИТАНА НА СТАЛЬНЫЕ И АЛЮМИНИЕВЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Сайгаш А.С., Шарипов Р.Р., Привезенцев С.И.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель [1], позволяет осуществлять динамический синтез сверхтвердого материала на основе титана в гиперзвуковой струе электроразрядной плазмы. В качестве основного материала использовался титан марки ВТ1-О. Порошкообразный графит, необходимый для синтеза, закладывается в канал формирования плазменной структуры сильноточного разряда. Титан нарабатывается электроэрозионным путем с поверхности ускорительного канала в процессе ускорения плазменной структуры. Скорость струи на срезе ствола длиной до 300 мм при нарастающем до ~ 150 кА токе разряда, достигает нескольких километров в секунду. Из ствола за один рабочий цикл выносится до нескольких десятков грамм композиционного материала и обрабатывается поверхность площадью порядка 100 см2 с осаждением покрытия толщиной 0.1÷1.0 мм.

Были проведены исследования по нанесению упрочняющих покрытий на поверхность пластин из стали и дюралюминия. Полученные покрытия отличаются однородностью, высокой плотностью, отсутствием пор и абсолютно плотно прилегают к поверхности подложки (рис. 1, рис 3). Поверхностный слой стальной подложки (рис. 1) толщиной 300-400 мкм имеет измененную микроструктуру.

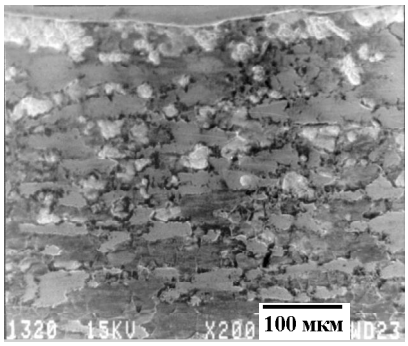


Рис. 1. Микрофотография шлифа вертикального среза стального образца с твердым покрытием на основе титана

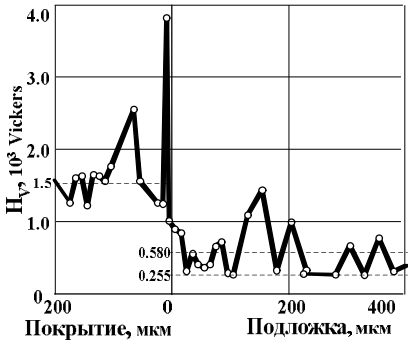


Рис. 2. Кривая нанотвердости стального образца с твердым покрытием на основе титана

Данные рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии этого образца показывают возникновение граничного слоя взаимного перемешивания материалов покрытия и подложки, и присутствие материала покрытия в подложке на глубине 400 мкм. Согласно данным дифрактометрического анализа основными материалами покрытия являются карбидо-нитридные фазы титана (C0.3N0.7Ti, TiN). Нанотвердость полученного покрытия в среднем составляет 1500 Vickers (рис. 2), что превышает нанотвердость стандартного твердосплавного элемента Т15К6 (Hvcp=1000).

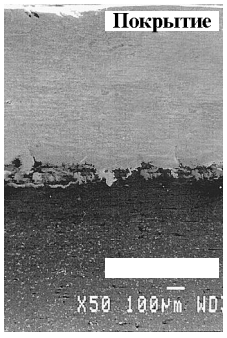


Рис. 3. Микрофотография шлифа вер-тикального среза дюралюминиевого образца с твердым покрытием на основе титана

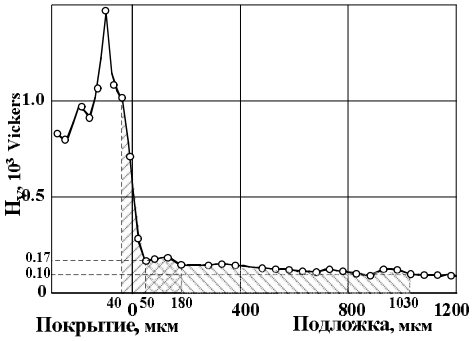


Рис. 4. Кривая изменения микротвер-дости дюралюминиевого образца с твердым покрытием на основе титана

Аналогичные данные получены и при исследовании пластин из дюралюминия. На микрофотографии рис. 3 отчетливо виден слой взаимного перемешивания и сцепления материала покрытия с подложкой и внедрение в нее материала струи на глубину порядка 1,0 мм. Уровень нанотвердости однослойных покрытий (Hvcp = 1000) (рис. 4), состоящих в основном из алюминида титана (Al11Ti5, Al2Ti), сравним с уровнем твердосплавных элементов и на порядок выше нанотвердости исходного образца. При двухслойных покрытиях нанотвердость наружного слоя, состоящего из карбонитрида титана, превышает 2000 Vickers.

Полученные результаты могут лечь в основу разработки технологий: нанесения твердосплавных составов на рабочие поверхности металлорежущего лезвийного инструмента и нанесения упрочняющих покрытий на броневые пластины для повышения стойкости к мощным динамическим воздействиям поражающих факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Сивков, А.П. Ильин, А.М. Громов, Н.В. Бычин. Сверхглубокое проникание вещества высокоскоростного плазменного потока в металлическую преграду // Физика и химия обработки материалов. 2003. № 1. с.42-48.

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ДИСКА КУЛЬТИВАТОРА В НЕОДНОРОДНОМ ГРУНТЕ

Романишина С.А., Стецюк В.И., Романишин О.Ю.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Создание элементов и узлов агротехники с высокой долговечностью рабочих органов в настоящее время, как правило, включает этап исследования и анализа влияния особенностей вида нагрузки на долговечность работы основных элементов непосредственного механического воздействия на структуру и изменения состояния почвы, как сплошной среды, с учетом особенностей взаимодействия рабочего элемента со средой. Для оценки эффективности разных форм и топологической структуры элементов и узлов агросистем в условиях изменяющихся воздействий и нагрузок могут быть использованы различные методs структурной и геометрической оптимизации [1–2], которые успешно применяют для улучшения эксплуатационных свойств разных типов конструкций. Оценка эффективности применения

оптимизации форм и свойств элементов может быть затруднена большим числом параметров оптимизации форм, поскольку для такой задачи требуется мощное обеспечение и значительные вычислительные ресурсы.

Особенно затруднена оценка эффективности применения тех или иных форм элементов в условиях влияния ползучести материала элементов, а также при обработке грунта с дискретными включениями фракций более высокой упругости, чем основная среда, например, каменистого типа включений. Присутствие таких включений в однородно распределённой сплошной среде в сильной степени снижают долговечность работы диска, обусловленного возникновением существенного влияния импульсного и ударно-кинетического характера контактного силового взаимодействия на уровне предельных или близких к пределу разрушения элемента силовых нагрузок.

Перечисленные факторы определяют важность анализа поведения дисковых элементов агротехники при нагрузках, приводящих к условиям проявления влияния фактора усталости и ползучести материала элемента. Кроме того, в случае оптимизации формы достаточно жёстких (с высоким модулем упругости) материала тел элементов агротехники теоретически получаемые формы элементов могут быть трудно реализуемы или технологически нереализуемы.

Исследование влияния фактора ползучести на долговечность элемента можно рассматривать в качестве одного из альтернативных подходов оценки эксплуатационной живучести элементов и конструкций агротехники.

Качество прогноза состояния элементов средств агротехники, для целей контроля и диагностики состояния и живучести этих элементов, зависит от точности аналитической оценки параметров и учете факторов наиболее влияющих на живучесть взаимодействующих контактно элементов со средой и определяющих качество математической модели. Сложность оценки времени жизни диска (например, в грунте с дискретными фракциями) определена случайным характером процесса кинетического механизма контактного взаимодействия режущего элемента и фракций включений в среде, а значит и к случайному характеру температурного поля рабочей грани диска. Следует учитывать, что ввиду широкого спектра факторов взаимодействия, приводящих часто к взаимно противоположному направлению влияния на контактно взаимодействующие тела с разной зависимостью модуля упругости от температуры среды, живучесть дискового элемента может быть резко снижена.

Трудности решения задачи прогноза состояния элементов агротехники состоят: во-первых, в метрологической недоступности; во-

вторых, в отсутствии аналитического описания ряда процессов, протекающих в контактном пространстве диска; в-третьих, в недостатке априорной информации для оценки экстремума функции поведения материала диска при его диагностике; в-четвертых, в случайности структуры среды обрабатываемого грунта, а значит и его влияния на живучесть диска. Многие известные методики прогноза живучести элементов агротехники не учитывают физику и особенности явлений случайного взаимодействия материала элементов в пространстве тонкого контактного слоя «элемент–среда» [1–2].

Исследование вариаций температурного поля и его влияния на усталость материала режущего элемента средств агротехники является одной из важных проблем теории прочности материалов и долговечности их эксплуатации. Многие ученые мира посвятили данной проблеме свои работы. Их результаты – большой вклад в развитие теории теплофизики. Однако, учитывая обширность этой области и вероятностные особенности применения режущих грунт элементов, остался целый ряд нерешённых проблем.

Литературные источники показывает, что основной недостаток известных математических моделей заключается в том, что мало уделено внимания анализу физико-механических условий в контактных задачах и особенностям формирования контактного пространства силового взаимодействия режущего элемента с объектом воздействия – грунтом как сплошной однородно распределённой средой с дискретными упругими включениями инородных фракций.

Как правило, в известных математических моделях проводится усреднение дискретного стохастического потока воздействий в контактной области взаимодействия «элемент–среда», приводящих к стохастичности образования локальных энергетических источников (центров последующей локализации деформаций) – центров зарождения областей пространства локального приближения к проявлению и росту влияния фактора усталости (локального источника генерации тепла) в наиболее пластичном сечении элемента – контактной области.

В результате можно говорить об отсутствии учёта импульсной природы воздействий (в контактной области элемента), приводящего к образованию центров пластической деформации из-за действия локальных источников теплового проявления текучести материала элемента, своим зарождением обусловленных кинетическим характером контактного взаимодействия.

С другой стороны, в вероятностных моделях, для расчётов локального проявления тех или иных эффектов, часто принимают допущения, проверка возможности и справедливости которых в том или

ином диапазоне эксплуатационных воздействий на практике чаще невозможна.

Вероятностные характеристики и закон распределения процесса воздействия на те или иные элементы можно установить только на основе обширного натурного эксперимента в процессе длительных экспериментальных исследований на долговечность при разных видах непрерывного и импульсного характера нагрузок.

Априори часто о переменных процесса, приводящих к катастрофе – с последующим разрушением элемента, практически мало что известно. Поэтому в результате исследований или численного эксперимента получают результаты (данные выборок) лишь частично отражающих реальный процесс развития фактора, ведущего к катастрофическим последствиям – разрушению.

Обзор проведённых исследований показал, что недостаточно внимания в существующих работах по изучению ползучести уделяется начальному этапу развития влияния этого фактора. Экспериментальные данные, полученные нами в процессе реальной эксплуатации режущих элементов агротехники, а также анализ опубликованных работ других исследователей, показывает на существование импульсного характера значительных силовых воздействий сравнимых с предельными уровнями прочности режущего элемента. Наличие этого фактора обусловлено весьма высокой статистической неоднородностью грунта как распределённой сплошной среды с дискретными, с весьма высоким модулем упругости, включениями. Именно эти фракции включений, часто ограничивают быстродействие режимов обработки почвы. Под таким воздействием и возникают структурные и катастрофические изменения в поверхностных слоях и передней грани режущего элемента агротехники.

Неравновесная динамика теплового поля грани диска и кинетическое воздействие в сильной мере влияет на скорость изнашивания и разрушения слоя кромки, оказывающей силовое воздействие на слой грунта, а значит и на работоспособность, стойкость и живучесть силового элемента.

Колебания температуры в распределении поля режущей кромки элемента силового воздействия на почву как сплошную среду обусловлены кинетическим действием контакта с локальными дискретными фракциями включений в почве как в однородной распределённой сплошной среде, оказывающей силовое воздействие на режущую кромку элемента агротехники.

В настоящем докладе рассмотрено влияние дискретных фракций (песчинки, дискретные включения камней с более высоким модулем упругости, чем основная среда) на колебания температурного поля

режущей кромки элемента силового воздействия на грунтовый слой почвы.

В докладе рассмотрено скольжение кромки диска культиватора по плоскому (в микро– и мезо-масштабном представлении контактного силового взаимодействия диска) слою сплошной среды (грунта, почвы). Другими словами, в области контактного взаимодействия среды (почвы) с кромкой диска. Контактный слой сплошной среды (почвы) представлен в виде произвольного пласта однородно распределённой сплошной среды с эффективным, с точки зрения влияния на формирование и динамику температурного поля динамического пространства, размерами $x_{\acute{y}} \times \acute{o}_{\acute{y}}$ с пространственно временным распределением температурного слоя сплошной среды (почвы). Процессу контактного взаимодействия диска со слоем упругой сплошной среды свойственно возникновение достаточно высоких величин кинетической энергии движения с последующей диссипацией части этих энергий (как выполненной работы) в образование вклада в изменение температурного поля контактного взаимодействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радчик, А.С., Радчик, В.С. О деформации поверхностных слоёв при трении скольжения // Доклады АН СССР. – 1968. – Т. 183. – №5. – С. 77–78.

2. Гаркунов Д.Н. Триботехника, износ и безызносность. – М.: Изд-во МСХА, 2001. – 606 с.

О ВОЗМОЖНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА АЛМАЗОПОДОБНЫХ ФАЗ УГЛЕРОДА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ С ГРАФИТОВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Сайгаш А.С., Шарипов Р.Р., Привезенцев С.И.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Известны методы динамического синтеза алмазоподобных фаз углерода основанные на: детонации углеродосодержащих взрывчатых веществ (ВВ); ударно-волновом нагружении графита при 30 ГПа [1]; ударно-волновой обработке смеси графита с металлами при (20 - 40) ГПа и длительности ударной волны 10-20 мкс [2, 3]; детонационном синтезе смеси графит и ВВ [4]. Алмазная фракция образуется в детонационной волне при давлении порядка 20 ГПа и температуре порядка 2000°С.

Однако данный способ, являясь высокопроизводительным (выход алмаза составляет (8 - 10)% от веса ВВ) имеет ряд недостатков связанных с необходимость взрыва большого количества ВВ (100 г). Это требует существенных затрат и соблюдения необходимых условий безопасности.

Сравнимые с детонационными термодинамические условия могут быть реализованы в гиперскоростной струе электроразрядной плазмы, создаваемой коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) [5] с графитовыми электродами. Исследования динамических характеристик плазменной струи при электропитании КМПУ от емкостного накопителя энергии с параметрами: C = (12 - 24)·10-3 Ф, Uзар. = 3.0 кВ показали, что при нарастающем до 100 кА токе разряда, скорость струйного течения на срезе ствола достигает (3.0 - 6.0) км/с. При таких скоростях взаимодействия струи с твердой преградой возникает давление сопоставимое с давлением в детонационной волне. Температура плазмы дугового разряда на графитовых электродах может достигать несколько тысяч градусов. за один рабочий цикл длительностью до 600 мкс, нарабатывается порядка одного грамма порошкообразного продукта.

Исследования на рентгеновском дифрактометре ДРОН-4 показала, что в полученном продукте преобладает графит, однако идентивицируются и другие линии близкие к линиям кубического алмаза. Поэтому для проведения дальнейших исследований проводилась многократная промывка продута в концентрированной HCl, спирте и дистиллированной воде с последующей сушкой.

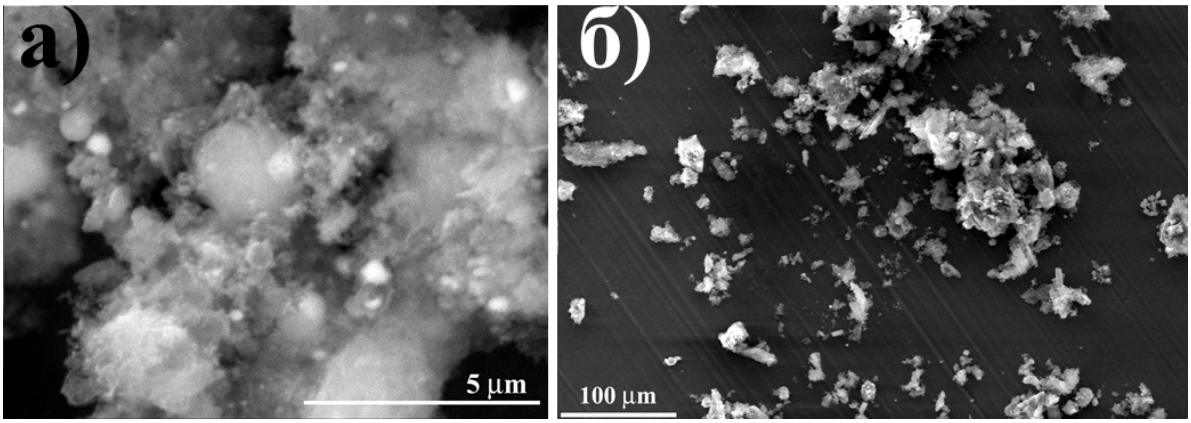


Рис. 1. Микрофотография порошка, полученная на растровом микроскопе

На рис.1 показаны его микрофотографии при различном увеличении, полученные на растровом микроскопе Philips SEM 515. Видимые при малом увеличении (б) зерна представляют собой агломераты мелких частиц, имеющих округлую форму и размер менее 1 мкм (а). Отдельные светлые частицы, по-видимому, представляют собой мелкие кристаллики кубического алмаза.

Для исследований в просвечивающем электронном микроскопе Philips CM 30 порошок тщательно растирался в спирте и наносился на углеродную реплику, лежащую на объектной сеточке. При этом удалось получить качественное изображение отдельных частиц (рис.2 а), шарообразной формы, окруженных низкоплотной оболочкой и имеющего хорошо различимую внутреннюю структуру аналогичную структуре частиц кубического алмаза детонационного синтеза [6]. Полученные электронограммы (рис.2 б) соответствуют кубическому алмазу. Аналогичные электронограммы получены и для других частиц. Размер наиболее крупных единичных частиц составляет 100 нм.

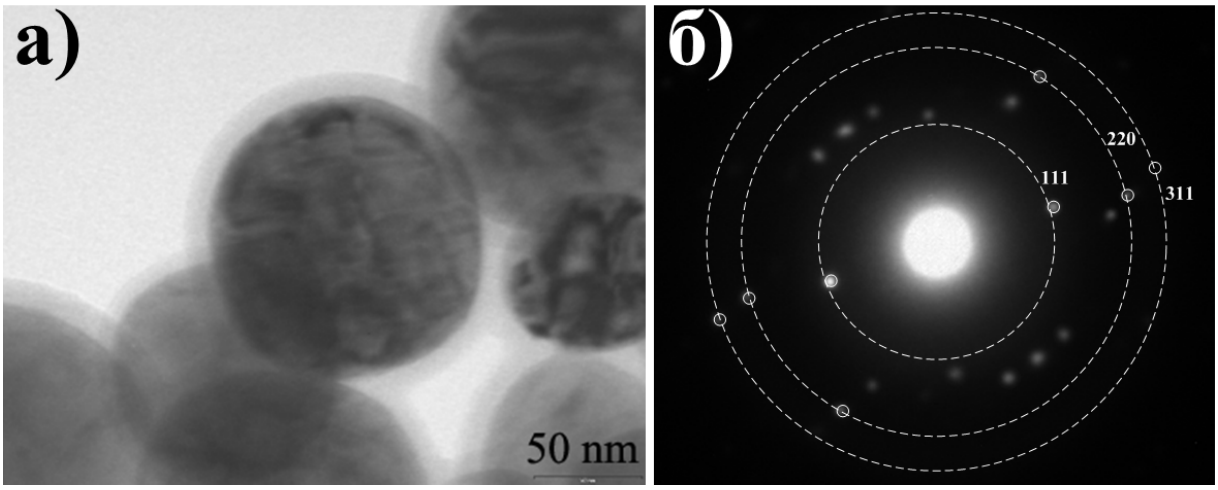


Рис. 2. Микроэлектронная фотография (а) и соответствующая ей электронограмма синтезированного кубического углерода (б), полученные на просвечивающем электронном микроскопе

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о возможности динамического синтеза алмазоподобных фаз углерода при использовании коаксиального магнитоплазменного ускорителя с графитовыми электродами.

ЛИТЕРАТУРА

1. P.S. De Carli, J.C. Jamieson. Science. – 1961. – p.3467
2. L.F. Trueb // Journal Application Physics. – 1968. –V.39, № 10
3. L.F. Trueb // Journal Application Physics. – 1971. –V.42, №2

4. Лямкин А.И. Образование наноалмазов при динамическом взаимодействии на углеродосодержащие соединения: дис.…док. физ. мат. наук. - Красноярск, 2004. - 321с.

5. Патент № 2150652 РФ. Коаксиальный ускоритель Сивкова. Сивков А.А. 7F41B 6/00. Опубл. 10.06.2000. Бюл. № 16.

6. Трефилов В.И., Саввакин Г.И., и др. Особенности структуры ультрадисперсных алмазов, полученных высокотемпературным синтезом в условиях взрыва. // Докл. АН СССР. -1978. т.239, №4.- с.838 - 841.

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Семенков И.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

Количественная оценка параметров структуры материалов является одной из задач в исследовательских работах по определению влияния технологических факторов и различных видов обработки материалов. Такая оценка может быть проведена как для видимой плоскостной микроструктуры, так и для пространственного строения [4, 6]. Одной из задач данной работы было проведение количественной оценки параметров включений легкоплавкой фазы. Наибольшей трудоемкостью в оценках структуры является первичный замер геометрических параметров структурных составляющих. Проведение таких исследований “вручную” требует большого количества времени и появляется субъективная погрешность исследователя. Ранее существовало дорогостоящее оборудование, такое, например, как металлографические комплексы “EPIQUANT” или “Квантимак” для автоматического структурного анализа. С развитием цифровой техники появилась возможность проводить исследование с гораздо большей производительностью и меньшими затратами на оборудование. Так авторы работы [1] предлагают использовать универсальные компьютерные программы по обработке изображений Adobe PhotoShop и Corel Photo Paint. Однако недостатком этого метода является наличие нескольких программ и умение работать с ними, а так же возможность получения только одного параметра – объемной доли. Определять средний размер частиц структуры, дисперсию и коэффициент корреляции данные программы не могут. Существуют разработанные программные комплексы для проведения количественного

анализа микроструктур фирм SIAMS и Carl Zeiss, но эти продукты дорогостоящи, сложны для изучения и в них часто отсутствуют специальные модули для специфического анализа включений контрастной фазы, например определения среднего размера частиц включений, отклонения частиц от круглой формы и т.п.

Кафедрой МТМ была разработана компьютерная программа для обработки изображений и количественной оценки параметров микроструктуры “Система КОИ” [2]. Написание программы велось на языке с++ с применением программного пакета Borland C++Builder. Разработанная программа служит для расчета объемной доли и среднего размера частиц структуры и позволяет производить расчет по нескольким сотням секущих (зависит от разрешения фотографии) в одном поле зрения [3].

Алгоритм работы программы заключается в следующем: в цифровом виде исследуемое изображение представляется в виде большого количества точек – пикселей, расположенных последовательно в виде горизонтальных цепочек. Непосредственно файл содержит коды цветов пикселей, а их координаты получаются автоматически. Программа извлекает коды цветов, сравнивает с заданными пользователем значениями и, в зависимости от результата, добавляет к банку данных белой, либо черной фазы. Так собирается информация о количестве черной и белой фазы, процент серой фазы вычисляется как остаток.

Одной из возможностей, реализованных в разработанной программе, является построение с её помощью гистограммы по длине частиц для различных исследуемых фаз. Это позволяет провести более полные исследования распределения включений в исследуемых образцах по форме и размерам в зависимости от скоростей охлаждения. Для построения гистограммы по искомой фазе программа сканирует изображение в горизонтальном направлении в выделенной пользователем области, производя линейный поиск цепочек пикселей, попадающих в интервал цветов, заданный настройками уровня яркости фазы. Найдя такие участки, измеряется их длина в пикселях. Сканирование изображения ведется в большое число раз (порядка нескольких сотен). После первичной обработки изображения программой производится математический расчет полученных данных. Находится максимальное значение, и весь интервал размеров частиц делиться на десять равных отрезков. Далее вычисляется количество линейных участков, попавших в каждый из размерных диапазонов. По полученным данным строится гистограмма, расчет данных для нее производится по методике изложенной в работе [4]. Гистограмма белой или черной фазы получается путем линейного поиска одноцветных цепочек пикселей, с вычислением их длины и последующей сортировкой

по размерам. Общее количество точек для белой и черной фазы (порядка нескольких десятков тысяч точек) сортируется и суммируется [5].

Расчет необходимых параметров микроструктуры производится, используя полученные статистические данные с фотографии по следующим формулам:

Реконструированное число частиц пространственной структуры [6]

$$N_i = i^2 \cdot \left(\frac{n_i}{2 \cdot i - 1} - \frac{n_{i+1}}{2 \cdot i + 1} \right) \quad (1)$$

,где ni - видимое число однотонных рядов пикселей; i - размерная группа

Средний размер частиц

$$d_{cp} = \frac{\sum_i n_i \cdot l_i}{\sum_i n_i} \quad (2)$$

,где ni - число частиц в i-м размерном интервале; li - средний размер частиц в i-ой размерной группе

Среднеквадратичное отклонение среднего диаметра [1]

$$\sigma_Д^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Д_{cp} - Д_i)^2 \cdot N_i}{\sum_{i=1}^{n} N_i} \quad (3)$$

,где Ni - число частиц в i-м размерном интервале; Дср - средний диаметр частиц; Дi - диаметр частиц в i-ой размерной группе

Коэффициент вариации (разнозернистости структуры) [4]

$$K_p = \frac{\sigma_Д}{Д_{cp}} \quad (4)$$

,где Дср - средний диаметр частиц; σД - среднеквадратичное отклонение среднего диаметра

Для оценки параметров формы включений по фотографии микроструктуры материалов был создан дополнительный модуль к описанной выше программе. Он позволяет оценивать среднее отклонение формы частиц от сферической. Эта задача особенно важна при оценке механических свойств материалов, когда от формы низкопрочных включений зависит прочность изделия в целом.

Оценка параметров формы включений свинца проводилась по коэффициенту сферичности. Так как включения в большинстве представляют собой подобие геометрических фигур (эллипс, трапеция) с рваными краями, для определения коэффициент сферичности пользовались центром тяжести фигуры. Из центра тяжести проводили две окружности: вписанную максимального и описанную минимального диаметров, их отношение и давало искомый коэффициент. Этот

коэффициент не дает полного представления о морфологии свинцовых включений и неровности границ, но вместе с тем уже позволяет говорить об их округлости или степени вытянутости. Проведение такого анализа значительно проще и быстрее фрактального анализа. Для сокращения времени на подобные расчеты была разработана компьютерная программа. В её основу были положены математические выкладки по определению центра масс фигур неправильной формы из [4]. Как уже отмечалось ранее, в цифровом виде изображение состоит из точек – пикселей. Абстрагируясь от реальности, можно представить каждый пиксель за квадрат, причем размеры этого квадрата мы можем вычислить, зная физический размер фотографии и её разрешение. Вся фигура включения будет состоять из небольших квадратов с одинаковой площадью. Максимальный диаметр вписанной и минимальный диаметр описанной окружностей определялся по самому дальнему пикселю от центра тяжести, входящему в фигуру и самому ближнему, не входящему.

Заключение

Оценка достоверности работы проводилась на эталонных фигурах полученных из работы [2]. Оценка подтвердила высокую точность работы программы. Было определено, что погрешность измерений зависит от разрешения фотографии и размеров исследуемого объекта. Чем на большее количество квадратов разбивается считаемая фигура, тем точнее результаты. Для используемого оборудования ZEISS AXIO Observer.A1m и фотокамеры ZEISS AXIO CAM с разрешением 7 Мрх погрешность определения коэффициента сферичности на реальных фотографиях микроструктуры свинцовистых бронз, снятых при увеличении в 200 раз, составила ~1,3 %. Чтобы не снижать достигнутую точность расчетов использовалось такое увеличение, при котором исследуемое включение занимает не менее 0,5 % площади всей фотографии. Выделение свинцовых включений при подготовке фотографии к расчетам на программе производилось с использованием программного продукта PhotoShop CS3.

Результаты исследование представленные в настоящей работе выполнены при поддержке гранты Президента РФ МК-6661.2013.8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мартюшев Н.В., Петренко Ю.Н., Егоров Ю.П. Производство поршневых колец компрессоров высокого давления // Литейное производство. – 2008. – № 8. – С. 24-26.

2. Мартюшев Н.В., Семенков И.В. Структура и свойства бронзовых отливок при различных скоростях охлаждения // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 1-1.

3. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на структуру и свойства бронз, содержащих свинец // Металлургия машиностроения. – 2010. – № 4. – С. 32-36.

4. Мартюшев Н.В. Параметры дендритной структуры медных сплавов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2011. – № 11-3 (54). – С. 229-232.

5. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на свойства отливок из бронзы брос 10-10 // Литейное производство. – 2011. – № 6. – С. 11-13.

6. Мартюшев Н.В., Егоров Ю.П., Утьев О.М. Компьютерный анализ структуры материалов // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2003. – № 3. – С. 32.

ВЛИЯНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ И ЧИСЛА ПРОХОДОВ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКЕ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ Р6М5

Белобородов Е.О., Хамматов А.Н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В современных условиях ресуросэффективности и энергосбережения одной из наиболее актуальных задач тяжелой промышленности является повышение надежности и эффективности эксплуатации оборудования. Энергоэкономичность объектов машиностроения напрямую зависит от снижения потерь мощности на преодоление сил трения и потерь материала деталей в результате износа. Задачу экономии материала во многих случаях решают поверхностным упрочнением деталей. Постоянно ведется поиск новых методов упрочнения и восстановления деталей машин, среди которых активно развиваются дуговые методы наплавки [1], газотермические способы нанесения покрытий [2], наплавка с использованием высококонцентрированных источников энергии [3-5].

В качестве упрочняющих материалов в последнее время рассматриваются новые композиционные материалы на основе стали Р6М5, которые наряду с высокой прочностью и износостойкостью обладают трещиностойкостью, что позволяет применять их при знакопеременной нагрузке. Среди методов нанесения таких материалов широко используется вакуумная электронно-лучевая наплавка, влиянию режимов которой на формирование структуры и свойств покрытий посвящено большое количество работ [6,7]. В связи с ограниченностью

применения данного способа при упрочнении поверхностей крупногабаритных деталей механизмов и машин рассматривается способ плазменной порошковой наплавки [5,8]. Несмотря на объем проведенных исследований в настоящее время отсутствуют данные по влиянию числа проходов и поперечных колебаний на формирование структуры и свойств наплавленного металла на основе стали Р6М5. Поэтому целью данной работы является исследование структуры и свойства покрытий на основе стали Р6М5, полученных методом плазменной порошковой наплавки при введении поперечных колебаний плазмотрона и изменении количества слоев и в процессе наплавки.

Методика и материалы исследования.

Плазменно-порошковую наплавку производили с использованием установки УПН-303УХЛ4, серийно выпускавшейся ВНИИЭСО. Расход транспортирующего и защитного газа составлял 10…16 л/мин, расход плазмообразующего газа – 2 л/мин. В качестве защитного и плазмообразующего газа использовался аргон высшего сорта по ГОСТ 10157-79 (99,993 %). В качестве наплавляемого материала использовали порошок стали Р6М5 с гранулометрическим составом 100…350 мкм. Порошок наплавляли на пластины из стали 20 толщиной 10 мм. Расход порошка составлял 1,9 кг/ч. Сила тока и скорость плазменной наплавки были отработаны в исследованиях [9], поэтому в данной работе наплавку производили при силе тока (I) 200 А со скоростью (Vсв) – 6 м/ч. На рис. 1 представлены схемы нанесения покрытия.

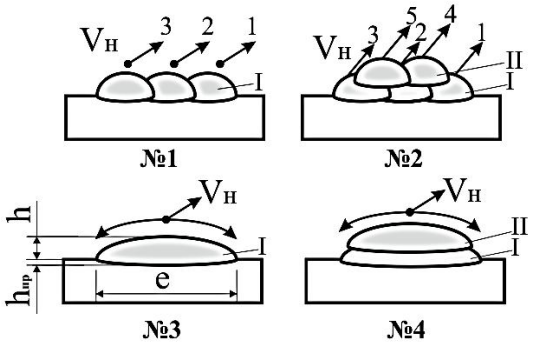


Рис. 1. Схемы наплавки

Исследования макро- и микроструктуры производили с использованием микроскопа OLYMPUS GX51 и комплекта прикладных программ SIAMS 700. Травление осуществляли в два этапа. Первый этап заключался в выявлении сетки карбидов методом окунания в нагретый до 60…80 °С реактив K3[Fe(CN)6]:KOH:H2O=1:1:10 с выдержкой от 1,5 до

10 мин. Второй этап заключался в выявлении мартенсита в реактиве HNO3:C2H5OH=1:20.

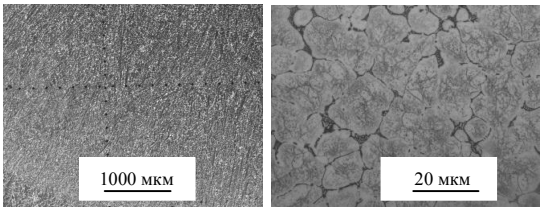
Величину зерна матрицы оценивали линейным методом А. Розиваля. Микротвердость наплавленного металла измеряли на приборе ПМТ-3 (ГОСТ 9450-76) с шагом по глубине 100 мкм при нагрузке 2 Н.

Результаты эксперимента.

При обеспечении заданной ширины наплавки поочередным наложением валиков на горизонтальную поверхность пластины, высота наплавленного слоя в 2…3 раза превышает высоту слоя, получаемого при введении поперечных колебаний. Это связано с одинаковым объемом порошка, используемого для одного ниточного валика при многопроходной наплавке и широкого валика, получаемого при введении поперечных колебаний.

Наплавленный металл имеет литую структуру (рис. 2, а), с аустенитно-мартенситной матрицей. По границам зерен выделяются эвтектические карбиды типа М6С (рис. 2,б). Объемная доля эвтектики варьируется от 9 до 11% независимо от схемы наплавки.

Анализ микротвердости наплавленного металла свидетельствует о частичном отпуске при наложении второго слоя как при использовании многопроходной наплавки, так и при введении поперечных колебаний (рис. 3). Средний уровень твердости металла, наплавленного по первой и третьей схеме, в среднем составляет 8 ГПа. При выполнении наплавки по второй и четвертой схемам микротвердость снижается на 15%.



а б

Рис. 2. Микроструктура наплавленного металла

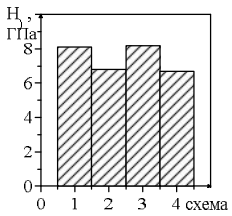
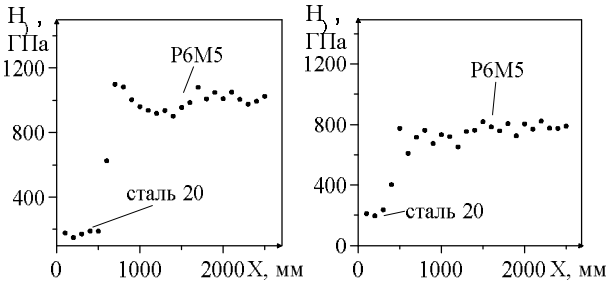


Рис. 3. Гистограмма среднего уровня твердости в зависимости от схемы наплавки

Снижение внутренних напряжений при повторном воздействии термического цикла наплавки способствует выравниванию микротвердости по толщине наплавленного металла (рис. 4,б).



а Схема №3 б Схема №4

Рис. 4. Распределение микротвердости по толщине наплавленного металла, выполненного по схеме 3 (а) и по схеме 4 (б)

У границы сплавления при наплавке по всем представленным схемам наблюдается увеличение микротвердости, вызванное частичной закалкой металла при быстром теплоотводе в основной металл.

По результатам работы можно сделать следующий вывод: послойное выполнение наплавки требуемой высоты способствует снижению среднего уровня твердости упрочняющего слоя на 15%, что может негативно отразиться на его износостойкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колганов Л.А. Сварка. Резка. Пайка. Наплавка. – 4-е изд. – М.: Дашков и К, 2008. – 408 с.

2. Вопнерук А.А., Валиев Р.М., Базилевский А.А. Применение газотермических покрытий для защиты от абразивного износа // Технологии обработки поверхности . – 2010. - №4. – С. 68-72.

3. Гнюсов С.Ф., Гнюсов К.С., Игнатов А.А., Толмачев К.А., Дураков В.Г. Вакуумная электронно-лучевая наплавка карбидосталей // Сварочное производство. – 2009. – № 7. – С. 18–23.

4. Kwok C.T., Cheng F.T., Man H.C. Microstructure and corrosion behavior of laser surface-melted high-speed steels // Surface & Coatings Technology. – 2007. – № 202. – P. 336–348.

5. Гладкий П.В., Переплетчиков Е.Ф., Рябцев И.А. Плазменная наплавка (обзор) // Сварочное производство. – 2007. – № 2. – С. 32–40.

6. Гнюсов С.Ф., Гнюсов К.С., Игнатов А.А., Толмачев К.А., Дураков В.Г. Вакуумная электронно-лучевая наплавка карбидосталей, ч.III Влияние числа проходов на структурно-фазовое состояние композиционных покрытий на основе стали Р6М5 //Сварочное производство, 2009. -№ 7 -с. 18-23.

7. Гнюсов С.Ф., Дураков В.Г. Структура и износостойкость покрытий на основе стали Р6М5 //Письма в «Журнал технической физики», 2010. -Вып. 16. -т. 36 -с. 19-23

8. Переплетчиков Е.Ф., Рябцев И.А. Плазменно-порошковая наплавка режущего инструмента // Сварочное производство. – 2008. – № 11. – С. 28–31.

9. Хайдарова (Романова) А. А., Дегтерев А. С. Структура и свойства покрытий на основе стали Р6М5, полученных способом плазменной порошковой наплавки // Известия Томского политехнического университета. - 2012 - Т. 320 - №. 2 - С. 95-99.

МИНИМИЗАЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ ВИП

Тыртышный Д.П.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

С созданием и развитием топливно-энергетического комплекса в России нефтепроводный транспорт является его основой и связующим звеном. С самого начала эксплуатации нефтепроводов обеспечение их надежности являлось важной задачей.

В системе крупнейшей в мире компании по транспортировке углеводородного сырья АК «Транснефть» свыше 18 лет применяется четырех уровневая методика диагностирования линейной части магистральных трубопроводов с использованием внутритрубных инспекционных приборов (ВИП). Использование ВИП высокого разрешения позволяет обнаруживать дефект, измерить его параметры и классифицировать по типам. Это является необходимым условием для проведения расчётов на прочность и долговечность трубопровода и предельно допустимого давления эксплуатации.

Все работы по внутритрубной диагностике нефтепроводов и нефтепродуктопроводов осуществляет ОАО ЦТД «Диаскан». Применение внутритрубной диагностики на МН и МНПП во многом предопределило снижение аварийности на линейной части.

Разработанное и реализуемое «Диасканом» техническое диагностирование позволяет обеспечить необходимый уровень эксплуатационной надёжности МН и МНПП в условиях проектных нагрузок и их значительного возраста [1].

Актуальность применения неразрушающего контроля в целях обеспечения эксплуатационной безопасности оборудования, применяемого на опасных производственных объектах, подтверждается постановлением Правительства Российской Федерации от 28.03.01 № 241 «О мерах по обеспечению промышленной безопасности опасных производственных объектов на территории Российской Федерации» [2].

Однако, наличие многих факторов влияет на точность измерений дефектов ВИПами. Один из них это наличие воды и «газовых шапок» в МН.

Учитывая рельеф местности, можно предположить, что в верхней части трубопровода образуются «газовые шапки», а в нижней скапливаются твердые отложения и вода (при переходе водных преград, в низменных участках и т.д.).

Рассмотрим пример определения дефектов ЛЧ, а именно расслоения стенки трубы, путем сбора информации измерения времени прихода отраженных сигналов ультразвуковых датчиков, при прохождении ВИП типа WM в трех средах: вода, нефть и газ.

Данные для расчета представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1.

Исходные данные

Зазор между датчиком и трубой h	5 мм,
Скорость снаряда vсн	2 м/с,
Излучается сигнал ультразвуковой fсигнал	5·106 Гц,
Нестабильность сигнала Δf/fсигнл	10-4
Толщина стенки трубы s	12 мм

Таблица 2.

Скорость распространение сигнала

Среда	Скорость распространения сигнала, м/с
Вода	1480
Нефть	1190
Сталь	5850
Воздух	430

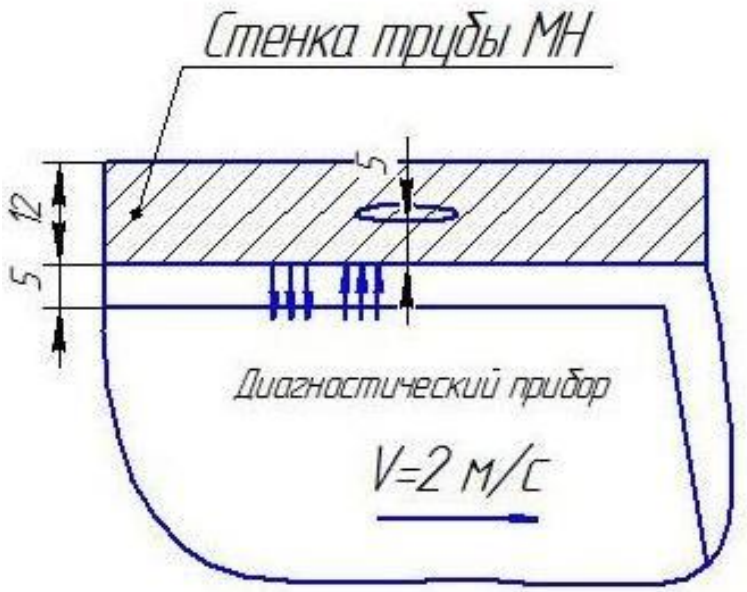


Рис. 1. Схема диагностируемого дефекта

Рассчитаем время отражения сигнала от внутренней стенки трубы:

$$T_1 = \frac{S}{\vartheta_p} \quad (1)$$

Рассчитаем время отражения сигнала от расслоения:

$$T_2 = T_1 + \frac{S}{\vartheta_p} \quad (2)$$

По формулам 1 и 2 определим время отражения сигнала от расслоения внутри МН в воде, нефти и газе. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты расчета

Наименование среды	Время задержки сигнала, мкс
Вода	10,11
Нефть	8,47
Газ	25,01

Различные временные интервалы между зондирующим импульсом и отраженными импульсами обусловлено прохождением сигнала в различных средах.

В процессе эксплуатации нефтепроводов приходится решать проблемы выпадения воды в пониженных и скопления «газовых шапок» в повышенных участках трассы МН. Проблема их стравливания через дренажные вентили, вантузы и определение мест расположения на трассе МН связана с определенными технологическими трудностями. Для предотвращения выделения воды в свободном виде или газа технологией перекачки предусмотрено поддержание определенного режима по минимально допустимому давлению, также подготовка нефти к транспорту (обезвоживание, дегазация, стабилизация). Однако, эти меры не предотвращают попадание воды в МН, которая затем расслаивается в силу разности плотностей и скапливается в пониженных по рельефу участках. А в повышенных участках накапливаются пузырьки воздуха или легких углеводородов, содержащиеся в нефти в растворенном или окклюдированном состоянии и выделяющиеся при повышенных температурах или снижении давления перекачки. Вынос и скопление газа и воды не происходит при фактических скоростях перекачки, превышающих критические значения, соответствующие условиям их выноса [2].

Определение вероятных мест скопления газовоздушных или водяных пробок может быть выполнено по расчетных формулам в соответствии со свойствами продукта и рельефом местности, определенному по сжатому профилю трассы через соотношение длин катетов на отдельных участках, соответствующих подъемам или спускам.

Основные расчетные формулы представлены работами И.А. Чарного, А.К. Галлямова и др.

Вынос воды осуществляется при фактической скорости перекачки (Vф), превышающей критическую (Vф).

$$\vartheta = k \cdot \sqrt{\frac{2gД \sin\alpha}{\lambda}(\frac{\rho_в}{\rho_н} - 1)}, \qquad (3)$$

где $$k = 0{,}1(\sin\alpha)^{-0{,}332} \cdot (\frac{\nu_н}{\nu_в})^{0{,}363}; \qquad (4)$$

α – угол наклона восходящего участка к горизонту; νн, νв – коэффициенты кинематической вязкости, соответственно, нефти и воды; ρв, ρн – плотности, соответственно, воды и нефти; Д – диаметр трубопровода; λ – коэффициент гидравлического сопротивления при движении жидкости полным сечением

$$\lambda = 0{,}11(\frac{68}{\mathrm{Re}} + \frac{k_э}{Д})^{0{,}25}, \qquad (5)$$

где kэ – эквивалентная шероховатость труб; Re – число Рейнольдса

$$\mathrm{Re} = \frac{4Q}{\pi Д \nu_{н}}, \quad (6)$$

где Q – объемная секундная производительность нефтепровода.

Критическую скорость выноса газовоздушной пробки определяют как:

$$\vartheta_{кр} = k\sqrt{\frac{2gД\sin\alpha}{\lambda}}, \quad (7)$$

$$k = 0{,}225(\sin\alpha)^{-.36} \cdot (\frac{\nu_{н}}{\nu_{г}})^{0.39}; \quad (8)$$

где

νг – коэффициент кинематической вязкости для газа; α – угол наклона нисходящего участка к горизонту.

В качестве примера рассмотрим процесс перекачки нефти по МН диаметром 530 × 7,5 мм.

Определим условия выноса воды и воздуха из МН на восходящем и нисходящем участках с углом наклона α в 150. Производительность Q = 0,2371 м3/с. По формулам 3, 4, 5, 6, 7 и 8 определяем критическую скорость для выноса воды и газа из МН. Критическая скорость υкр = 4,4 м/с, а скорость перекачки продукта по трубопроводу составляет 1 – 2 м/с.

Так как скорости движения транспортируемой жидкости по трубопроводу не достаточно для выноса «газовых шапок» и воды, прохождение ВИПа будет проходить в трех средах, поэтому для минимизация погрешности измерения дефектов линейной части необходимо учитывать неоднородность среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Новые научные и технические достижения во внутритрубной диагностике трубопроводов». Решение Проблемного научно-технического совета Российского союза нефтегазостроителей. г. Москва, 2011 г.

2. «Справочник инженера по эксплуатации нефтегазопроводов и продуктопроводов» Инфра – Инженерия, г. Москва, 2006 г.

3. Федеральный закон “О промышленной безопасности опасных производственных объектов» 1997 г.

ПОВЫШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ПЛАСТИН ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ЗА СЧЕТ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ TIC+TI, НАНЕСЕННОГО С ПОМОЩЬЮ МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ

Цыбина А.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В работе [1] показана уникальная возможность осуществления динамического синтеза сверхтвердого материала карбида титана в гиперзвуковой струе электроразрядной плазмы, создаваемой коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) с титановыми электродами [2]. Порошкообразный графит, необходимый для синтеза, закладывается в зону формирования плазменной структуры сильноточного разряда в начале ствола КМПУ. Титан нарабатывается электроэрозионным путем с поверхности ускорительного канала в процессе ускорения плазменной структуры. Скорость струи на срезе ствола длиной до 300 мм при нарастающем до ~ 150 кА токе разряда, достигает нескольких километров в секунду. Из ствола за один цикл выносится до нескольких десятков грамм композиционного материала. При воздействии такой струи на преграду, на ней осаждается покрытие толщиной от нескольких десятков до нескольких сотен микрометров состава TiC+Ti. В настоящей работе приведены результаты исследований по нанесению такого упрочняющего покрытия на поверхность пластин из специального алюминиевого сплава 1903М, используемого в качестве броневых листов легких бронежилетов.

На рис. 1 представлена микрофотография шлифа вертикального среза дюралюминиевого образца с нанесенным покрытием состава TiC+Ti, полученная на растровом электронном микроскопе Jeol–840. На рис. 1а видно, что покрытие (верх снимка) имеет большую толщину, однородно, не имеет пор и абсолютно плотно прилегает к поверхности образца. На фотографии с бóльшим увеличением (рис. 1б) отчетливо видно сцепление материалов покрытия и подложки за счет образования слоя взаимного проникания и перемешивания материалов. Толщина этого слоя составляет несколько десятков микрон. Это подтверждено и исследованиями методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (рис. 2), которые показывают плавное изменение состава этого слоя. Его существованием и обусловлена предельно высокая адгезия покрытия. Кроме того, на фотографии (рис. 1а) видно, что поверхностный слой дюралюминиевой подложки толщиной несколько сот микрометров насыщен множественными включениями твердых частиц состава материала

покрытия, что в совокупности с ударно-волновым упрочнением, многократно повышает его микротвердость.

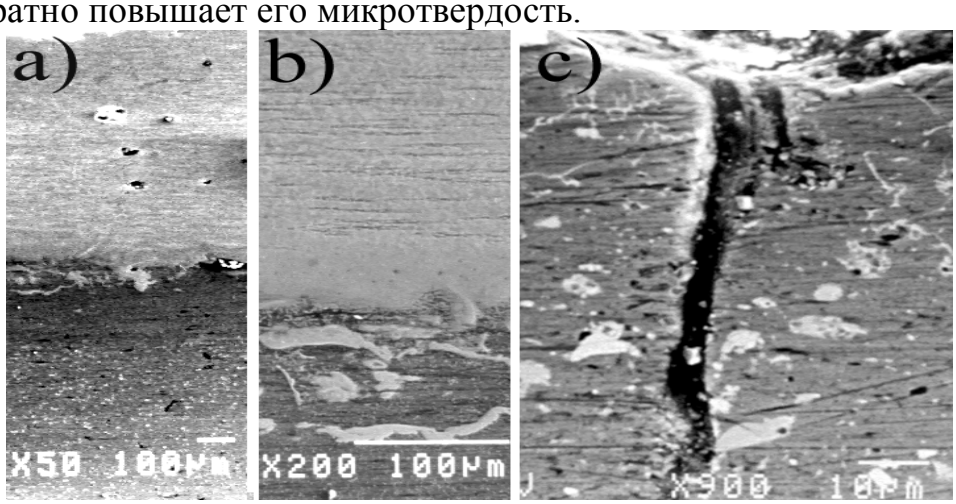


Рис.1. Микрофотографии шлифа вертикального среза образца из алюминиевого сплава с покрытием из композиционного материала состава Ti+TiC: a) обзорный снимок, верх - покрытие, низ – подложка; b) фрагмент граничного слоя взаимного перемешивания материалов; c) фрагмент травленого шлифа с каналом сверхглубокого проникания

Сверхглубокое проникание материала гиперзвукового потока в металлическую преграду происходит в виде микрокумулятивных струй, возникающих в процессе воздействия потока на преграду [1]. Каналы внедрения микрокумулятивных струй обнаруживаются в подложке при исследовании травленного шлифа образца (рис. 1в).

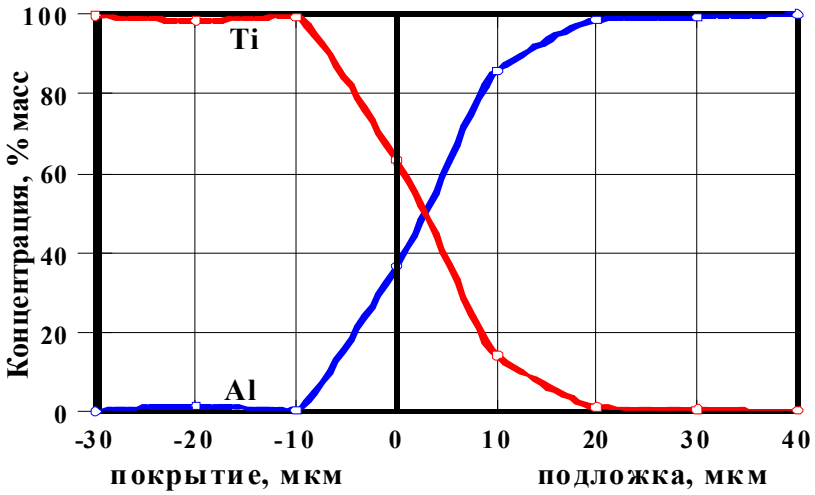


Рис. 2. Данные рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии образца из алюминиевого сплава с композиционным покрытием состава TiC+Ti

Обработанные таким образом пластины были испытаны на противопульную стойкость в лаборатории НИИ Стали. Испытания проводились путем обстрела защитных структур с образцами из пистолета ТТ (калибр 7,62 мм) пулей Пст с дистанции 5 м при скорости пули 440 ± 15 м/с под углом 00. Образцы испытывались в сравнении с обычными (без покрытия) пластинами из сплава 1903М толщиной 4,2 мм после стандартной термообработки, обеспечивающей твердость 143 НВ. Отметим, что при нанесении покрытия происходил термический отпуск сплава 1903М с уменьшением твердости до 90 НВ. Поэтому, после нанесения покрытия испытуемые пластины подвергались стандартной термической обработке для восстановления твердости на уровне 143 НВ.

Испытания показали следующие результаты. Нанесенное рассматриваемым способом покрытие не отслаивается от подложки при воздействии пули и не охрупчивает материал подложки. Эти свойства оказываются уникальными, так как ими не обладают покрытия, нанесенные другими известными способами, например, плазмотроном, электродуговой, электроннолучевой или лазерной наплавкой. Защитная структура представляет собой испытуемую пластину и несколько слоев ткани ТСВМ (кевлар, арт. 90319А) с тыльной стороны. В качестве подложки под защитную структуру использовался пакет из войлока и дерева. Защитная структура, состоящая из стандартной пластины (без покрытия) с 24 слоями ткани ТСВМ при указанных параметрах выстрела полностью пробивается и не удерживает пулю. Защитная структура на основе образца с нанесенным покрытием при таких же условиях пулю удерживает.

Таким образом, покрытие состава TiC+Ti на поверхности броневой пластины из алюминиевого сплава позволяет существенно повысить противопульную стойкость защитной структуры, используемой в легких бронежилетах.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Сивков, А.П. Ильин, А.М. Громов, Н.В. Бычин. Сверхглубокое проникание вещества высокоскоростного плазменного потока в металлическую преграду // Физика и химия обработки материалов. 2003. № 1. с.42-48.

2. Патент № 2150652 РФ. Коаксиальный ускоритель Сивкова. Сивков А.А. 7F41B 6/00. Опубл. 10.06.2000. Бюл. № 16.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ИТТРИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ РАБОЧЕГО ТЕЛА В ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКЕ

Аппельт Э.Э.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Получение прозрачной керамики на основе оксидов иттрия и алюминия в настоящее время является одной из актуальных задач керамической технологии. Одной из причин столь пристального внимания к данным материалам связано с возможностью использования их для создания оптического квантового генератора, а также для замены рабочего тела в лазерах [1]. Однако, в литературных источниках, данный вопрос освящен слабо и практически полностью отсутствует информация о технологии изготовления и последующего применения таких материалов в лазерной техники и иных областях науки и технологий. Поэтому тема данной работы является, безусловно, актуальной, открывающей возможность использования оксидной керамики в лазерной технике.

В работе предложена новая технология получения оптически прозрачной оксидной керамики на основе оксидов иттрия и алюминия, заключающаяся в использовании двустороннего магнитно-импульсного прессования нанодисперсных порошков [2] и спекании в температурном поле резистивной печи порошковых компактов. Основными этапами работы являлись:

- установление оптимальной технологии двустороннего магнитно-импульсного прессования нанодисперсных порошков составов Y2O3 и Al2O3,
- высокотемпературное спекание компактов, обеспечивающее получение качественной оптически прозрачной керамики.

Данная технология позволила получить весьма интересные научные результаты. В частности, получена прозрачная оксидная керамика с максимальным коэффициентом светопропускания (62.5 %) в области красного спектра видимого излучения. Это свидетельствует о том, что именно в данном диапазоне длин волн в керамике имеется наименьшее количество включений, примесей и пор способных рассеивать излучения. Также было обнаружено, спекание компактов состава Al2O3 в высокотемпературной резистивной печи с хромитлантановыми нагревателями в атмосфере воздуха обеспечивает допирование структуры керамики ионами хрома (Cr+3).

Кроме того, в работе проводится анализ физико-механических и оптических свойств оксидной керамики методами гидростатического

взвешивания, оценки микротвердости по Виккерсу, электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа.

Ключевым моментом работы является оценка коэффициента светопоглощения керамики. Из анализа проведенных исследований было установлено, что полученная керамика, как корундовая, так и иттриевая лучше всего пропускает излучение в области длин волн от 625 до 740 нм, что соответствует красному спектру видимого излучения. Для рубинового рабочего тела на основе оксида иттрия легированного ионами хрома, длинна волны, составляет 694,3 нм. Это свидетельствует о том, что именно в данном диапазоне длин в керамике имеется наименьшее количество включений, примесей и пор способных рассеивать излучения. На рисунке представлены фотографии керамики, и ее пропускные способности белого (слева) и красного (справа) спектра.

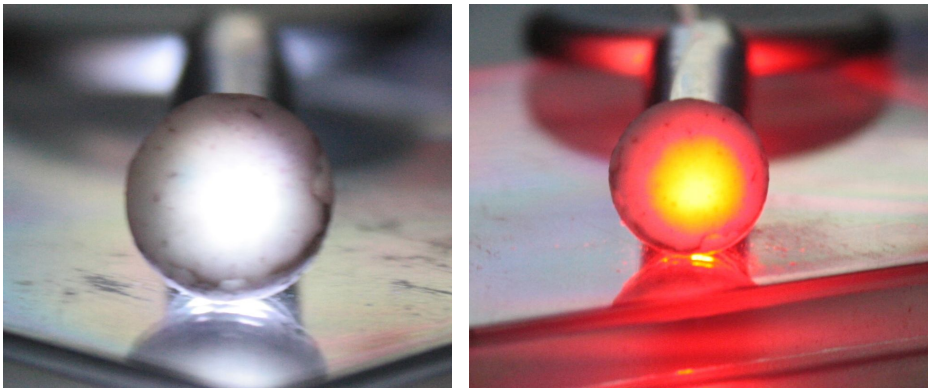


Рис. 1. Фотографии светопропускания оксидной керамики

ЛИТЕРАТУРА

1. Вальнин Г.П. Оптическая прозрачная керамика на основе оксида иттрия. – Автореферат диссертации. – Москва. – 2008. – С. 24.

2. Анненков Ю.М., Ивашутенко А.С. Разработка технологии получения оксидной нанокерамики методами высокоэнергетического воздействия. // Сборник трудов 12-й международной конференции «Радиационная физика и химия неорганических материалов». – Томск. – 2003. – С. 131 – 141.

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОГО СТАРЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗОЛЯЦИИ НЕФТЕПОГРУЖНОГО КАБЕЛЯ

Матери А.Э.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Актуальность темы:

Современная добыча нефти связана с освоением и эксплуатацией нефтескважин с жесткими условиями многофакторного эксплуатационного воздействия (температура, гидростатическое давление). Их освоение и эксплуатация связана с использованием нефтепогружных кабелей для подачи к электродвигателям нефтепогружных насосов электропитания.

Повышение надежности работы нефтепогружных кабелей для питания электронасосов связано в последнее время с увеличением глубины бурения скважин до 2000 ÷ 3000 м., что обусловлено воздействием на изоляцию нефтепогружных кабелей повышенных температур (до 200 °С) и давлений (более 100 МПа). При действии температуры и пластовой жидкости происходит снижение электрических свойств материала изоляции. В связи с этим анализ влияния теплового старения на электрические свойства изоляции провода позволит решить задачу обеспечения надежности нефтепогружных кабелей.

Цель работы:

Оценка скорости старения изоляции по изменению ее электрических свойств в процессе старения в агрессивной среде.

В данной работе проведен анализ влияния теплого старения на электрические свойства однослойной и двухслойной изоляции НПК. Для эксперимента были взяты образцы с разной толщиной однослойной и двухслойной изоляции. Изоляция выполнена из блоксополимера этилена с пропиленом марки 02-МК. В таблице 1 представлены конструкции проводов с одно- и двухслойной изоляцией.

Таблица 1.

Вариант	Диаметр ТПЖ, мм	Толщина изоляции, мм		Диаметр по изоляции, мм
		1 слой	2 слой	
1	0,9	0,5	-	1,9
2	0,9	0,3	0,2	1,9
3	0,9	0,7	-	2,3
4	0,9	0,4	0,3	2,3

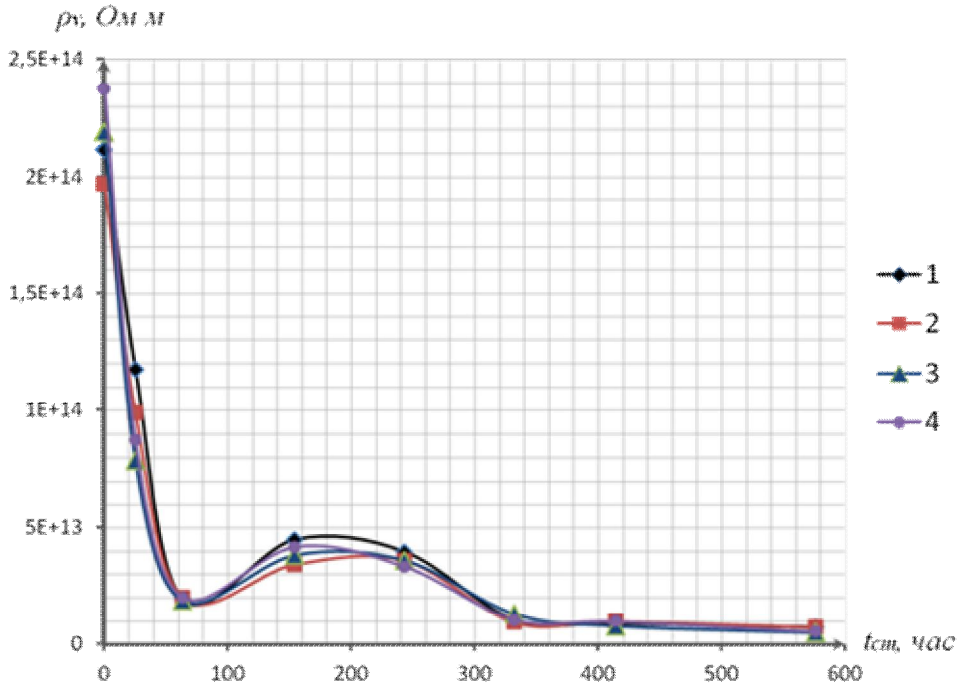


Рис. 1 Зависимость удельного объемного сопротивления образцов с одно и двухслойной изоляцией из блоксополимера 02 – МК в процессе старения в имитаторе пластовой жидкости при Тст =130°С

Обсуждение результатов:

Из зависимости электрического сопротивления образцов от времени старения рис. 1 видно, что влияние толщины изоляции проявляется в исходном состоянии. Наибольшим сопротивлением обладают образцы толщиной изоляции δиз = 0,7 мм 3,27·1013 Ом, а меньшим образцы толщиной δиз = 0,5 мм 2,51·1013 Ом.

Из зависимостей видно, что со временем старения наблюдается снижение удельного объемного сопротивления, связанное с процессами сорбции агрессивной среды в изоляцию. Незначительное возрастание удельного объемного сопротивления образцов в области 200 часов старения связаны с процессами повышения гибкости макромолекул, которые выстраиваются более плотно, что уменьшает подвижность носителей заряда. Уменьшение подвижности носителей заряда уменьшает электропроводность полимера.

Дальнейшее преобладание процессов деструкции вызывают снижение удельное объемное сопротивление.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭРОЗИЯ ТИТАНОВОГО СТВОЛА КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ

Привезенцев С.И., Сайгаш А.С., Шарипов Р.Р.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В коаксиальном магнитоплазменном ускорителе (КМПУ) [1] материал для нанесения покрытий нарабатывается электроэрозионным путем с поверхности ускорительного канала (УК). В связи с этим исследование электрической эрозии УК КМПУ является актуальной задачей с точки зрения определения наиболее значимого фактора и оптимизации этого процесса.

Ствол ускорителя изготавливался из титановой трубы ВТ1-0. В ходе экспериментов варьировались параметры источника электропитания, калибр и длина УК, давление воздушной атмосферы.

Характер электроэрозионного износа поверхности УК по длине изучался путем разрезания обработанного ствола на равные отрезки длиной 10÷20 мм, их взвешивания, определения дефекта массы по сравнению с эталонным отрезком, построения и анализа эпюр дифференциального износа по длине УК $\Delta m(\ell_{УК})$ (рис. 1).

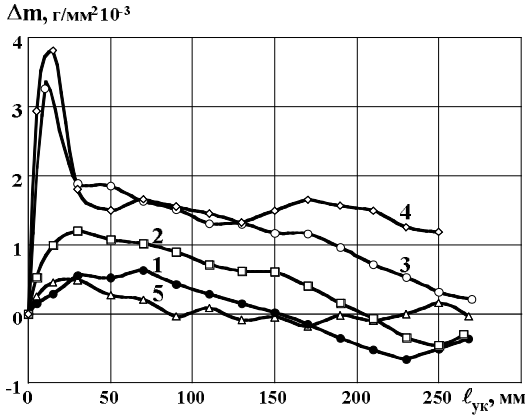


Рис. 1. Эпюры дифференциального электроэрозионного износа $\Delta m(\ell_{УК})$ по длине ускорительного канала

Электроэрозионный износ по длине УК сильно неравномерен, имеет явно выраженный волновой характер, обусловленный неустойчивостью скорости плазменного течения [2]. колебательный характер эпюр сохраняется и при пониженном давлении воздуха. Однако скорость при этом увеличивается более чем в три раза, а износ поверхности остается практически постоянным (таблица 1). С увеличением энергетики увеличивается не только эрозия, но и длина эродированного участка ствола. За оптимальную принята длина ствола ~ 200 мм, на которой

происходит относительно равномерный износ, нарабатывается и выносится из ствола более 90% материала. при относительно малой энергии происходит наслоение эродированного материала.

Таблица 1.

Данные исследований электроэрозионного износа поверхности УК титанового ствола

Длина ускорительного канала ℓук, мм	274	277	278	258	274
Внутренний диаметр УК dук, мм	21	21	21	21	21
Подведенная энергия W, кДж	66	99	130	136	65
Эродированная масса m, г	3.6	9.5	22.1	26.9	3.5
Удельная эродированная масса m/W, г/кДж	0.05	0.10	0.17	0.20	0.05
Удельная подведенная энергияW/Vук, кДж/см3	0.70	1.03	1.35	1.52	0.69
Скорость головной части на срезе ствола ϑ, км/с	2.2	3.0	3.4	-	7.4
Давление окружающей среды P, атм.	1.0	1.0	1.0	1.0	0.1

Интегральный электроэрозионный износ m определялся интегрированием эпюр Δm по поверхности УК. Анализ известных и полученных данных показал, что для КМПУ наиболее значимым фактором, определяющим электроэрозионный износ поверхности, является величина подведенной к ускорителю энергии. Обобщить экспериментальные данные удается в виде зависимости удельной интегральной эрозии m/W от удельной подведенной энергии W/Vук (Vук - объем ускорительного канала) (рис. 2). Она аппроксимируется линейной зависимостью:

$$m / W = 0.18 \cdot \left(W / V_{óê} - 0.47 \right)$$

A = 0.18 [г·см3/кДж2]-коэффициент интегральной электрической эрозии.

B =0.47 [кДж/см3]-критическое значение удельной подведенной энергии

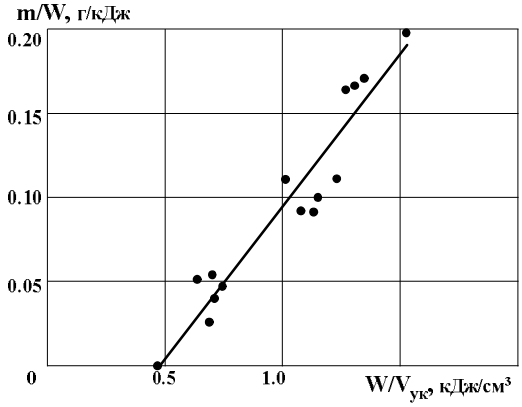


Рис. 2. Зависимость удельной интеграль-ной эрозии m/W от удельной подведенной энергии W/Vук

Полученная зависимость позволяет расчетным путем определить энергетические и конструктивные параметры КМПУ, исходя из требуемой массы материла для нанесения покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Сивков. Гибридная электромагнитная система метания твердых тел. Прикладная механика и техническая физика. 2001 г. Т. 42. № 1, с. 3-12

2. Пирумов У. Г., Росляков Г. С. Газовая динамика сопел. - М.: Наука, 1990.- 368 с

ДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СВЕРХТВЕРДЫХ НАНОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНА В ГИПЕРЗВУКОВОЙ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕ

СайгашА.С., СивковА.А., ГерасимовД.Ю., ШариповР.Р., ПривезенцевС.И.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Необходимость разработки простых методов получения нанодисперсных порошкообразных кристаллических материалов на основе титана диктуется перспективностью их использования в качестве абразива, для изготовления твердосплавных компактных элементов с нанокристаллической микроструктурой и нанесения упрочняющих покрытий. В последние годы интенсивно развиваются электрофизические методы на основе дугового разряда низкого давления [1], электрического взрыва проводников [2] и т.п.

В настоящей работе представлены результаты поисковых исследований возможности динамического синтеза TiO2, TiN, TiC, TiCN и получения нанодисперсных порошков на их основе в гиперзвуковой струе электроразрядной плазмы, генерируемой гибридным коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) с титановыми электродами [3]. КМПУ относится к типу эрозионных ускорителей. Его преимуществом перед другими типами электромагнитных и электродинамических ускорителей является то, что электроэрозионная наработка исходного материала, динамический синтез и формирование из жидкой фазы сферических наночастиц сверхтвердых материалов осуществляется в одном кратковременном (порядка 10-3 с) цикле работы ускорителя при давлении в реакторе близком к атмосферному.

Устройство и принцип работы КМПУ подробно описаны в работах [3, 4]. Ствол ускорителя (ускорительный канал) изготавливался из титановой трубки (ВТ-1-0) с внутренним диаметром $d_{ук}$ = 21 мм, толщиной стенки 2 мм, длиной $\ell_{ук}$ = 230-280 мм. Центральный электрод также изготавливался из титана.

Импульсное электропитание осуществлялось от емкостного накопителя с энергией W_c = (100-200) кДж, которая изменялась за счет изменения зарядного напряжения $U_{зар}$ = 3,0-4,0 кВ и емкости C = (15-48)·10-3 Ф.

Истечение импульсной гиперзвуковой струи электроразрядной плазмы происходило в герметичную камеру-реактор. Вскрытие камеры-реактора и отбор получаемого продукта проводились после полного осаждения взвешенной фракции на стенки камеры и естественного охлаждения до комнатной температуры.

В экспериментах осциллографировались напряжение на электродах U(t) и рабочий ток ускорителя i(t) (рис. 1). Динамические характеристики плазменного течения изучались с помощью высокоскоростной кадрированной фотосъемки (рис. 2) на установке ВФУ-1.

Аналитические исследования получаемых продуктов проводились методами рентгеновской дифрактометрии на дифрактометрах ДРОН-4 (FeKα-излучение) и Shimadzu XRD6000 (CuKα-излучение), электронной микроскопии на растровом электронном микроскопе Philips SEM 515.

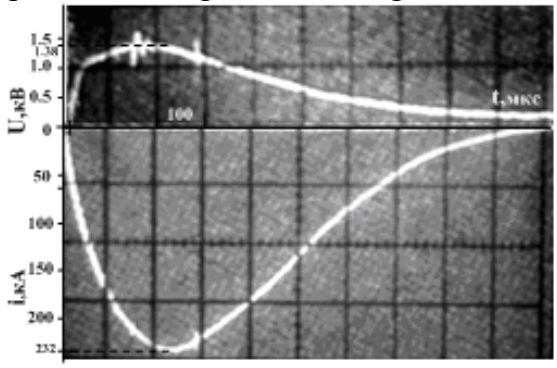


Рис.1. Типичные осциллограммы U(t) и i(t) плазменного выстрела КМПУ с титановыми электродами, соответствующие опыту №6 в таблице



Рис. 2. Типичная фотограмма формирования гиперзвукового плазменного течения из УК КМПУ, соответствующая опыту № 8 в таблице

Первые эксперименты проведены в условиях истечения плазменной струи в воздушную атмосферу при нормальном давлении. Рентгенофазовый анализ (РФА) полученного порошка показал, что в конечном продукте присутствуют кристаллические фазы диоксида титана TiO2 и нитрида титана TiN в соотношении TiO2:TiN = 5,7:1 (опыт 1, таблица). Введение в зону формирования плазменной структуры порошкообразного графита (0,5-1,0 г) не позволило синтезировать кристаллический карбид титана TiC. При пониженном давлении воздуха в реакторе и энергии накопителя Wc ≈ 300 кДж (опыт 2, таблица) картина радикально меняется. Идентифицируются также две фазы: карбид титана - TiC и оксид титана - TiO, с большим превосходством карбида титана TiC:TiO = 3:1. В связи с этим можно сделать предположение, что получение ультрадисперсного кристаллического карбида титана возможно при отсутствии кислорода, т.е. либо в относительно невысоком вакууме (до 10-3), либо в атмосфере инертного газа (не азота). С другой стороны, очевидно, что динамический синтез диоксида титана TiO2 необходимо проводить в атмосфере кислорода, что нежелательно с точки зрения безопасности. Поэтому был рассмотрен альтернативный вариант - возможность динамического синтеза TiO2 в атмосфере углекислого газа CO2 при атмосферном давлении. РФА полученного в таких условиях порошкообразного продукта подтвердил ожидаемый результат - образование кристаллического TiO2 с небольшими примесями Ti3O5 и TiC в примерном соотношении TiO2:Ti3O5:TiC = 9:3,8:1 (опыт 3, таблица), (рис. 3).

Таблица 1.

Экспериментальные данные

№	Uзар	C	Im	Wc	Среда	Po
	кВ	мФ	кА	кДж		атм.
1	3,8	15	139	108	воздух	1,0
2	3,5	48	202	294	воздух	0,1
3	4,0	18	240	144	CO2	1,0
4	4,0	18	203	144	азот	1,0
5	4,0	18	210	144	азот	1,0
6	3,0	48	232	216	азот	1,0
7	4,0	18	214	144	азот	1,0
8	4,0	24	172	192	азот	1,0

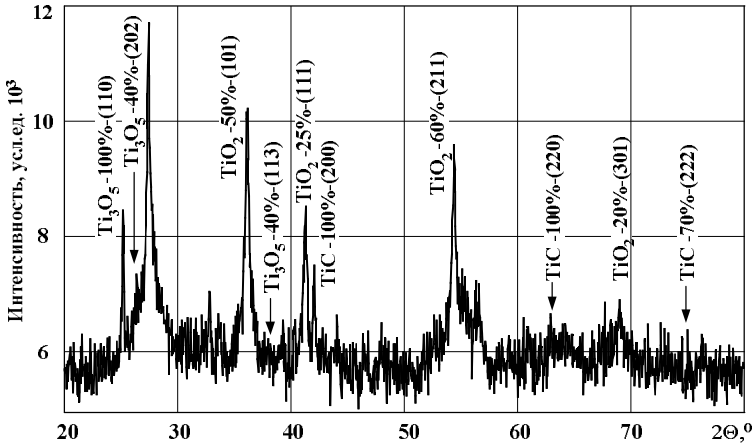


Рис. 3. Рентгеновская дифрактограмма нанодисперсного порошка, полученного в опыте № 3 (таблица)

Очевидно, что получение ультрадисперсного кристаллического нитрида титана возможно в атмосфере азота при выполнении некоторых условий. Так, например, при проведении процесса в азоте при атмосферном давлении, Wc ≈ 144 кДж и при разгерметизации реактора сразу после плазменного выстрела происходит частичное окисление продукта. Анализ дифрактограмм показывает образование практически в равных долях TiN и TiO2 (опыт 4, таблица). В таких же условиях, но при сохранении герметичности реактора до полного осаждения и охлаждения порошкообразного продукта (в течение примерно 1 часа), в его составе доля TiO2 существенно снижается и составляет ~ 26 % (опыт 5, таблица). Наличие кислорода в данном случае обусловлено тем, что перед заполнением реактора азотом из него откачивался воздух лишь до 0,1 атм. Однако, даже в таких условиях содержание кристаллического TiO2 снижается ниже уровня чувствительности ДРОН-4 при увеличении энергии до Wc ≈ 216 кДж (опыт 6, таблица).

В случае предварительной двукратной прокачке реактора азотом, практически единственной фазой динамического синтеза является TiN (опыт 7, таблица), что подтверждается дифрактограммой (рис. 4), полученной с помощью рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD6000. Такой же результат достигается при двух- или трех- кратном проведении процесса в реакторе без промежуточного отбора продукта и без продувки азотом. Порошок получается черно-синего цвета.

Экспериментальные исследования также показали возможность последовательного проведения до 10 циклов с наработкой до 150 г порошка TiN, что составляет 75 % от исходной массы ствола ускорителя.

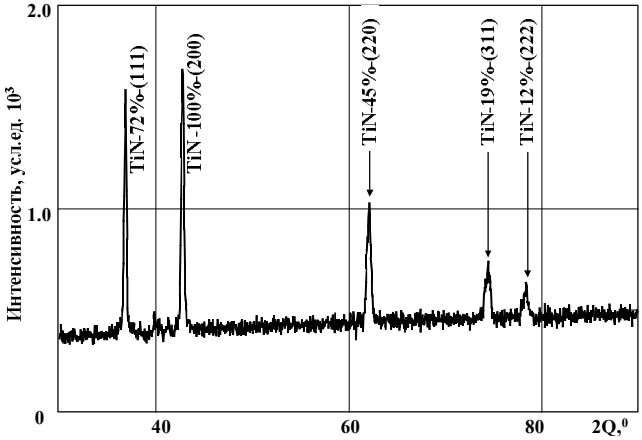


Рис. 4. Рентгеновская дифрактограмма нанодисперсного порошка TiN, полученного в опыте № 7 (таблица)

В атмосфере азота при атмосферном давлении с введением углерода в плазму сильноточного разряда описанными выше способами удалось осуществить динамический синтез одного из наиболее перспективных кристаллических ультрадисперсных порошков - карбонитрид титана C0.3N0.7Ti (опыт 8, таблица) (рис. 5).

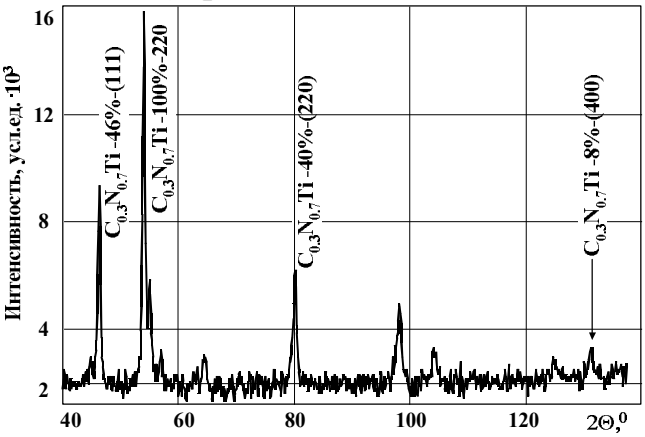


Рис. 5. Рентгеновская дифрактограмма нанодисперсного порошка C0.3N0.7Ti, полученного в опыте № 8 (таблица)

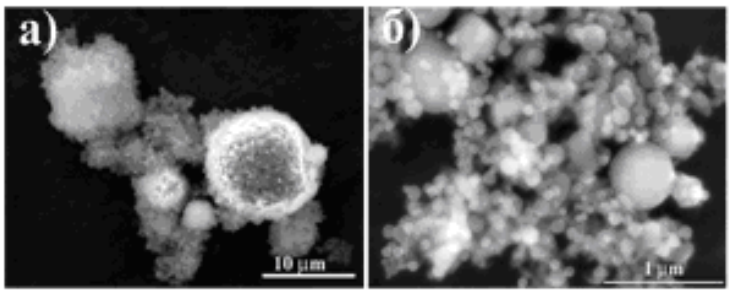


Рис. 6. Микроэлектронные фотографии нанодисперсного порошка TiN при различном увеличении

Полученные рассматриваемым методом порошки исследовались на растровом электронном микроскопе Philips SEM 515. Из представленных микрофотографий (рис. 6) видно, что продукт динамического синтеза представляет собой агломераты мелких частиц сферической формы диаметром от 0,5 мкм до 0,06 мкм и меньше. Частицы неправильной формы отсутствуют.

Из кривой закона распределения (рис. 7) видно, что примерно 90 % частиц порошка имеют размер от 0,05 до 0,15 мкм. Кроме того, в порошке имеются более мелкие фракции, но по полученным в настоящее время данным не представляется возможным достаточно точно определить их размеры.

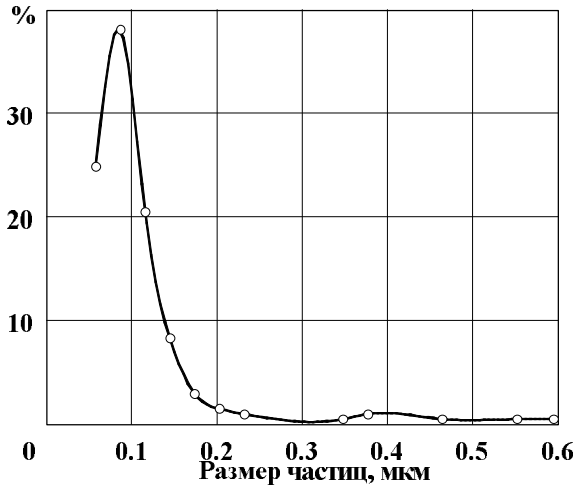


Рис. 7. Распределение частиц TiN по размерам в процентном соотношении к общему числу частиц. Общее число частиц в выборке 600

Проведенные исследования по оптимизации электроэрозионного износа поверхности УК показали, что выработку расходного материала (ствола) можно довести до 90 %.

Таким образом результаты поисковых экспериментальных исследований показали возможность использования импульсного сильноточного коаксиального магнитоплазменного ускорителя для получения нанодисперсных кристаллических порошков, в том числе сверхтвердых материалов TiN, TiC, C0.3N0.7Ti. За один рабочий цикл с энергией (100-200) кДж нарабатывается (5,0-15,0) г порошкообразного продукта. Метод отличается простотой и экологической безопасностью, не требует предварительной подготовки основного расходного материала и его дозированной подачи, реализуется при близких к атмосферному давлениях в камере реактора и при комнатной температуре.

Авторы выражают благодарность профессору Ильину А.П. за полезное участие в обсуждении результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.В. Ушаков, В.Е. Редькин, Получение нанокристаллических материалов при помощи дугового разряда низкого давления // Физическая мезомеханика 7, спец выпуск Ч.2., 2004 г. с. 61-64.

2. О.Б. Назаренко, А.П. Ильин, Получение нанопорошков карбидов и нитридов металлов при электрическом взрыве проводников в жидких углеводородах //Физика и химия обработки материалов, 2003, № 2,с.85-87.

3. Сивков А.А., Патент № 2150652 РФ, 1998.

4. Д.Ю. Герасимов, А.С. Цыбина, А.А. Сивков, Использование коаксиального магнитоплазменного ускорителя для нанесения медного покрытия на алюминиевую поверхность // Приборы. 2005 г., № 6, с.33-40.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Филиппов А.В., Проскоков А.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Основным физическим содержанием процесса резания является пластическое деформирование срезаемого слоя металла в стружку. При изучении этого процесса особую важность имеют экспериментальные методы исследования.

С развитием цифровой оптики и лазерной техники благодаря методам голографической интерферометрии и цифровой спекл-интерферометрии уровень экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния деталей и процессов в машиностроении поднялся на новый уровень.

Исследования процесса стружкообразования при резании металлов, с применением метода цифровой спекл-интерферометрии, проводились в институте физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН г. Томск. О свободное точение дисков из меди М1; сталей 10, 45; сплавов БрАЖ9-4, Д16Т; отрезными резцами – Т5К10 по ГОСТ 18884-73, с передним углом γ=10°. Регистрирующая аппаратура ИФПМ СО РАН накладывает ограничения на скорость резания, так как каждая перемещающаяся точка деформируемого материала должна оказаться в пределах двух кадров видеозаписи. Поэтому скорость резания при проведении экспериментов составляла 13 мм/мин.

В процессе резания выполнялась видеосъемка, которая фиксировала деформации в зоне стружкообразования (Рис.1). С помощью

автоматизированного расчетного комплекса ИФПМ СО РАН в результате получены картины векторных полей деформации в зоне резания, показывающие направление и величину вектора перемещения, с выбранным шагом координатной сетки.

Дальнейший анализ позволил получить распределение деформации в зоне стружкообразования при резании меди М1. На Рис. 2 представлены линии равных перемещений, которые позволяют оценить степень деформирования и выделить зону пластического течения материала. Цифрами обозначены величины усредненного значения суммарных перемещений в мкм.

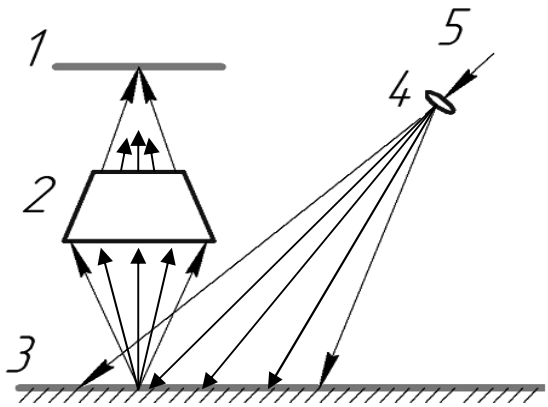


Рис.1. Схема регистрации спекл-картин: 1 - спекл-картины, 2 - фотообъектив, 3 - объект исследования, 4 - расширитель -

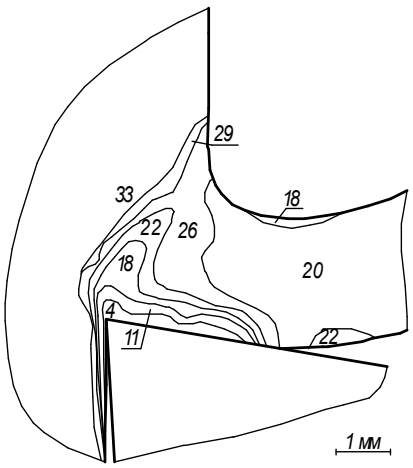


Рис.2. Распределение зон равных перемещений векторов деформации при резании меди М1 резцом с передним углом $\gamma=10°$

На Рис.3 показаны линии равных углов вектора деформации деформаций, которые дают представление о напряженном состоянии в исследуемой области.

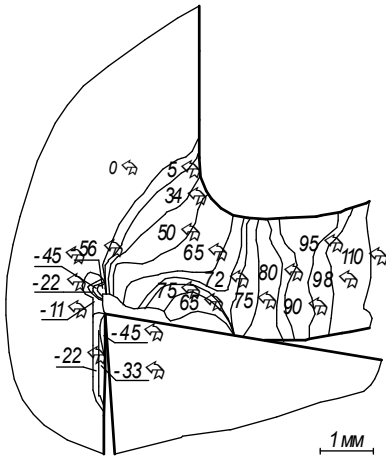


Рис.3. Распределение зон равного поворота векторов деформации при резании меди М1 резцом с передним углом γ=10°

На Рис.4 показаны лини тока, построенные на основе распределения зон равного перемещения и поворота деформируемых точек. Построенные линии показывают направление течения материала и позволяют определить действительную вершину лезвия.

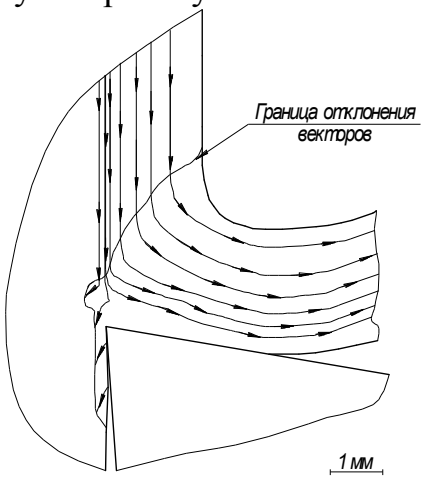


Рис.4. – Линии тока при резании меди М1 резцом с передним углом γ=10°

В работе [1] автор для оценки приращения деформаций использует формулы (1-3), которые позволяют привести данные процесса резания к общепринятым параметрам в теории пластичности:

$$\Delta\varepsilon_x = \frac{dh}{dx}\cos\alpha - h\sin\alpha\frac{d\alpha}{dx}; \quad (1)$$

$$\Delta\varepsilon_y = \frac{dh}{dy}\sin\alpha + h\cos\alpha\frac{d\alpha}{dy}; \quad (2)$$

$$\Delta\varepsilon_{xy}=\frac{1}{2}\left[\left(\frac{dh}{dx}-h\frac{d\alpha}{dy}\right)\sin\alpha+\left(\frac{dh}{dy}+h\frac{d\alpha}{dx}\right)\cos\alpha\right]. \quad (3)$$

где α – тангенс угла между направлением перемещения точки деформируемого материала и вертикальной осью.

h – расстояние между соседними узлами вдоль траектории движения частиц в процессе деформации.

x, y – проекции перемещения деформируемой точки на соответствующие оси.

Для определения скоростей деформаций при установившемся движении необходимо разделить соответствующие компоненты приращения деформации (формулы 1-3) на время Δt [2]:

$$\dot{\varepsilon}_x=\frac{\Delta\varepsilon_x}{\Delta t}; \quad (4)$$

$$\dot{\varepsilon}_y=\frac{\Delta\varepsilon_y}{\Delta t}; \quad (5)$$

$$\dot{\varepsilon}_{xy}=\frac{\Delta\varepsilon_{xy}}{\Delta t}. \quad (6)$$

Интенсивность скорости деформации получим, используя формулу предложенную автором работы [3]:

$$\dot{\varepsilon}_i=\frac{\sqrt{2}}{3}\sqrt{(\Delta\dot{\varepsilon}_x-\Delta\dot{\varepsilon}_y)^2+\Delta\dot{\varepsilon}^2_x+\Delta\dot{\varepsilon}^2_y+\frac{3}{2}\Delta\dot{\varepsilon}^2_{xy}}. \quad (7)$$

Формулы (1-7) являются основными для определения кинематики плоско-деформированного состояния и определения напряжений в зоне резания.

Из теории пластического течения следует, что направления главных линейных деформаций (приращения деформаций) совпадают с направлением главных нормальных напряжений. Основываясь на этом положении, с использованием экспериментальных данных о перемещениях точек, были построены линии главных нормальных напряжений (Рис.5).

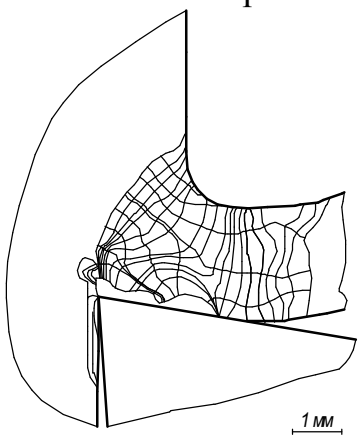


Рис.5. – Линии главных нормальных напряжений при резании меди М1 резцом с передним углом γ=10°

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) Использование метода спекл-интерферометрии для изучения деформированного состояния зоны резания позволяет повысить точность измерения и снизить трудоемкость обработки экспериментальных данных.

2) Анализ полученных экспериментальных данных показал, что результаты полученные методом спекл-интерферометрии хорошо согласуются с известными положениями теории резания металлов.

3) По полученным данным можно с достаточной точностью определить зону, в которой происходит превращение срезаемого слоя в стружку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дель Г.Д. Технологическая механика. Москва: изд. Машиностроение, 1978. 174 с.

2. Томсен Э., Янг Ч., Кобаяши Ш. Механика пластических деформаций при обработке металлов. Москва: изд. Машиностроение, 1969. 504 с.

3. Гольдшмидт М.Г. Деформации и напряжения при резании металлов. Томск: изд. STT, 2001. 180с.

ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ ТРУБ ИЗ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ДЕФЕКТАМИ

Чермошенцева А.С., Булдакова Е.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Применение слоистых композиционных материалов в современных системах коммуникаций позволит решить проблемы антикоррозионной устойчивости труб, уменьшения коэффициента линейного расширения, отложения солей и парафинов, снижения гидравлических потерь в трубах, удешевления стоимости строительно – монтажных работ и затрат на обслуживание и защиту трубопроводов. Кроме того, использование труб из слоистых композиционных материалов взамен традиционных – металлических, увеличивает срок службы трубопроводов в 5-8 раз.

Однако, из-за несовершенства технологии изготовления, в конструкциях из слоистых композиционных материалов возникают межслойные дефекты различные по форме и глубине залегания. Такие дефекты могут возникнуть не только при изготовлении, но и при

эксплуатации, транспортировке и хранении [1]. В работе были проведены испытания образцов с дефектами типа отслоений, разработана методика проведения эксперимента [2, 3].

В соответствии с разработанной методикой проведения экспериментальных работ были предварительно смоделированы образцы из слоистых композиционных материалов с применением интегрированных CAD/CAE систем.

В системе ANSYS была создана модель кольца, состоящего из двух тонкостенных объёмных оболочек в виде колец при помощи геометрических примитивов из слоистого композиционного материала, одно из которых моделирует отслаивающийся слой, второе – оставшуюся конструкцию (рис. 1, 2).

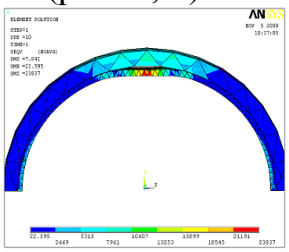


Рис. 1. Напряженное состояние кольца с дефектом, укладка препрега [90,0]5 нагружение q=100Н/мм2, qкр=69Н/мм2

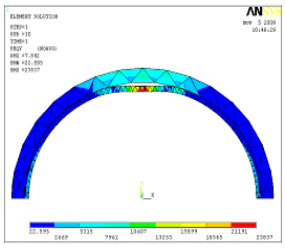
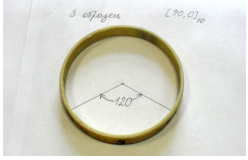


Рис. 2. Напряженное состояние кольца с дефектом, укладка препрега [45,- 45]5 нагружение q=100Н/мм2, qкр=27Н/мм2

Задача взаимодействия объемных оболочек была решена в виде контактной задачи двух деформируемых тел, для этого использовались контактные элементы из библиотеки ANSYS. Полученные расчетные модели колец выявили следующие результаты: однонаправленное армирование волокон обеспечивает наибольшую удельную прочность для элементов конструкций, работающих в условиях одноосного нагружения в направлении укладки волокон основной пластины, отслоение находится в состоянии двухосного нагружения. Деформации дефекта при сжатии возрастают при увеличении угла укладки волокон. Были рассмотрены образцы труб из слоистых композиционных материалов с разным диаметром, углами армирования препрегов и глубиной залегания дефектов (рис. 3).



а – вид сверху



б – вид сбоку

Рис. 3. Образец из стеклопластика D = 90 мм, укладка препрега [90,0]5

Образцы изготавливались из препрегов стеклоткани промышленных марок способом сухой выкладки. Для этого в формообразующую оснастку (пресс-форму), в форме стального кольца разного внутреннего диаметра, смазанного антиадгезионным покрытием, выкладывался предварительно раскроенный препрег в пять или десять слоёв. Затем в сердцевину кольца вкладывался силиконовый вкладыш для создания необходимого внутреннего давления. Дефекты, для имитации межслойных отслоений, создавались путем прокладки фторопластовой пленки между определенными слоями.

Были разработаны модели нагружающих устройств и зажимов, которые помещались в разрывную машину мощностью 5 т. (рис. 4), затем сборка подвергалась статическим усилиям на растяжение – сжатие, показания которых фиксировались с помощью цифрового регистрирующего устройства разрывной машины и съемкой на видеокамеру. Были произведены испытания образцов в форме кольца с заложенным технологическим дефектом, определяя в каждой серии среднюю критическую силу до потери устойчивости – образования дефекта типа отслоение. Были сделаны фотографии образцов до и после эксперимента; процесс нагружения, деформации и разрушения.





Рис. 4. Испытание образцов

Результаты экспериментальных испытаний представлены в таблицах 1, 2. Экспериментальные значения критической нагрузки образцов Рэкспер и численные расчеты в системе ANSYS Ррасчет приведены в таблице 3.

Таблица 1.

Результаты эксперимента, d=90мм

№ экс.	№ обр	Кол-во	Кол-во	Уклад. Препр.	Дефект типа отслоение	
					наличие отслоения	Р(кН) экспер.
1	1	10	1	90,0	-	-
2	2	10	1	90,0	+	20,64
3	8	10	1	45,-45	+	10
4	3	10	1	90,0	+	17,88
5	4	10	1	45,-45	-	-

Таблица 2.

Результаты эксперимента, d=50мм

№ экс.	№ обр	Кол. слоев пакета	Кол. слоев дефек.	Укладка препрега	Мат-л	Дефект типа отслоение	
						наличие отслоения	Р(кН)
6	17	5	1	45,-45	ПС-ИФ	-	-
7	18	5	1	45,-45	ПС-ИФ	+	4,5
8	19	5	1	45,-45	ПС-ИФ	+	3,3
9	20	10	2	45,-45	ПС-ИФ	-	-
10	2	5	1	45,-45	ПС-ИФ	-	-
11	3	5	1	45,-45	ПС-ИФ	-	-
12	4	5	1	90,0	ПС-ИФ	+	8,71
13	5	5	2	90,0	Т-10	-	-
14	6	5	2	90,0	Т-10	-	-
15	7	10	1	90,0	Т-10	+	20,3
16	8	10	1	90,0	Т-10	+	17,44
17	9	10	1	90,0	Т-10	-	-
18	10	10	2	90,0	Т-10	-	-
19	11	10	2	90,0	Т-10	-	-
20	12	5	1	90,0	Т-10	-	-
21	13	5	1	90,0	Т-10	-	-

Таблица 3.

Результаты расчета и испытаний

Кол-во слоев	Кол-во слоев д/дефекта	Укладка препрега	Диаметр образца, мм	Критическая сила потери устойчивости дефекта типа отслоение (кН)	
				Рэкспер	Ррасчет ANSYS
10	1	90,0	90	20,64	19, 36
		45,-45		10	8,72
5	1	45,-45	50	4,5	4,9
		90,0		8,71	7,19
10	1	90,0		20,3	21, 69

Результаты, полученные в работе:

1.Разработана методика проведения эксперимента, проведена серия испытаний. Результаты экспериментальных работ представлены в виде таблиц. 2.Разработана методика моделирования элементов конструкций с дефектами расположенными на разной глубине залегания в системе ANSYS. 3.Произведены: численное моделирование, расчет на прочность методом конечных элементов в системе ANSYS. Результаты расчета представлены в виде таблицы. Результаты, полученные в ходе эксперимента сопоставимы с численными расчетами, степень сходимости в пределах 15-20 процентов.

По результатам экспериментальных исследований были сделаны следующие выводы:

в 5- и 10-слойных образцах (с одинаковыми характеристиками и с заложенным технологическим дефектом на глубине одного слоя) при укладке армированной ткани под углом [45,-45]5, критическая нагрузка дефекта типа отслоение уменьшается на 50% в отличие от укладки армированной ткани под углом [0, 90]5 (табл. 1, 2);

диаметры образцов труб не оказывают существенного влияния на критическую нагрузку дефекта типа отслоение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.

2. Бохоева Л.А. Особенности расчета на прочность элементов конструкции из изотропных и композиционных материалов с допустимыми дефектами// - Изд. ВСГТУ. – Улан-Удэ, 2007.-192с.

3. Чермошенцева А.С., Булдакова Е.С. Моделирование элементов конструкций из слоистых композиционных материалов при наличии дефектов в системе ANSYS// Современные техника и технологии: сб.тр. XV междун. научно-практической конференции студентов и молодых ученых - Томск, 2009-С.346-348.

ВЛИЯНИЕ КОРОТКОЗАМКНУТОГО ФЛАНЦА СОЛЕНОИДА МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ НА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЙ ИЗНОС УСКОРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА

Цыбина А. С., Шарипов Р. Р.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Теоретические исследования внешнего магнитного поля (ВМП) соленоида [1] индукционной системы коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) [2, 3] показывают, что наличие или отсутствие короткозамкнутого (КЗ) кольца (торцевой фланец соленоида), может создавать тормозящее магнитное поле, как торцевое, так и осевое.

В связи с этим в работе приводятся экспериментальные исследования ВМП соленоида индукционной системы КМПУ с КЗ фланцем и без него. Исследования проведены на ускорителе со съемным КЗ кольцом. В качестве КЗ фланца использовалось медное кольцо толщиной 10,0 мм и диаметром 98,5/30,0 мм.

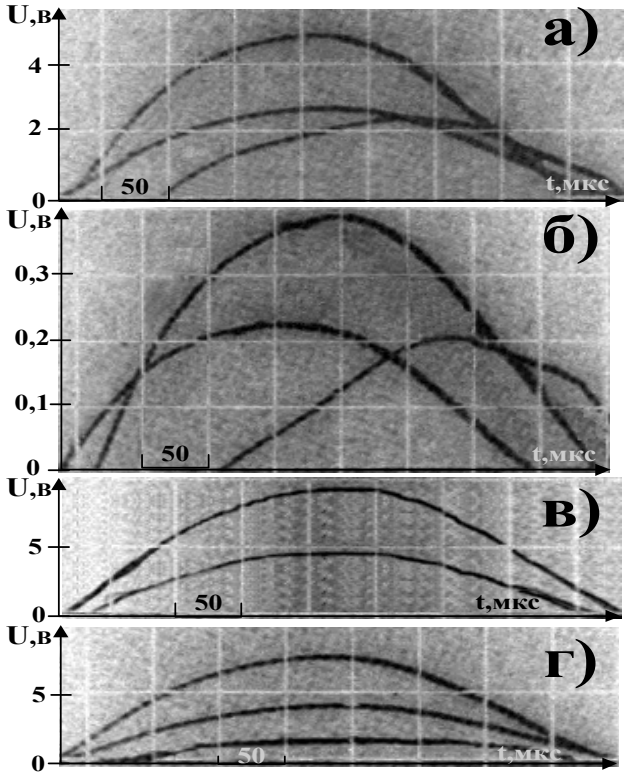


Рис.1. Осциллограммы магнитных полей соленоида внешней индукционной системы КМПУ (при наличии УК из нержавеющей стали с внешним диаметром 20 мм и внутренним 16 мм): а – торцевое, с кольцом; б – торцевое, без кольца; в – осевое, без кольца; г – осевое, с кольцом

В экспериментах регистрировались (ВМП) (осевое и торцевое), а так же рабочий ток, протекающий через ускоритель. На рис.1 приведены осциллограммы, соответствующие разным положениям индукционного датчика по длине соленоида внешней индукционной системы, по которым построены графики зависимостей величины ВМП по длине соленоида, с КЗ фланцем, и без него.

Из графиков видно, что наличие КЗ фланца ослабляет осевое поле и значительно увеличивает торцевое поле соленоида внешней индукционной системы КМПУ, тем самым, создавая магнитную пробку.

Таблица 1.

Экспериментальные данные

№ опыта	Ед. изм.	1	2	3	4
Наличие короткозамкнутого фланца		–	+	+	–
Наружный диаметр ускорительного канала, dн	мм	25	25	20	20
Внутренний диаметр ускорительного канала, dв	мм	19	19	16	16
Длина ускорительного канала, ℓук	мм	270,5	269,0	261,7	270,0
Эродированная масса, m	г	18,3	22,0	9,3	7,1
Подведенная энергия, W	кДж	123,0	116,0	59,4	61,0
Объем ускорительного канала, V	см3	80,7	76,2	53,7	54,3
Время ускорения головной части, Δt1-2	мкс	60,2	69,1	68,6	62,1
Средняя скорость в ускорительном канале, υср = ℓук/Δt1-2	км/с	4,5	3,9	3,8	4,3
Удельная эродированная масса, m/W	г/кДж	0,149	0,190	0,156	0,116
Удельная подведенная энергия,W/V	кДж/см3	1,524	1,522	1,129	1,123

Для исследования влияния КЗ фланца на динамические характеристики ускорителя и электроэрозионный износ УК, сделаны эксперименты по ускорению плазмы разряда на разных ускорителях с КЗ фланцем и без него. Исследования проводились в процессе отработки технологии нанесения покрытия состава нержавеющей стали. В экспериментах использовались УК из нержавеющей стали (12Х18Н9Т) с калибром 16 мм и 19 мм. Основные результаты приведены в таблице 1. Номера опытов в таблице 1 соответствуют номерам эпюр на рис.3.

Эксперименты подтверждают выше сказанное. Из таблицы 1 видно, что при наличии КЗ фланца увеличивается время ускорения плазменной структуры в УК и уменьшается средняя скорость.

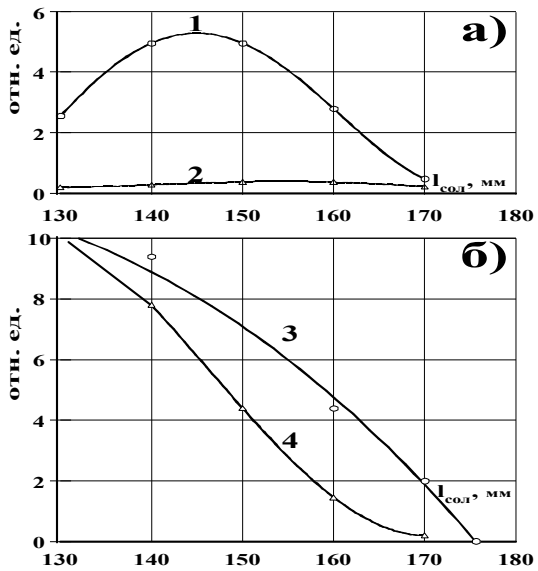


Рис.2. Зависимость величины магнитного поля от длины соленоида внешней индукционной системы: а - торцевое, б - осевое; 1, 4 - с фланцем, 2, 3 - без фланца

Из сравнения эпюр дифференциального электроэрозионного износа (рис.3) видно, что при наличии КЗ фланца наблюдается некоторое увеличение эродируемой массы материала УК КМПУ как по амплитуде, так и по интегральной величине, а также увеличивается эродируемая длина УК. Следует отметить, что эпюра дифференциального электроэрозионного износа (эпюра 1, рис.3а) соответствует большей подведенной к ускорителю энергии, по сравнению с эпюрой 2 (рис.3а).

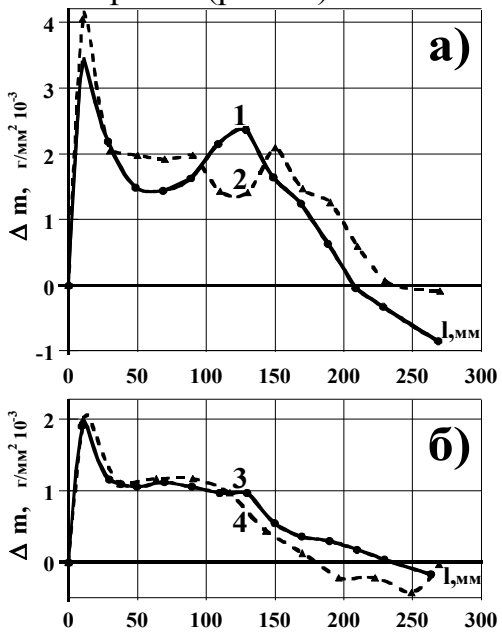


Рис.3. Эпюры дифференциального электроэрозионного износа

Для сравнения удельных значений электроэрозионного износа для экспериментов с КЗ кольцом и без него построена зависимость удельной интегральной эрозии (m/W) от удельной энергии (W/V), представленная на рис.4.

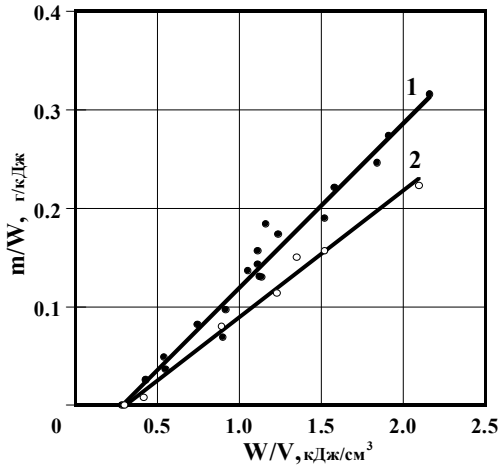


Рис.4. Зависимость удельной интегральной эрозии (m/W) от удельной энергии (W/V)

Из графика (рис.4) видно, что зависимости распадаются на отдельные ветви, соответствующие экспериментам при использовании индуктора с КЗ фланцем (1) и без него (2). Приведенные зависимости имеют начало в одной точке, это говорит о том, что удельная критическая энергия (W*/V) у них одинакова, так как КЗ фланец не влияет на начало процесса. Но зависимости 1 и 2 имеют разный угол наклона, и наглядно показывают, как КЗ фланец увеличивает электроэрозионный износ УК.

Т.о. КЗ фланец создает магнитную преграду, движущемуся сгустку плазмы разряда, вследствие чего уменьшаются динамические параметры импульсной плазменной струи, и увеличивается электроэрозионный износ УК. Отсюда следует, что конструкция КМПУ с КЗ фланцем более пригодна при ускорении плазмы разряда, т.к. при этом будет больший вынос эродированной массы материала, необходимого для нанесения покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. Перевод с англ. Николаева Ф.А. и Свириденко Ю.П. М.: «Мир». 1972. 391 с.

2. Патент № 2150652 РФ. Коаксиальный ускоритель Сивкова. Сивков А.А. 7F41B 6/00. Опубл. 10.06.2000. Бюл. № 16.

3. А. А. Сивков. Гибридная электромагнитная система метания твердых тел. Прикладная механика и техническая физика. 2001 г. Т. 42. № 1, с. 3-12.

EFFECT OF CUPRUM ON THE MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF IRON-BASED HARDFACING ALLOYS DEPOSITED BY PLASMA TRANSFERRED ARC PROCESS.

Isakin I.A.
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Introduction.

Iron-based alloy coating has been used widely due to its higher hardness and wear resistance, especially its lower cost compared to nickel-based and cobalt-based alloy coatings [1]. Nevertheless, traditional Fe–C–Cr alloy coating could not been used at elevated temperature for its bad wear resistance at this temperature. Therefore, the alloy elements, such as vanadium, niobium, tungsten and molybdenum were added into iron-based alloy powder in order to increase its wear resistance at elevated temperature, but the high cost could not be prevented [2] .

The solubility of copper in austenite is relatively high, but its solubility in α-Fe is low. Depending on the copper content and heat treatment, the precipitation of the ε-Cu occurs in ferritic and ferritic–austenitic stainless steels [3]. The presence of the ε-Cu in ferrite increases the hardness and wear resistance of ferrite steel. Unfortunately, the early work mainly focused on the utility of copper in the steel, little attention has so far been paid to the application of copper in the iron-based alloy coating deposited by plasma transferred arc process. Especially to the application of Rietveld refinement method in this coating has not been reported still now. The effects of different heat treatments on the iron-based alloy coating with 3 wt.% copper have been conducted. It has been found that the highest hardness and the best sliding wear resistance could be obtained when the deposited coating was aged at 773 K for 35 h. In this paper, therefore, the detailed information about the effect of the heat treatment at 773 K for 35 h on the microstructure and properties was investigated. Moreover, in order to investigate the relationship between the ageing treatment and the phase contents, Rietveld refinement method was conducted to analyze X-ray diffraction spectra.

Experimental procedures.

The PTA process was performed using a L4-400PC apparatus. The atomized iron-based alloy powder used in this experiment was spherical in shape with a size of 45–105 μm, the chemical composition is given in Table 1. The substrate was 200.35.20 mm3 annealed low carbon steel plate whose composition is listed in Table 1 and has not been preheated before PTA treatment. The substrate was rinsed with ethyl alcohol just before the PTA process. The 3 wt.% copper powder with a size of 50–110 μm having a purity of over 99.5% was added into the iron-based alloy powder. Detailed PTA process

conditions, as listed in Table 2, were optimized in terms of dilution, surface hardness and deposition thickness after several experiments. Ageing treatment of the as-deposited coating was performed in a chamber furnace under argon atmosphere. The deposited coating was held at 773 K for 35 h and subsequently cooled to room temperature. The as-deposited and as-aged specimens for metallographic examination were first cut perpendicular to the coating surface with a wire cut machine. The cross-sections of the coatings were polished by mechanical procedures and were etched using nitromuriatic acid. Then the microstructures of the coatings were studied by means of optical microscope and SEM.

Microhardness for the cross-section was conducted using a HV-1000 machine loaded at 0.1 kgf. Sliding wear resistance was evaluated on a ring-block sliding wear machine loaded at 5 kg during the wear test. Weight loss was measured to within 0.01 mg and the average value for each specimen was calculated using three data.

Results.

In the present work, the Fe–Cr–C–Cu coating deposited by PTA process consists of α phase with b.c.c crystal structure, M23C6 with f.c.c crystal structure, and M7C3 with orthorhombic crystal structure. The ageing treatment at 773 K for 35 h leads to the precipitation of ε-Cu particles. The ε-Cu particles with different sizes block the movements of the dislocations.

Table 1
Chemical compositions for the iron-based alloy powder and the substrate (wt.%)

	C	Si	B	Mn	Cr	Ni	Fe
Iron-based alloy powder	0.5	3	1.6	–	18	8	Bal.
Substrate	0.12	0.30	–	0.45	–	–	Bal.

Table 2
Experimental conditions for PTA process

Parameters	Units	Value
Transferred arc current	A	180–190
Transferred arc voltage	V	30–32
Main gas pressure	MPa	0.3
Ion gas flow	m^3/h	0.4
Powder feed gas	m^3/h	0.2
Powder supply	g/min	63
Oscillation rate	times/min	20
Travel speed	mm/min	110
Cooling water pressure	MPa	3
Torch gap	mm	7

Figs. 1 and 2 show the microhardness and wear resistance properties of the deposited coatings. It can be found that the microhardness and wear resistance for the as-aged coating are higher than those for as-deposited coating.

The relative contents of the total Cr-rich carbides in the as-aged coating (28.7 wt.%) are higher than those in the asdeposited coating (22.8 wt.%). Meanwhile, as discussed above, ε-Cu particles precipitated from the martensite matrix when the deposited coating was aged at 773 K for 35 h. Furthermore, the ε-Cu particle blocks the movement of the dislocation, enhancing the strength of the as-aged coating. All these results are beneficial to increase the microhardness and the wear resistance.

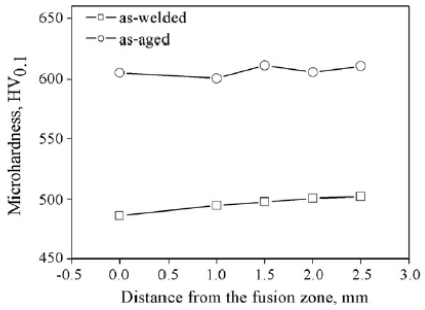


Fig. 1. Microhardness of the Fe–C–Cr–Cu coatings

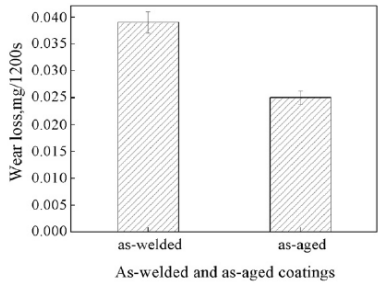


Fig. 2. Sliding wear resistance of the Fe–Cr–C–Cu coatings

Conclusion.

(1) The ageing treatment at 773 K for 35 h leads to the precipitation of ε-Cu particles. The ε-Cu particles with different sizes block the movements of the dislocations. The relative contents of the total Cr-rich carbides increase from 22.8 wt.% to 28.7 wt.%, but the relative content of the α phase decreases after the ageing treatment.

(2) The ageing treatment at 773 K for 35 h can increase the microhardness and the sliding wear resistance of the Fe–Cr–C–Cu coating deposited by PTA process.

REFERENCE

1. L. Bourithis, G. Papadimitriou, Mater. Lett. 57 (2003) 1835.

2. Y. Isshiki, K. Mizumoto, M. Hashimoto, Thin Solid Films 317 (1998) 468.

3. B. Jacek, M. Andrzej, Mater. Sci. Eng., A Struct. Mater.: Prop. Microstruct. Process. 277 (2000) 183.

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР

Ананьева Ю.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время все больше возникает потребности к качеству электроизоляционной продукции, которые должны обладать высокими диэлектрическими характеристиками, большой механической прочностью и химической устойчивостью к действию различного рода агрессивных сред. Наиболее широко для этих целей применяются высокопрочные керамические материалы на основе чистых окислов металлов, среди которых выделяются корунд (Al2O3) и диоксид циркония (ZrO2). Корундо-циркониевая (КЦ) керамика в настоящее время находится наиболее перспективным объектом исследования [1].

В литературе очень широко и подробно описаны физико-механические свойства КЦ-керамики. Что касается исследований электрофизических свойств, то тут информация практически отсутствует. Поэтому целью данной работы является исследование электрофизических свойств корундо-циркониевой керамики.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- изучить зависимость диэлектрической проницаемости от температуры;
- исследовать диэлектрические петли гистерезиса для КЦ-керамики при различных температурах в широком частотном диапазоне.

На рисунке 1 представлены температурные зависимости диэлектрической проницаемости от температуры для оксидной керамики состава ZrO2-3 % Y2O3-Al2O3. Из полученных данных было обнаружено, что в области температур около 1000 °С диэлектрическая проницаемость ε достигает значений до 2,2 млн. ед. [2].

Иными словами было обнаружено новое явление, заключающееся в достижении гигантских значений диэлектрической проницаемости RW-керамики при высоких температурах.

Для объяснения данного явления были выдвинуты три гипотезы:

- Сегнетоэлектрический эффект.
- Интенсивная структурная поляризация при высоких температурах.
- Электролитическое окрашивание КЦ-керамики.

Анализируя данные по диэлектрическому гистерезису (рисунок 2) было установлено, что в температурном ходе величина относительной

диэлектрической проницаемости возрастает, что связано с возрастанием концентрации анионных вакансий кислорода с ростом температуры.

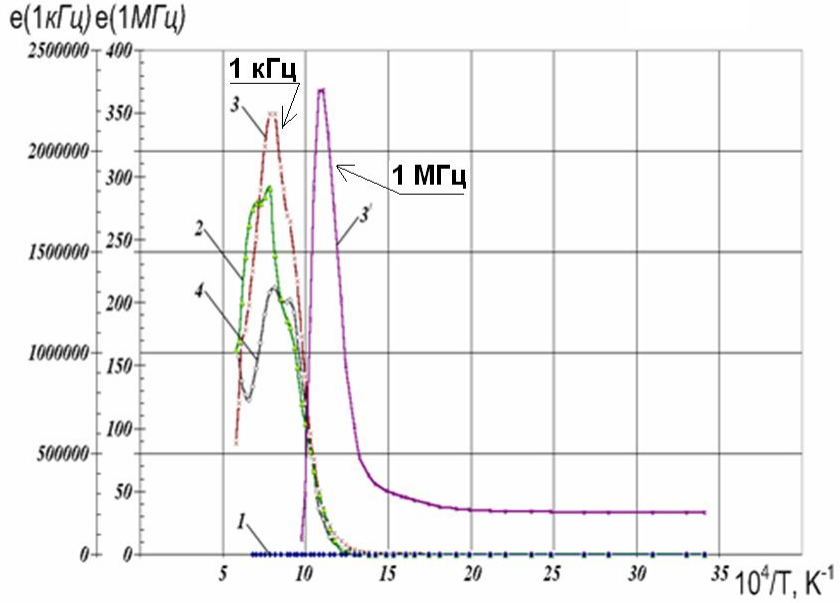


Рис. 1. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости от температуры для керамики составов: 1) Al2O3; 2) 50%Al2O3 - 50%ZrO2 ; 3) 20%Al2O3 - 80%ZrO2; 4)100%ZrO2

В частотном ходе величина относительной диэлектрической проницаемости уменьшается. Это, по нашему мнению, объясняется с позиции структурной поляризации, связанной с образованием объемных зарядов на границе раздела фаз (межзеренная область и зерно). При низких частотах (до 15 Гц), за время полупериода, объемные заряды успевают образоваться, тем самым, обеспечивая высокие значения диэлектрической проницаемости. При увеличении частоты (более 20 Гц) электрического поля вероятность образования объемных зарядов уменьшается. Диэлектрическая проницаемость уменьшается.

Кроме того, в работе было установлено, что зависимость относительной диэлектрической проницаемости от частоты проходит через минимум, смещающийся в область более высоких частот при увеличении температуры. Это явления вполне закономерно и связано с высокой подвижностью и концентрацией свободных носителей заряда при увеличении температуры.

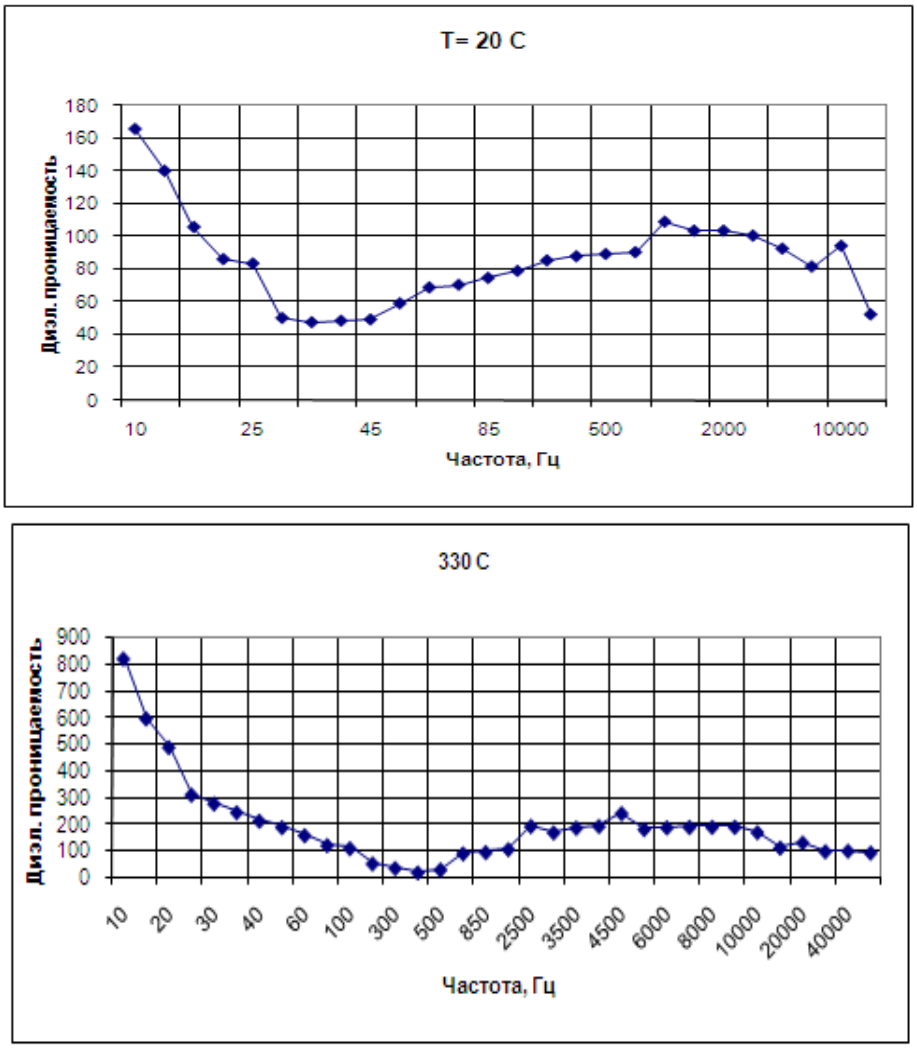


Рис. 2. Зависимости диэлектрической проницаемости от частоты для керамики состава 80 % (ZrO_2+3 % Y_2O_3) – 20 % Al_2O_3 при 20 и 330 оС

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевченко А.В., Рубан А.К., Дудник Е.В.. Высокотехнологическая керамика на основе диоксида циркония // Огнеупорная и техническая керамика. - 2000. - №9. – С. 2-8.

2. Кабышев А.В., Анненков Ю.М., Ивашутенко А.С., Власов И.В. Электрические свойства корундо-циркониевой керамики //Электромеханические преобразователи энергии: международная научно-техническая конференция – Томск. - 2005. - С. 381-383.

СИСТЕМА ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЗКИ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ 5-КООРДИНАТНЫХ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Бессараб А.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

На современных высокотехнологичных предприятиях занимающихся изготовлением деталей на станках с ЧПУ используют специальное программное обеспечение, которое можно условно назвать «виртуальный станок». Перед тем как отправить управляющую программу на «настоящий станок», можно её сначала проверить на «виртуальном станке», на котором средствами трехмерной графики визуализируется весь процесс срезания металла фрезой с заготовки. Подобная предварительная проверка позволяет оценить правильность траекторий движения инструмента, избежать недостаточное или лишнее снятие материала, экономить ресурсы за счет бесплатного «виртуального» материала, проводить замеры и предотвратить столкновения, способные привести к критическому ущербу станка [1].

Современным условиям производства соответствуют примерно следующие требования к системе: заготовка максимального размера 300x300x300 мм должна обрабатываться с точностью 5 микрон (0.005мм); поддержка настраиваемого режущего инструмента, поддержка командного управления.

В ходе исследования на примере 5-координатного фрезерного станка Fanuc-6M (рис. 1) составлены алгоритмы и программная реализация (рис. 2) с использованием инструментария: C++, MS Visual Studio, Direct3D, Qt (graphical user interface).

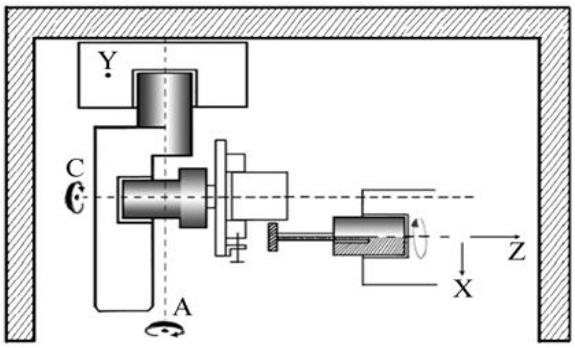


Рис. 1. Пятикоординатный станок Fanuc-6M

Все алгоритмы полностью авторские и разработаны в ходе длительного планирования "на бумаге". Сторонние алгоритмы и методы не используются.

Всё программное обеспечение также полностью разработано автором с использованием собственной системы 3d-визуализации (3d-engine).

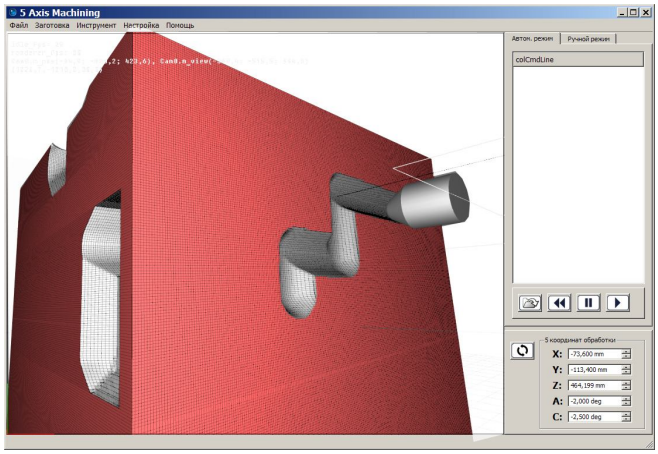


Рис. 2. Программная реализация

Заготовка

Если произвести простые расчеты, становится ясно, что для хранения заготовки размерами 300x300x300 мм с точностью обработки достигающей 5 микрон (0.005 мм), потребуются гигабайты информации. Необходима более эффективная модель данных обеспечивающая сжатие без потерь.

В данном случае удобно использовать так называемые карты высот. На рис. 3 показаны случаи использования карт высот подходящие для различных видов резки.

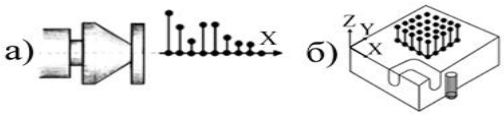


Рис. 3 Карты высот (а - одномерная карта высот для токарной обработки, б - двухмерная карта высот для 3-координатной обработки)

В данном исследовании для 5-координатной обработки (резка заготовки может происходить с любой стороны детали, под любым углом) в качестве решения разработана модель данных, условно обозначаемая в данной работе как «карта высотных отрезков» (рис. 4).

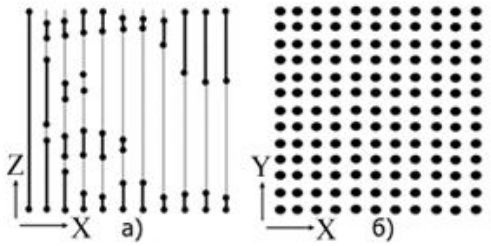


Рис. 4. Карта высотных отрезков для обработки на 5-координатном станке

Карта высотных отрезков напоминает собой двухмерную карту высот, однако в каждой ячейке (далее называемой высотой) хранится не одно значение высоты, а множество отрезков. Карта высотных отрезков обеспечивает очень эффективное сжатие без потерь информации.

Для осуществления оптимизации по скорости выполнения алгоритмов пространство заготовки разбивается на сектора (рис. 5). При обработке не попавшие в пересечение с фрезой секторы сразу исключаются.

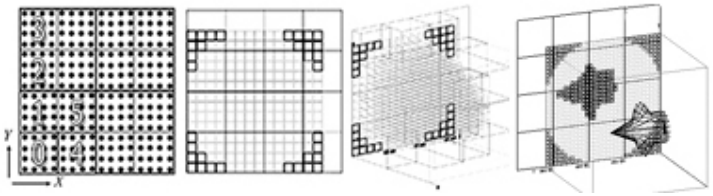


Рис. 5. Разбиение пространства заготовки на секторы (здесь в 1 сектор попадает 16 наборов высотных отрезков)

Режущий инструмент

Самым эффективным из исследуемых способов оказался способ представления режущего инструмента в виде тела вращения с образующей в виде ломаной линии. Режущий инструмент состоит из некоторого количества конических участков, формирующих контур в виде ломаной линии (рис. 6). Из конических участков формируются цилиндрические и эллиптические.



Рис.6. Общее представление режущего инструмента как множества цилиндрических и конических участков

Реализация поддержки режущего инструмента разного типа показана на рис. 7.

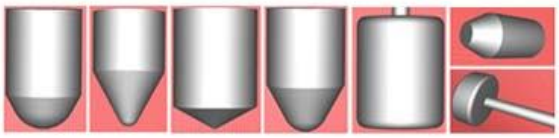


Рис. 7. Поддержка режущего инструмента разного типа

Резка

В системе используются достаточно сложные оптимизированные в плане скорости выполнения алгоритмы для нахождения пересечений и резки. По найденным точкам пересечения производится изменение структуры заготовки.

В алгоритмах резки для расчета пересечений (аналитическая геометрия) используются преобразования из одной системы координат в другую (линейная алгебра). Для этого подсчитываются специальные матрицы перехода.

Алгоритмам резки можно дать обобщенное описание. Сначала проверяется, в какие сектора заготовки попал режущий инструмент. При этом координаты режущего инструмента переводятся в локальную систему координат заготовки, производится нахождение пересечений фрезы с секторами.

Затем система переходит к вычитанию материала из объема заготовки. Из секторов, в которые попала фреза, координаты точек каждого высотного отрезка переводятся в локальную систему координат режущего инструмента, производится нахождение точек пересечения, отсечение отрезков попавших внутрь фрезы, и возврат(вставка) высотных отрезков, из которых удалена некоторая часть, обратно в локальную систему координат заготовки.

Визуализация

Для визуализации карта высот преобразуется в поверхность из треугольников. Реализация визуализации показана на рис. 8., рис. 9. На рис. 10 показана автоматическая резка на основе считывания и выполнения G-код программы.

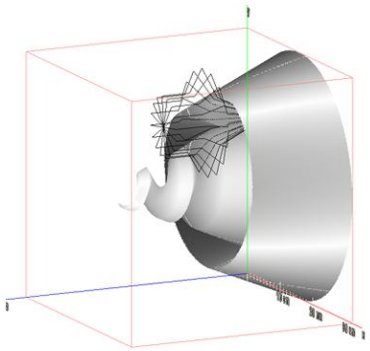


Рис.8. Визуализация карты высотных отрезков

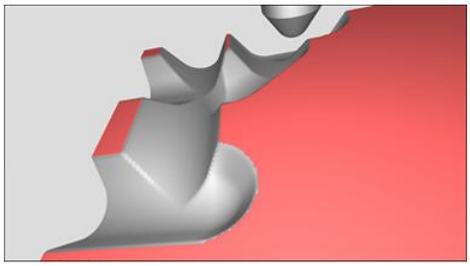


Рис. 9. Визуализация карты высотных отрезков



Рис.10. Автоматическое управление путем считывания и выполнения G-code программы

Заключение

В ходе исследования удалось реализовать основные требования поставленной задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ловыгин А. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система.- М.: Эльф ИПР, 2006. 440 с.

СПЕКАНИЕ ОКСИДНОЙ НАНОКЕРАМИКИ В МИКРОВОЛНОВОМ ПОЛЕ

Ивашутенко А.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Последние годы выявили прогресс в индустриальном использовании микроволновой энергии для проведения широкого класса термических процессов, включая синтез высокотемпературных материалов и структур. Использование микроволновой энергии для нагрева и обжига материалов позволяет:

- существенно сократить длительность термообработки и количество затрачиваемой энергии;
- качественно улучшить микроструктуру и создать изделия с уникальными свойствами;
- синтезировать новые материалы.

К спектру микроволн относят диапазон частот от 0,3 до 300 ГГц и соответствующие им длины волн от 1 м до 1 мм. Для создания микроволнового излучения в диапазоне частот от 0,3 до единиц ГГц, как правило, используются магнетроны. Свыше данного частотного диапазона СВЧ-излучение генерируется с помощью гиротронов [1]. Данное обстоятельство обусловлено тем, что разработка магнетронов на более высокие частоты требует больших финансовых вложений, в отличие от разработки гиротронов.

Создание микроволновых установок с высоким уровнем генерируемых частот (10 - 100 ГГц) обусловлено различными научными и практическими применениями. В частности, в керамической технологии, создание высокого уровня частот необходимо для спекания прозрачных для электромагнитных волн материалов, таких как, например, оксид алюминия, оксид кремния и др., имеющих низкий уровень поглощения микроволновой энергии [2].

В данной работе представлены результаты спекания пресс-образцов оксидной керамики состава ZrO2-Y2O3, полученных по методике двустороннего магнитно-импульсного компактирования [3], в микроволновом поле частотой 30 ГГц, генерируемое гиротроном.

Спекание образцов проводилось в научно-исследовательском центре в Карлсруэ (Германия) на микроволновой печи фирмы «Gycom» (Производство ИПФ СО РАН, Нижний Новгород). Общий вид установки представлен на рис.1.

Для проведения спекания порошковый компакт предварительно помещался в рабочую ячейку микроволновой печи на термопару (см. рис. 2). Параметры процесса спекания (скорость подъема температуры – 50 °С/мин., время выдержки – 10 мин.) задавались и контролировались автоматически. После спекания образцов проводилось измерение микротвердости образцов по Виккерсу.

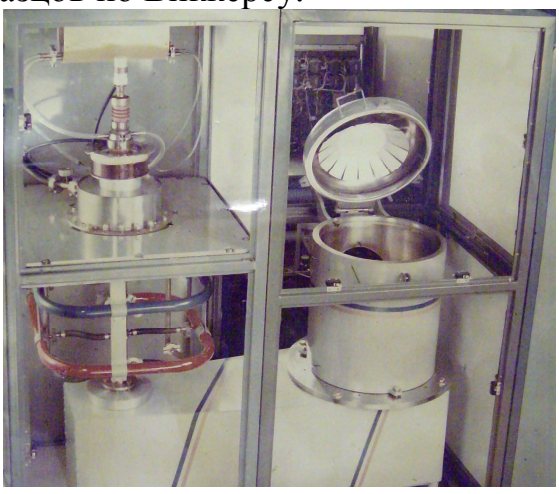


Рис. 1. Общий вид установки для микроволнового спекания

Параметры установки:

Частота, ГГц	–	30
Магнитное поле, Тл	–	0.56
Электронная пушка	–	триод
Мощность, кВ	–	15
Напряжение электронного луча, кВ	–	23
Ток пучка, А	–	2
Максимальная температура спекания	–	2500 °С

Установка позволяет проводить спекание материалов в среде защитных газов.

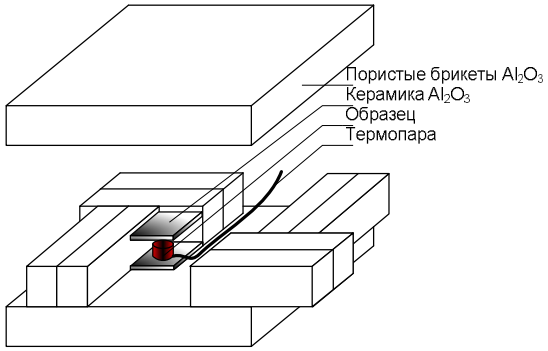


Рис. 2. Схема рабочей ячейки микроволновой печи

На рис. 3 изображены зависимости влияния температуры спекания и давления прессования на микротвердость циркониевой керамики. Сглаженными кривыми представлены экспериментальные данные, описанные полиномом 3-го порядка.

Как может быть отмечено, все зависимости имеют явно выраженный максимум, смещающийся при увеличении давления прессования в область более низких температур спекания. Снижение микротвердости при температурах спекания выше 1400°С, для всех образцов, обосновывается с позиции процесса растрескивания, за счет активного протекания рекристаллизационного роста кристаллических зерен. Смещение максимума, наблюдаемое на рис. 3 объясняется начальным уровнем плотности пресс-образцов. Так при давлениях 420 МПа, 870 МПа и 1200 МПа, плотность прессовок составляла, соответственно, 55%, 68% и 79%. Поэтому при спекании, удаление остаточной пористости у образцов с высокой начальной плотностью, происходит значительно быстро и при меньших температурах.

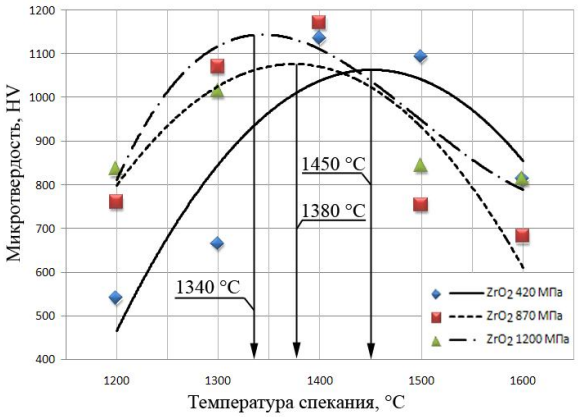


Рис. 3. Зависимость микротвердости циркониевой керамики от температуры спекания и давления прессования

Для подтверждения данного суждения были проведены электронно-микроскопические исследования структуры керамических образцов. Результат работы представлен на рис. 4.

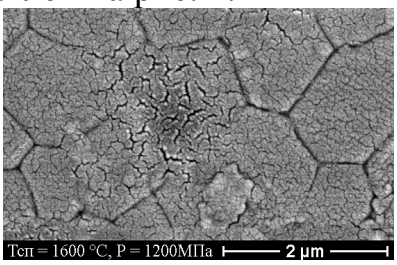


Рис. 4. Микрофотография керамики ZrO2 при Тсп = 1600 °C

Как видно из рис. 4. структура керамики имеет зерна со средним размером около 2 мкм и насыщена большим количеством микротрещин, носящих в основном трансзеренный характер (трещины проходят сквозь объем зерна).

Анализируя структуру керамики, спеченной при Тсп=1400 °C (рис. 5), было установлено, что средний размер зерна не превышает 300 нм, и при этом не наблюдается явление растрескивания.

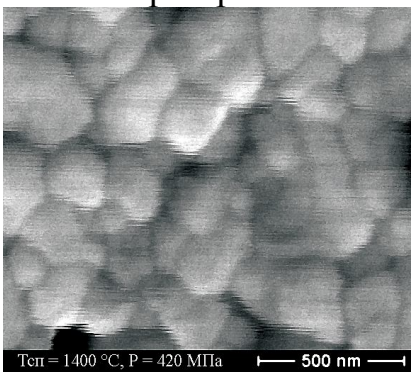


Рис. 5. Микрофотография циркониевой керамики при Тсп = 1400 °C

Таким образом, анализируя результаты, представленные в данной работе, можно заключить, что оптимальным режимом изготовления циркониевой нанокерамики является: получение компактов с плотностью на уровне 80% от теоретического значение с последующим спеканием в микроволновом поле при температуре ~ 1350˚С. При данной температуре спекания микротвердость керамики имеет максимальное значение, а структура материала находится в нанокристаллическом состоянии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chu K.R. The electron cyclotron maser // Reviews of modern physics, 2004, 76, p.490.

2. Суворов С.А., Туркин И.А., Принцев Л.Н., Смирнов А.В Микроволновый синтез материалов из порошков оксида алюминия // Огнеупоры и техническая керамика, №9, 2000, стр. 9-13.

3. Анненков Ю.М., Ивашутенко А.С., Сивков А.А. Эффективность различных методов прессования корундо-циркониевых порошков // Новые огнеупоры, №10, 2008 г, стр. 51-56.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ БРОНЗЫ НА ЕЁ СВОЙСТВА

Кузьмин К.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Многофазные свинцовистые бронзы используются в машиностроении для изготовления изделий с высокими антифрикционными и противозадирными свойствами, например, подшипников скольжения. Но в ряде случаев детали из таких материалов разрушаются вследствие недостаточно высокой прочности. Свинец практически не растворяется ни в одном из компонентов таких бронз и образует включения, значительно снижающие прочностные характеристики бронзы. На прочность бронз будет влиять не только количество свинца, но также форма и размер свинцовых включений, формирование которых определяется рядом технологических факторов (температурой заливки, скоростью охлаждения и др. /1,2/). Вопросы формообразования свинцовых включений в многокомпонентных бронзах и влиянии морфологии таких включений на механические свойства рассматриваются в работе 3. Из нее следует, что сферическая форма включений, получаемая при низких скоростях охлаждения, позволяет

получить наиболее высокие прочностные свойства. Однако в работе не рассматривается вопрос о влиянии такой формы свинцовых включений на триботехнические свойства отливок.

В данной работе изучалось влияние формы свинцовых включений получаемых при различных скоростях охлаждения на коэффициент многокомпонентной свинцовистой бронзы марки БрОСЦН-10-8-2-2. Исследуемая бронза выплавлялась в высокочастотной индукционной тигельной печи ВЧГ2-100/0,066 из технически чистых компонентов в тигле из силицированного графита. Состав шихты этой бронзы приведен в таблице 1.

Таблица 1.

Содержание элементов % масс

Марка бронзы	Содержание элементов, % масс					
	Pb	Cu	Zn	Ni	Sn	Раскислитель
БрОСЦН-10-8-2-2	8	77,5	2	2	10	0,5

Раскисление проводилось фосфористой медью перед закладкой свинца в расплав.

Температуру заливки составляла 1150°С и контролировалась быстродействующим оптическим пирометром ТПТ-90 с лазерным наведением.

Заливка проводилась в холодные графитовые формы при температуре 25°С после чего они охлаждались на воздухе (скорость охлаждения ~80 °/мин) и в горячие формы, нагретые до 800°С, которые охлаждались вместе с печью от 800°С (скорость охлаждения ~4 °/мин). Отливки представляли собой цилиндры с диаметром 17 мм и высотой 70 мм.

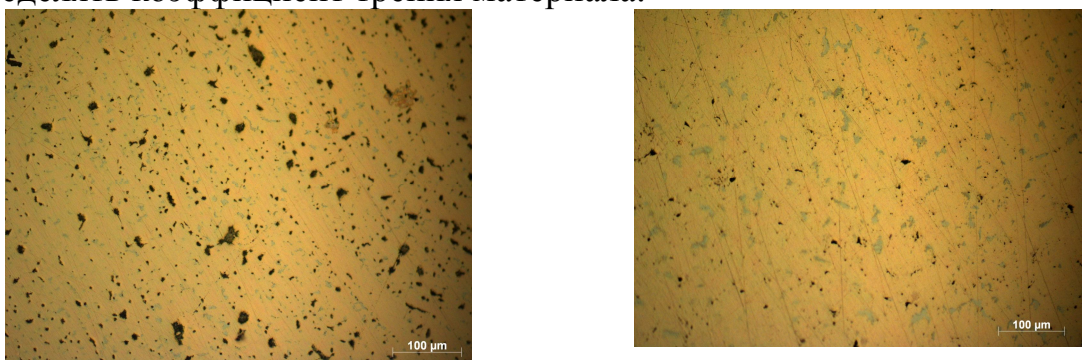
Микроструктура образцов изучалась на оптическом микроскопе ZEISS AXIO Observer.A1m со встроенной фотокамерой и ZEISS Axiovert 40 MAT, травления шлифов не проводилось. Количественные характеристики микроструктуры (процент структурных составляющих и их средний размер) определяли с помощью разработанной компьютерной программы /4/.

Исследования триботехнических свойств образцов проводилось на испытательной машине СМТ-1 проводились сравнительные испытания по схеме вал-колодка двух типов образцов с использованием смазки М8Г на

скорости 300 об/мин. Определялся коэффициент трения двух типов образцов из исследуемой бронзы. Одни полученные с высокой скоростью охлаждения и рваными мелкими включениями свинца, другие с низкой скоростью охлаждения и сферической формой свинцовых включений.

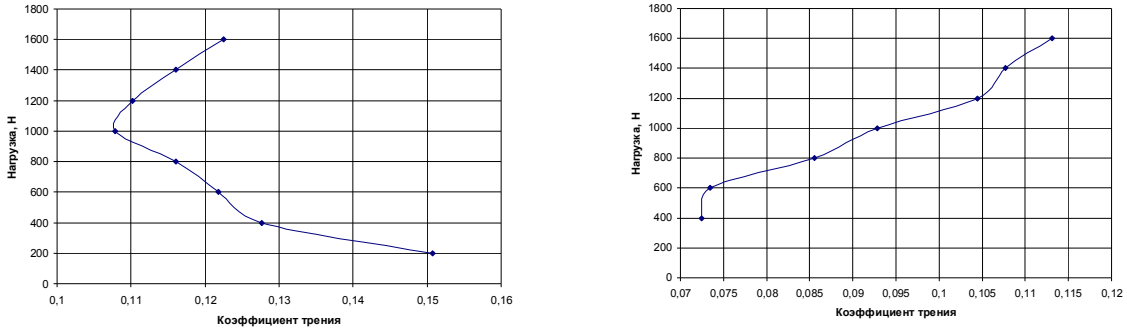
Проведенные металлографические исследования показали, что в результате изменения скоростей охлаждения формируется различная морфология включений легкоплавкой фазы в отливках в соответствии с данными изложенными в /3/. Высокая скорость охлаждения привела к образованию большого количества мелких разветвленных включений свинца с рваной межфазной поверхностью. Низкая скорость охлаждения отливок из бинарной свинцовистой бронзы привела к образованию в структуре сферообразных включений легкоплавкой фазы с гладкой межфазной поверхностью (см. рис. 1).

В процессе трения свинец будет выкрашиваться, образуя поры на поверхности трения. Эти пустоты будут играть роль масляных карманов, причем форма и размеры этих карманов будут в значительной мере определять коэффициент трения материала.



а б

Рис.1. Микроструктура многокомпонентной бронзы марки БрОСЦН-10-8-2-2 полученных: а – с низкой; б - с высокой скоростью охлаждения



а б

Рис.2 Результаты испытаний на трение образцов из бронзы марки БрОСЦН-10-8-2-2 полученных: а – с низкой; б - с высокой скоростью охлаждения

Проведенные триботехнические испытания (см. рис. 2) показали, что в диапазоне нагрузок от 20 до 200кг коэффициент трения образцов со сферической формой свинцовых включений на 30-50% выше, чем у аналогичных образцов, но с рваной хлопьевидной формой включений.

Так средний коэффициент трения при скорости вращения вала 300 об/мин. составил 0,082 для образцов с рваной формой включений и 0,122 для образцов со сферической формой включений.

Проведенные с помощью разработанной программы исследования морфологии свинцовых включений показывают что их средние размеры при низкой скорости охлаждения (~4 ºС/с) в 1,6 раз больше чем при высоких скоростях охлаждения (~80 ºС/с). Проведенные исследования на бинарных свинцовистых бронзах показывают, что сферическая форма масляных карманов более благоприятна для процесса трения. Смазка лучше удерживается в них, обеспечивая более низкий коэффициент трения. Но в данном случае коэффициент трения образцов полученных с более мелкими рваными включениями свинца ниже образцов со сферическими гладкими включениями. Это может объясняться наличием в быстро охлажденных образцах большего количества твердого электронного соединения (голубая фаза на рис. 2 а,б). Компьютерный расчет показал, что быстро охлажденные образцы, содержащие в структуре электронного соединения в 2 раза больше, в сравнении с медленно охлаждаемыми образцами.

В итоге по результатам исследований можно сделать вывод о том, что снижение скорости охлаждения многокомпонентных бронзы БрОСЦН-10-8-2-2 приводит к увеличению коэффициента трения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корчмит А.В., Егоров Ю.П. Влияние температуры заливки на структуру и свойства пятикомпонентной оловянистой бронзы, отлитой в литейные формы с разной теплопроводностью. / Сб.тр. IX Международной научно-практической конференции «Современная техника и технологии». Томск: STT, 2003.– С. 46–47.

2. Горшков И. Е. Литье слитков цветных металлов и сплавов : учебное пособие – М. : Металлургиздат, 1952. – 416 с.

3. Мартюшев Н.В., Петренко Ю.Н., Егоров Ю.П. Производство поршневых колец компрессоров высокого давления. // Литейное производство. – 2008 – №8 – с. 24-25.

4. Мартюшев Н.В., Егоров Ю.П., Утьев О.М. Компьютерный анализ структуры материалов. Сборник докладов. 8-я Международная научно-практическая конференция. Современная техника и технологии СТТ′′2002-ТПУ, 2002.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БАЛАНСИРОВКИ ЖИДКОСТНЫМ АВТОБАЛАНСИРУЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ

Пономарёв А.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

Известные автобалансирующие устройства (АБУ) достаточно эффективно уменьшают режимное изменение дисбаланса ротора. Однако такая результативность достигается за счет использования тяжелой жидкости (ртути) в качестве корректирующей массы [1]. При разработке машин и приборов стремятся избегать использования высокотоксичных веществ. Имеющиеся нетоксичные жидкости обладают плотностью не более 2 г/см3, поэтому использование их в качестве корректирующей массы в жидкостных АБУ, вместо ртути, ведет к снижению эффективности автоматической балансировки ротора [2]. Именно из-за недостаточной эффективности жидкостных АБУ, обусловленной малой плотностью жидкости, факторы, влияющие на точность балансировки, были слабо освещены. На кафедре ТПМ ТПУ было разработано устройство [3], позволяющее многократно повышать эффективность автоматической балансировки роторов с помощью жидкостных АБУ. В связи с этим возникла необходимость исследования различных факторов, которые влияют на точность балансировки.

Материал и методы исследования

В большинстве работ [3, 4], посвященных исследованию балансировки ротора жидкостными АБУ, используется модель, содержащая обойму, жестко закрепляемую на гибком валу полость в обойме частично заполняется жидкостью, т.е. обойма играет роль резервуара. В некоторых реальных машинах ротор жесткий, а корпус упруго связан с основанием. Динамику такой машины точнее описывает модель ротора, содержащая резервуар-обойму, закрепляемую на жестком валу, который имеет возможность вращения в подшипниках [5, 6]. Подшипники идеальные (без люфта) установлены в корпусе, который упруго связан с основанием.

Результаты исследования и их обсуждение

Покажем влияние различных факторов на точность балансировки - это необходимо для пояснения дальнейших исследований.

По первому варианту модели, при вращении ротора с постоянной частотой $\omega=const$ и сдвиг фаз $\gamma=0$ в зарезонансной области отражен на рис. 1. Вал ротора прогибается таким образом, что вся система: резервуар, жидкость – осуществляет вращение вокруг неподвижной оси z (в проекции

точка О2), проходящей через центры поперечных сечений цапф вала ротора. При этом свободная поверхность жидкости в обойме принимает форму параболоида вращения, который обычно [4, 5] апроксимируется цилиндром. Силы, действующие на резервуар, удовлетворяют уравнению, составленному по методу кинетостатики:

$$\sum \overline{F} = \overline{F}_{упр} + \overline{F}^{u}_{p} + \overline{F}^{u}_{ж} = 0$$

или в проекциях на ось x:

$$-F_{упр} + F^{u}_{p} + F^{u}_{ж} = 0, \qquad (1)$$

где: Fупр=cs – сила упругости гибкого невесомого вала в радиальном направлении;

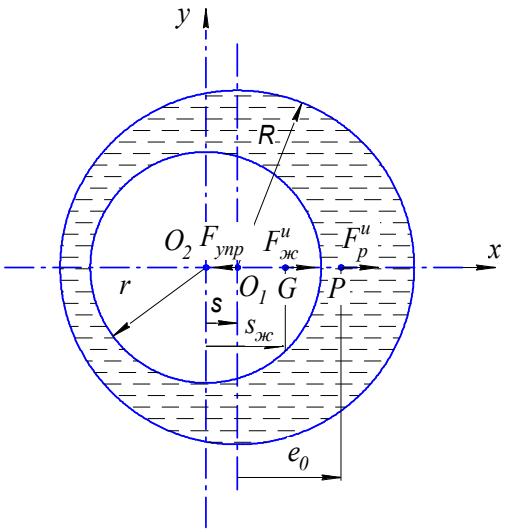


Рис. 1. Схема сил в жидкостном АБУ

$F^{u}_{p} = m\omega^2(s + e_0)$ – сила инерции ротора, приложенная к его центру масс (точка Р);

$F^{u}_{ж} = m\omega^2 s_{ж}$ – сила инерции жидкости, приложенная к ее центру масс;

c – радиальная жесткость вала в плоскости камеры;

s– прогиб вала в плоскости резервуара;

m – масса ротора с резервуаром;

e0 – начальный дисбаланс ротора;

$m_{ж} = \rho\pi h(R^2 - r^2)$ – масса жидкости;

$s_{ж} = s\frac{R^2}{(R^2 - r^2)}$ – расстояние от оси вращения ротора до центра масс жидкости;

ω – частота вращения ротора;

ρ, r – плотность жидкости и радиус ее свободной поверхности;

h, R – высота и радиус внутренней поверхности резервуара.

Из уравнения (1) получается известное выражение для прогиба вала ротора в плоскости коррекции [2], а так же выражению (4) при отсутствии внешнего трения $\chi=0$:

$$s = \frac{e_0 m\omega^2}{c-(m+\rho\pi hR^2)\omega^2}. \qquad (2)$$

Анализ этого уравнения показывает, что прогиб вала, а вместе с ним и динамические нагрузки в опорах ротора тем больше, чем начальный дисбаланс ротора; и чем ближе частота вращения ротора к резонансной частоте, определяемой выражением:

$$\omega_к = \sqrt{\frac{c}{m+\rho\pi hR^2}}. \qquad (3)$$

Отсюда видно, что резонансная частота зависит от радиальной жесткости вала, массы ротора и параметров жидкостного автобалансирующего устройства ρ, h, R.

Уравнения (2) и (3), критическая частота ωк и прогиб вала s не зависят от радиуса r2 свободной поверхности жидкости, от которого зависит значение объема жидкости в обойме, а соответственно и ее массы. Следовательно, жидкости в обойме должно быть столько, чтобы ее свободная поверхность не пересекалась с внутренней цилиндрической частью поверхности камеры, запишем это условие:

$$R - r \geq s. \qquad (4)$$

Это неравенство является условием достаточности жидкости. Получается парадоксальный результат масса жидкости в резервуаре, зависит от радиуса свободной поверхности жидкости, а прогиб вала s, как видно из выражения (2), от радиуса свободной поверхности жидкости не зависит при выполнении условия (4) достаточности жидкости. Следовательно, прогиб вала от массы жидкости не зависит при выполнении условия ее достаточности. Это может быть объяснено следующим образом. При выполнении условия (4) имеется часть жидкости, заключенная между свободной поверхностью жидкости и цилиндрической поверхностью, касающейся поверхности резервуара и имеющей ось, совпадающую с осью вращения ротора. Эта часть жидкости не участвует в процессе балансировки, так как ее центр масс совпадает с осью вращения ротора, и эта часть жидкости уравновешивает саму себя.

При невыполнении условия (4) свободная поверхность жидкости прерывается поверхностью резервуара. В этом случае прогиб s1 вала определяется уравнением:

$$s_1 = \frac{e_0 m\omega^2}{c-(m+k\rho\pi hR^2)\omega^2}. \qquad (5)$$

Это уравнение отличается от уравнения (2) наличием переводного коэффициента k , который при невыполнении условия достаточности жидкости находится в функциональной зависимости от массы жидкости. Точное выражение для этой зависимости довольно громоздко по форме. Это значение определяется формулой: $m_0 = 2s\rho\pi hR$. Таким образом, амплитуда колебаний ротора оказывается связанной с массой жидкости в камере, но только при выполнении условия достаточности жидкости.

Аналогично и критическая частота вращения ротора при невыполнении условия (4) оказывается в зависимости от массы жидкости в камере. Эта частота определяется выражением:

$$\omega_{к1} = \sqrt{\frac{c}{m + k\rho\pi hR^2}}. \qquad (6)$$

При приближении частоты вращения, ротора к критической, частоте, должно наблюдаться возрастание амплитуды колебаний ротора s.

Заключение

По полученным результатам можно сделать следующие выводы амплитуда колебаний на закритических частотах будет тем меньше, чем больше параметры жидкостного автобалансирующего устройства: высота и радиус внутренней поверхности резервуара, а так же $m_{ж}/m_0$ ть жидкости. Эффективность автоматической балансировки тем выше, чем больше параметры жидкостного АБУ. При выполнении условия достаточности жидкости в обойме, амплитуда колебаний ротора оказывается независимой от массы жидкости в резервуаре. Критическая частота вращения ротора не зависит от объема жидкости в обойме при выполнении условия ее достаточности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саруев Л.А., Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий. - 2010 - №. 6-3 (13) - С. 61-65.

2. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Исследование эффективности балансировки жидкостным автобалансирующими устройствами // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 1. – с. 2. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/107-7919

3. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Влияние эллипсности и эксцентриситета резервуара на точность автоматической балансировки // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 2. – с. 8. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/108-8472

4. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. Стационарное вращение неуравновешенного ротора, частично

заполненного жидкостью при действии сил внешнего трения // Современные проблемы науки и образования – 2012. – № 6. – с. 102. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/106-7825

5. Мартюшев Н.В. Расчет параметров структуры материалов с помощью программных средств // В мире научных открытий. - 2011 - №. 1 (13) - С. 77-82.

6. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. MATERIALS AND ENGINEERING SCIENCE (УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 2. – с. 126-127.

ВЛИЯНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ВИБРАЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ

Ангаткина О.О.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Помимо традиционно распространенных вибрационных механизмов, широко описанных в справочной литературе [1], на сегодняшний день все больший интерес представляют вибрационные устройства с точным управлением параметров вибраций.

В таких вибромеханизмах, возбудителем колебаний является кинематический генератор колебаний, и, как правило, приводной двигатель имеет жесткую обратную связь по текущему углу поворота генератора для точного управления частотой или текущей фазой колебаний. Нагрузка в таких устройствах осуществляется внешней средой специфически: посредством присоединенной массы, присоединенной упругости или незначительной вязкой нагрузки. Для уменьшения динамической составляющей, передаваемой от колебательного контура через кинематический генератор на привод, на вал двигателя устанавливают маховик с определенным моментом инерции.

В данной работе рассмотрен гидрообъемный вибромеханизм с кинематическим генератором колебаний, реализующим синусоидальную форму входного воздействия, и приводом, выполненном в виде гидромотора с объемной системой управления. Однако, несмотря на то, что, как колебательный контур вибромеханизма, так и привод, могут с достаточно высокой достоверностью быть описаны дифференциальными уравнениями второго порядка с постоянными коэффициентами, наличие кинематического генератора колебаний, связывающего контуры привода и

виброисточника в единую динамическую систему с «быстрым» взаимодействием, приводит к появлению особых автоколебательных режимов.

Такие режимы многократно наблюдались при испытаниях низкочастотных виброисточников сейсмических сигналов, эксплуатации накладных управляемых вибраторов для снятия остаточных напряжений в сварных конструкциях, а также при работе испытательных вибрационных стендов, выполненных по описанной выше схеме [2].

На рисунке 1 приведена обобщенная блок-схема системы.

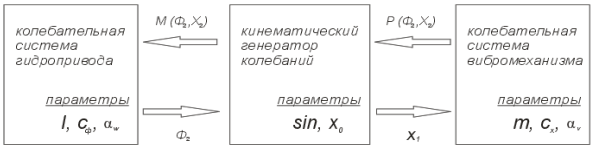


Рис. 1. Блок-схема вибрационного механизма

В данной системе контур двигателя включает момент инерции подвижных частей I, внутренние потери α_ω, упругость связей c_φ, обеспечиваемых жесткой обратной связью и системой объемного регулирования, а также нагрузку со стороны колебательной системы излучателя $M(\varphi_2, x_2)$, зависящей также от текущего фазового угла поворота вала двигателя φ_2.

Колебательный контур вибромеханизма включает массу платформы m, жесткость подвески c_x, а также внутренние потери совместно с внешней вязкой нагрузкой α_2, оцениваемой коэффициентом α_v.

Дифференциальные уравнения данной системы, представленные в виде удобном для моделирования:

$$\begin{aligned}
&\frac{d\omega_2}{dt} = \frac{1}{I}\cdot\left(c_\varphi\cdot\varphi_1 - \alpha_\omega\cdot\omega_2 - c_\varphi\cdot\varphi_2 - M(\varphi_2, x_2)\right),\\
&M(\varphi_2, x_2) = k_s\cdot x_0\cdot c_x\cdot\cos\varphi_2\cdot\left(x_0\cdot\sin\varphi_2 - x_2\right),\\
&\frac{d\varphi_2}{dt} = \omega_2,\\
&\frac{dv_2}{dt} = \frac{1}{m}\cdot\left(c_x\cdot x_0\cdot\sin\varphi_2 - \alpha_v\cdot v_2 - c_x\cdot x_2\right),\\
&\frac{dx_2}{dt} = v_2
\end{aligned} \qquad (1)$$

Структурная схема рассмотренного вибромеханизма (управляемый контур приводного двигателя – кинематический генератор колебаний – колебательный контур вибромеханизма) приведена на рисунке 2.

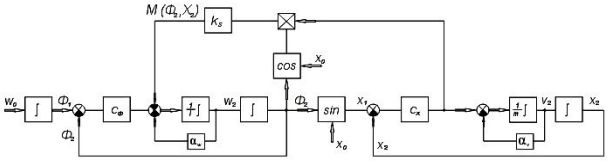


Рис. 2. Структурная схема системы

Из которой видно, каким образом приводной вал через генератор колебаний воздействует на контур колебательной системы вибромеханизма, и каким образом происходит обратное воздействие привода вибромеханизма на контур привода.

При приближенном решении системы уравнений (1) обычно предполагают, что в результате воздействия вибромеханизма на привод через генератор колебаний среднее значение угловой скорости управляемого двигателя ω_2, меняется в пределах периода колебаний незначительно, и как следствие этого, координатную зависимость момента нагрузки $M(\varphi_2, x_2)$ можно заменить на некоторую осредненную периодическую временную функцию.

Существующее усреднение при приближенном решении дает близкий к действительности результат тогда, когда привод по координате φ_2 астатический [3]. Однако в случае наличия у привода жесткой обратной связи по φ_2 осреднение угловой скорости и замена координатной связи $M(\varphi_2, x_2)$ временной зависимостью $M(\omega_2 \cdot t, x_2)$ приводит к ошибочному результату.

Конструктивное исполнение кинематического генератора колебаний наряду с амплитудным значением величины входного воздействия на контур формирует форму сигнала, в рассматриваемом нами случае это – для определения нагрузки на привод в зависимости от текущего угла поворота выходного вала привода.

Исследование рассматриваемой системы по уравнениям (1) в соответствии с приведенной структурной схемой, показало, что в за резонансной зоне контура вибромеханизма, даже при значительной вязкой нагрузке на подвижном звене и весьма малом коэффициенте связи ks взаимодействие этих контуров порождает интенсивный автоколебательный процесс.

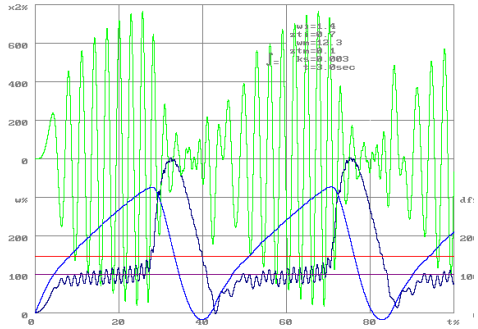


Рис.3. Автоколебания при минимальных потерях в контурах и связи ks

На рисунках 3,4 и 5 показаны результаты моделирования в виде временных зависимостей при разных значениях коэффициента связи и вязкой нагрузки вибромеханизма.

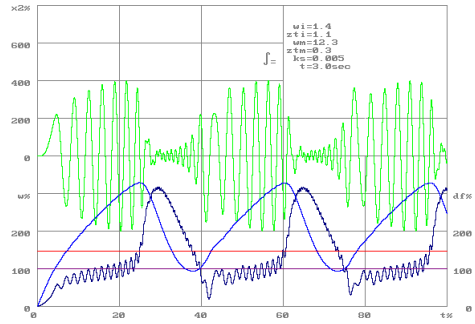


Рис. 4. Автоколебания при средних потерях и коэффициенте связи ks

Полученные результаты находятся в полном соответствии с данными исследований, полученных при испытании мощных низкочастотных гидрообъемных вибровозбудителей на полигонах для испытания сейсмических источников в СО РАН и в лаборатории гидроавтоматики ТПУ.

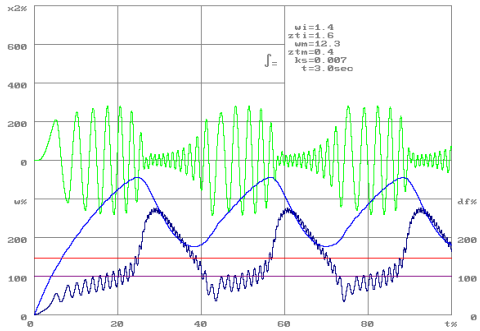


Рис.5. Автоколебания при больших потерях и коэффициенте связи ks

Также необходимо отметить, что данное устойчивое автоколебательное взаимодействие привода и колебательной системы, при наличии кинематического генератора колебаний и жесткой обратной связи в контуре привода можно использовать при создании устройств с интенсивным вибрационным воздействием на обрабатываемую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андронов А.А., Витт А.А, Хайкин С.Э. Теория колебаний. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981 – 568 с.

2. Крауньш П.Я. Динамика вибромеханизма на упругих оболочках с гидрообъемным приводом. Автореферат диссертации на соискание степени доктора технических наук, – Изд-во ТПУ, 1995 – 29 с.

3. Алифов А.А., Фролов К.В. Взаимодействие нелинейных колебательных систем с источниками энергии. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985 – 328 с.

ВЛИЯНИЕ «СУХОГО» ПОЛИРОВАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТВЁРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Бабаев А.С., Шаповалов К.Ю.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Подготовка рабочих поверхностей режущих инструментов перед нанесением износостойкого покрытия оказывает существенное влияние на его физико-механические характеристики [1]. В последнее время для этой цели дополнительно применяют «сухое» полирование инструментов, осуществляемое на полировальных установках фирмы MultiFinish (Германия). На силу сцепления покрытия с подложкой оказывает воздействие шероховатость, при этом увеличение площади взаимного контакта повышает адгезию покрытия. В настоящей статье приведены результаты исследования влияния «сухого» полирования на достигаемые параметры шероховатости твёрдосплавных образцов.

В исследовании в качестве инструментального материала использовали пластинки из однокарбидного твёрдого сплава ВК8 по ГОСТ 3882-74. Различную исходную шероховатость образцам задавали шлифованием алмазными кругами зернистостью 100/80 (группа I), 63/50 (группа II), 28/20 (группа III) и полированием алмазной пастой зернистостью 2/1 (группа IV) на войлоке.

Образцы каждой группы подвергали «сухому» полированию на установке модели MFD100 фирмы MultiFinish (рис. 1) в абразивной смеси, состоящей, по рекомендации фирмы, из 70% SiC зернистостью 0,8…1,3 мм и 30% гранул скорлупы грецкого ореха зернистостью 0,8…1,3 мм.

Контроль шероховатости образцов выполняли на оптическом интерферометре модели NewView 7300 фирмы Zygo (США). На каждом образце в трёх местах измеряли трёхмерный параметр шероховатости, который в соответствии с ISO/DIS 25178-2:2010 вычислялся по формуле [2]:

$$Sa = \frac{1}{MN} \sum_{k=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} \left| Z_{jk} \right|,$$

где M – количество точек на профиле, N – количество профилей в пределах измеряемого участка, Z – высотная координата точки. Обработку результатов измерений шероховатости выполняли с помощью программы MetroPro фирмы Zygo. Одним из важных достоинств трёхмерного измерения топографии поверхности является визуализация с помощью компьютера и вычисление новых значимых параметров, например, площади контакта, которые не представляется возможным оценить при традиционном подходе [3].

Работа по поиску оптимальных режимов «сухого» полирования твёрдосплавного инструмента выполнялась в следующей последовательности:

Исследовали влияние частоты вращения образцов при «сухом» полировании на шероховатость их поверхностей.

Условия эксперимента: частота вращения образцов n=20; 40; 60 мин-1, время полирования t=7 мин. Для каждого сочетания частоты вращения и исходной шероховатости брали по три образца из твёрдого сплава марки ВК8 (всего 27 образцов).



Рис. 1. Установка MFD100 фирмы MultiFinish, предназначенная для «сухого» полирования осевого режущего инструмента

Влияние частоты вращения образцов на интенсивность уменьшения шероховатости оценивали коэффициентом

$$K = \frac{Sa^{и} - Sa^{к}}{Sa^{и}} \cdot 100\%,$$

где Saи - исходная шероховатость образцов, мкм; Sак - конечная шероховатость образцов, мкм.

Исследование показало (табл.), что с увеличением частоты вращения образцов коэффициент интенсивности уменьшения шероховатости растёт. При этом, чем меньше исходная шероховатость, тем меньше коэффициент K, а при «сухой» полировке образцов из группы IV шероховатость наоборот увеличивается за счёт появления на поверхности борозд, оставленных частицами SiC, входящими в состав полировальной смеси.

Для повышения адгезионной прочности покрытия с подложкой последняя должна обладать наибольшей площадью контакта с покрытием. При исследовании трёхмерной текстуры поверхности установить повышение этой площади после «сухого» полирования можно за счёт изменения параметров по ISO 4287 1996, описывающих кривую

относительной опорной площади профиля так же известную под названием кривая Аббота-Файрстоуна (рис. 2) [3].

Таблица 1.

Влияние частоты вращения образцов на шероховатость их поверхностей (ВК8, t=7 мин)

n, мин-1	$\frac{Sa^{и}}{Sa^{к}}$ группа I	K, %	$\frac{Sa^{и}}{Sa^{к}}$ группа II	K, %	$\frac{Sa^{и}}{Sa^{к}}$ группа III	K,%
20	0,275 0,258	6	0,155 0,140	10	0,072 0,072	0
40	0,337 0,286	15	0,153 0,132	14	0,062 0,060	0
60	0,326 0,266	18	0,155 0,131	16	0,062 0,063	0

Например, параметр Mr1 указывает на значение уровня сечения вершин профиля в процентах от величины наибольшего выступа позволяет, а Rpk – среднее арифметическое значение высот вершин, расположенных выше выбранного уровня сечений профиля. При одновременном уменьшении величины параметра Rpk и уменьшении процентного значения Mr1 происходит повышение доли материала, приходящегося на участок выше средней линии профиля (впадины), что увеличивает фактическую площадь контакта поверхности подложки с покрытием.

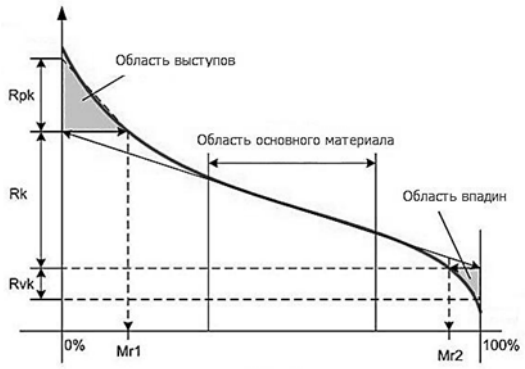


Рис. 2. Кривая относительной опорной площади профиля по ISO 4287 1996

В указанном эксперименте уменьшение параметра Mr1 происходит в пределах 2…8%, а параметра Rpk – 13…25%, что при нанесении износостойкого покрытия будет положительно сказывать на адгезионной прочности, особенно при работе в тяжёлых условиях.

Исследовали влияние времени «сухого» полирования на шероховатость образцов.

В предыдущем эксперименте получено оптимальное значение числа оборотов при «сухом» полировании (n=40 мин-1), при котором происходит достаточное снижение шероховатости. Так же на этой частоте вращения установка в меньшей степени, чем на более высоких оборотах вращения, подвержена вибрациям, возникающим за счёт высокой угловой скорости и смещения центра масс при вертикальном закреплении инструмента. Поэтому в данном эксперименте принимаем следующие режимы: частота вращения образцов n=40 мин-1, время полирования t=0; 2; 4; 6; 8; 12 мин. Для каждого значения исходной шероховатости брали по 3 образца из твёрдого сплава марки ВК8 (всего 12 образцов) и последовательно их подвергали «сухому» полированию.

Было установлено (рис. 3), что экспериментальные зависимости сглаживания рельефа микронеровностей поверхностей образцов от времени процесса носят немонотонный характер. Целесообразно ограничивать время «сухого» полирования в интервале от 4 до 8 минут, т.к. большая длительность процесса полировки не даёт ощутимых результатов. Кроме того, чем ниже исходная шероховатость, тем менее заметен результат применения «сухого» полирования.

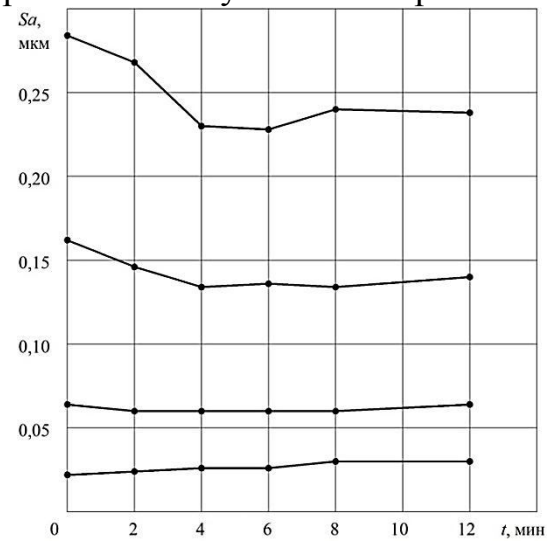


Рис. 3. Влияние времени t «сухого» полирования на шероховатость образцов (ВК8, n=40 мин-1)

Исследовали влияние содержания

(%, мас.) кобальта в твёрдом сплаве на шероховатость образцов.

Условия эксперимента: частота вращения образцов n=40 мин-1, время полирования t=7 мин. Для четырёх значений исходной шероховатости брали по 3 образца трёх марок твёрдых сплавов: ВК3-3% Со, ВК8-8% Со, ВК15-15% Со (всего 36 образцов).

Измерение шероховатости показали (рис. 4), что с увеличением содержания кобальта процесс изменения микрорельефа при «сухом»

полировании происходит интенсивнее, что объясняется меньшей твёрдостью HRA твёрдого сплава. При этом поверхность образцов имеющих низкую исходную шероховатость ($Sa^{и} \leq 0{,}05$ мкм) становится заметно грубее. Происходит это в связи с тем, что острые кромки зёрен SiC царапают полированную (группа IV) поверхность твёрдого сплава.

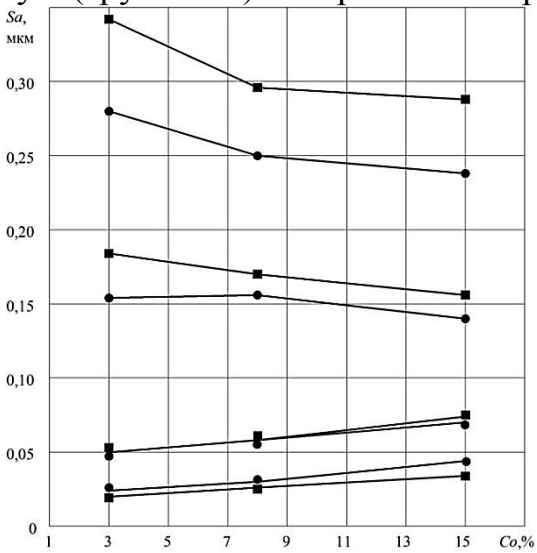


Рис. 4. Влияние содержания кобальта (%, мас.) на шероховатость образцов: ■– исходная шероховатость; ●– шероховатость после «сухого» полирования (n=40 мин-1 и t=7 мин)

Выводы:

«сухое» полирование заметно снижает шероховатость поверхностей образцов;

установленные зависимости позволяют обоснованно подходить к выбору режимов «сухого» полирования твёрдосплавного инструмента;

«сухое» полирование влияет на площадь опорной поверхности профиля, что позволяет ожидать в результате «сухой» полировки повышения адгезионной прочности после нанесения покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наноструктурные покрытия. Под. Ред. А.Кавалейро, Д. де Хоссона. – М.: Техносфера, 2011. – 752с.

2. Р. Лич Инженерные основы измерений нанометровой точности: Учебное издание. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. – 400с.

3. Д. Уайтхауз Метрология поверхностей. Принципы, промышленные методы и приборы. – М.: Издательский Дом «Интеллект», 2009. – 472с.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЗАЩИТЫ ЗОНЫ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Чинахов Д.А., Зуев А.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Сварка и родственные технологии продолжают активно и всесторонне развиваться. Создаются теоретические и технологические предпосылки изготовления новых изделий в традиционных областях сварочного производства, а также освоение других сфер применения, которые раньше считались «экзотическими».

Конечным продуктом сварочного производства является сварная конструкция. Создание надежных и долговечных конструкций, работающих в различных условиях эксплуатации, остается важнейшей научно-технической задачей.

Не исключено, что в будущем, благодаря успехам в различных областях сварки, будут созданы новые способы соединения металлов и сплавов. Продолжаются поиски более совершенных способов и средств защиты расплавленного металла от влияния окружающей среды, новых средств и способов управления формированием сварных соединений. Это требует развития теоретических основ взаимодействия жидкого металла капли и сварочной ванны с окружающей защитной средой. Необходимо развивать представления о процессе образования сварного соединения, изучать газодинамику в зоне сварки и гидродинамику сварочной ванны с учетом множества внешних и внутренних факторов.

Одной из основных задач в теории сварочных процессов становится разработка полноценной математической модели сварки плавящимся электродом в среде защитных газов, которая будет учитывать все многообразие явлений процесса сварки. Увеличение номенклатуры материалов и областей их применения, повышение требований к прочности и долговечности соединений требует существенного углубления знаний в этой сфере и углубления исследований, в том числе дальнейшего совершенствования подходов к конструированию узлов и соединений, к учету особенностей их работы при различных условиях нагружения.

Современные способы сварки и применяемые сварочные материалы обеспечивают получение сварного шва с близкими к основному металлу химическим составом и механическими свойствами. Однако при сварке имеется ряд факторов, таких как условия выполнения сварочных работ, качество сварочных материалов, защита зоны сварки, термомеханическое воздействие, геометрическая форма соединений и другие. Не

значительное внимание к ним может привести к снижению качества сварных конструкций.

Интенсивное развитие сварки плавлением объясняется ее преимуществами по сравнению с другими способами сварки: высокая степень концентрации нагрева изделия, позволяющая значительно уменьшить зону термического влияния и коробление изделия после сварки; высокая производительность; возможность получения высококачественных соединений из сталей различных марок и толщин при различной конфигурации швов и различном расположении их в пространстве; широкая возможность механизации и автоматизации процесса [1].

При сварке штучными плавящимися электродами с покрытием образуется сварочная ванна, заполненная расплавленным металлом, представляющая собой интенсивно перемешивающиеся смеси расплавленного метала изделия с металлом электрода. Малая окислительная способность электродных покрытий обеспечивает высокий коэффициент перехода легирующих элементов. В покрытие можно вводить их в необходимом количестве, что обеспечивает высокие механические и специальные свойства (коррозионную стойкость, теплостойкость, жаропрочность, хладостойкость, износостойкость и другие). Защита от атмосферы осуществляется газами, которые образуются при разрушении порошкового покрытия. Расплавленный шлак вытесняется на поверхность сварочной ванны, где он защищает сварной шов от воздействия атмосферы до завершения процесса кристаллизации.

При сварке под флюсом дуга утоплена в массе флюса и горит в жидкой среде расплавленного флюса, в газовом пузыре, образуемом газами и парами, непрерывно создаваемыми дугой. Заключенная дуга в газовом пузыре со стенками из жидкого флюса снижает потери металла на угар и разбрызгивание. Сварные швы получаются равномерными с высоким качеством за счет надежной защиты расплавленного металла от взаимодействия с воздухом, его металлургической обработки и легирования расплавленным шлаком. Наличие шлака на поверхности шва уменьшает скорость кристаллизации металла сварочной ванны и скорость охлаждения металла шва, что приводит к увеличению ЗТВ [2].

При дуговой сварке плавящимся электродом в среде защитных газов применяют следующие способы газовой защиты: струйную местную защиту, общую защиту в камерах и двухструйную газовую защиту. По виду защитных газовых сред применяют инертные газы (аргон, гелий), активные газы (азот и со2) и их смеси. Свойства защитных газов оказывают, большое влияние на технологические свойства дуги и геометрию сварных швов. При сварке в со2 обеспечивается хорошее

проплавление свариваемых изделий и высокая производительность процесса. Однако для раскисления кислорода, образующегося во время диссоциации со2, необходимо использовать проволоку с повышенным содержанием элементов раскислителей кремния и марганца. Это затрудняет прогнозирование свойств сварных соединений.

Сварка в инертных газах характеризуется стабильностью горения дуги. В инертных газах гелий по сравнению с аргоном имеет более высокий потенциал ионизации и большую теплопроводность при высоких температурах (плазма). Поэтому дуга в гелии более "мягкая". При равных условиях дуга в гелии имеет более высокое напряжение, а образующийся шов имеет меньшую глубину проплавления и большую ширину ЗТВ [1].

Струйная защита относится к наиболее распространенному способу местной защиты при сварке плавящимся электродом. Скорость кристаллизация металла шва может управляться расходом защитного газа и расстоянием от среза сопла до поверхности свариваемого металла [1]. При сварке со струйной защитой обеспечивается защита только зоны расплавления. При этом возможен подсос воздуха в реакционную зону сварки, что ухудшает свойства сварного шва. Для улучшения защиты в ряде случаев, особенно при сварке активных металлов, применяют местные камеры. Общая защита в герметичных камерах обеспечивает наиболее высокую степень защиты металла от атмосферы в процессе сварки. Это необходимо при сварке особо активных металлов и сплавов (например, титана, циркония, молибдена, тантала, ниобия и сплавов на их основе).

С помощью газовой среды можно регулировать температуру сварочной дуги за счет понижение или увеличения электропроводимости составов смеси газов и подачи их в зону сварки. Вследствие этого можно управлять тепловложением в сварное соединение. Для изменения характеристик процесса сварки в защитных газах разработаны и применяются различные схемы его ведения: введение в дуговой промежуток активных веществ; изменение давления и состава газа; наложение на электрод, дугу или сварочную ванну магнитных полей разной конфигурации. Управление процессами в зоне сварки обеспечивает получение требуемых свойств сварных соединений [1, 3, 4].

При сварке плавящимся электродом дуга горит между изделием и непрерывно подающейся расплавленной электродной проволокой (ЭП). Расплавленный металл ЭП в виде жидких капель различных размеров переходит в сварочную ванну и участвует в формировании шва. Изменение условий защитной среды приводит к изменению напряжения на дуге, что оказывает влияние на химический состав и механические

свойства металла шва. Увеличение напряжения на дуге приводит к интенсивному выгоранию кремния и марганца [1, 2, 5, 6].

При сварке в защитных газах на каплю электродного металла действуют следующие основные силы: сила тяжести FT; сила поверхностного натяжения FП.Н; электродинамическая сила FЭД; реактивное давление испаряющегося с поверхности капли металла и выделения газа FP; сила давления потоков плазмы и бомбардировки заряженными частицами FП. Помимо этих сил, в ряде случаев, оказывает существенное влияние сила действия струи защитного газа [1, 6].

Размер капель электродного металла зависит от состава металла и защитного газа, направления и величины тока. С увеличением сварочного тока растет электродинамическая сила, а размер капель расплавленного металла уменьшается. Когда ток сварки достигает критического состояния капельный перенос металла переходит в струйный.

На величину критического тока оказывает влияние поверхностное натяжение металла. Эти две величины находятся в прямой зависимости: чем больше поверхностное натяжение металла, тем больше критический ток и наоборот [1, 2]. Изменять критический ток можно, составляя различные газовые смеси. При добавлении к основному газу азота или водорода критический ток повышается, а добавление кислорода снижает его значение.

В ЮТИ ТПУ разработан способ сварки с двухструйной газовой защитой [7, 8], который обеспечивает жесткость внутренней струи подаваемого газа (рис. 1), защиту околошовного металла, снижает завихрение в околошовной зоне и исключает подсос воздуха в зону сварки. Управление газодинамическим давлением внутренней струи защитного газа позволяет воздействовать на жидкий металл капли и сварочной ванны, приводит к интенсивному перемешиванию расплавленного электродного металла с основным, увеличивает скорость охлаждения и сокращается время пребывания металла шва и ЗТВ в области высоких температур. Внешняя кольцевая струя обеспечивает надежную защиту зоны сварки от влияния атмосферы



а) б)

Рис. 1. Сварка в защитном газе: а) одноструйная газовая защита; б) двухструйная газовая защита

У всех способов сварки плавящимся электродом в среде защитных газов есть свои достоинства и недостатки. Управление эксплуатационными свойствами сварных соединений зависит от выбора способа и режимов сварки, позволяющие получать сварное соединение с требуемыми механическими и специальными свойствами. Однако универсальный способ сварки, обеспечивающий 100% равнопрочность и качество соединений с учетом разных внешних условий ведения процесса, еще не разработан.

Разработанный в ЮТИ ТПУ способ сварки с двухструйной газовой защитой обеспечивает направленный перенос капель электродного металла в сварочную ванну и увеличивает частоту их переноса, стабильность горения дуги и качества получаемых сварных соединений. Обеспечивает жесткость внутренней струи подаваемого газа и снижает завихрение в около шовной зоне, что особенно важно при сварке в полевых условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. – М.: Машиностроение. – 1974. – 240 с.

2. Геворкян В.Г. Основы сварочного дела: Учеб. для техникумов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк. – 1991. – 239с.

3. Елагин А.В., Наумов В.Г. Сварка в среде защитных газов. – 2-е изд. доп. – М.: Стройиздат. – 1971. – 192 с.

4. Котвицкий А.Д. Сварка в среде защитных газах. – М.: Высш. школа. – 1974. – 222 с.

5. Гребенчук В.Г., Карасев М.В., Работинский Д.Н., Карасева С.М., Розерт Р. Влияние режимов механизированной сварки металлопорошковой проволокой poVVER BRIDGE 60M на свойства наплавленного металла при сварке мостовых конструкций // Сварка и диагностика – 2009, № 1. – С. 19-24.

6. Чинахов Д.А. Роль газодинамического воздействия струи защитного газа на процессы сварки плавящимся электродом: монография / Д.А. Чинахов; Юргинский технологический институт. − Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. − 151 с.

7. Чинахов Д.А., Федько В.Т., Сараев Ю.Н. Способ сварки: Патента на изобретение № 2233211 (РФ). Приоритет от 27.05.2003. 7 В 23 К 9/173//В 23 К 103:04. Опубл. 27.07.2004. Бюл. № 21.

8. Чинахов Д.А. Влияние режимов сварки плавлением на структуру и свойства соединений из легированных сталей: монография / Д.А. Чинахов. Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 114 с.

СВЕРХГЛУБОКОЕ ПРОНИКАНИЕ МИКРОЧАСТИЦ В ТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СТРУЕЙ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЫ

Цыбина А.С., Герасимов Д.Ю.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В экспериментах по нанесению композиционного покрытия состава титан+карбид титана (Ti+TiC) на стальную подложку с помощью коаксиального магнитоплазменного ускорителя [1, 2] получен эффект, аналогичный так называемому «сверхглубокому проникании» микрочастиц [3-6]. Состав композиционного материала формировался в процессе работы ускорителя за счет плазменно-эрозионной наработки титана с поверхности титановых электродов и динамического синтеза карбида титана, углерод для которого закладывается в виде графитового порошка в зону инициирования дугового разряда. При диаметре цилиндрического ускорительного канала 13 мм и длине ствола 280 мм головная часть плазменной структуры сильноточного разряда типа Z-пинч ускорялась нарастающим до 150 кА током за время 170 мкс до скорости ~3,3 км/с. Стальная мишень-подложка толщиной 10 мм и диаметром 120 мм устанавливалась на расстоянии 400 мм от среза ствола. Эксперименты проводились в атмосферных условиях. На поверхности стальной подложки получено композиционное покрытие толщиной до 1,0 мм состава Ti+TiC в соотношении 1:2, согласно результатам рентгенофазового анализа (дифрактометр ДРОН-3,0, Cuk(α) - излучение). На рис. 1 представлена микрофотография, полученная на растровом электронном микроскопе Jeol-840, не травленого шлифа вертикального среза стального образца с покрытием. В работах [3-6] утверждается, что аномальный эффект сверхглубокого проникания возможен лишь в некотором узком диапазоне условий взрывного метания и размеров частиц 10÷100мкм. При сравнимых скоростях встречи потока, созданного электромагнитным ускорителем, со стальной подложкой, на шлифе ее вертикального среза (рис. 1) наблюдаются многочисленные треки с поперечным размером менее 10 мкм. Размер проникающих частиц может быть порядка 1÷5 мкм. Прямолинейность треков сохраняется на глубину до ~ 50 мкм (рис. 1), а далее их траектории становятся извилистыми, и на фотографии видны лишь фрагменты, пересечения с плоскостью среза, которые укладываются в «дорожки» и обнаруживаются на глубине до ~ 350мкм. На такой же глубине установлено присутствие титана методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (приставка Link к микроскопу Joel-840).

Косвенное подтверждение сверхглубокому проникании получено при исследовании микротвердости стали на том же срезе подложки, которая в поверхностном слое глубиной до 350 мм в среднем равна 2100 Мпа, что примерно на 25% выше средней величины материала потока на два порядка больше их предполагаемых размеров, что дает основание для отнесения наблюдаемого эффекта к «сверхглубокому проникании».

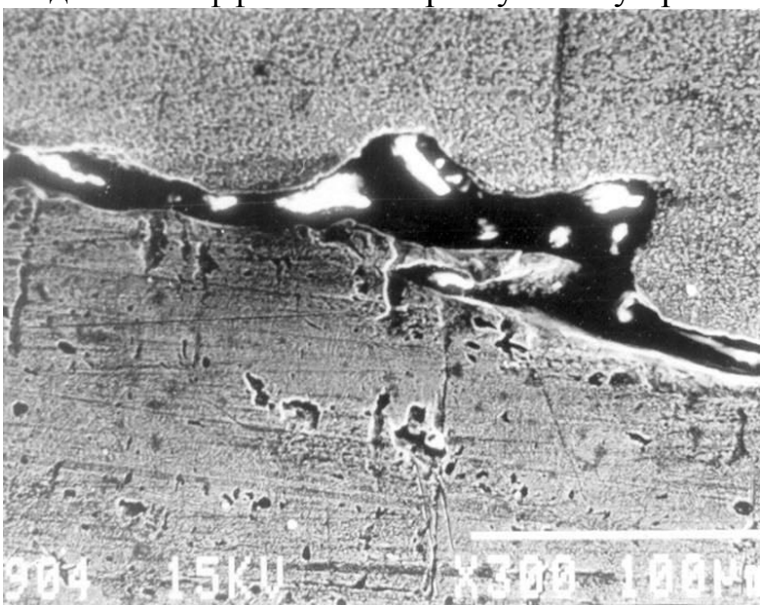


Рис.1. Растровая микрофотография не травленого шлифа вертикального среза стального образца (нижняя область) с композиционным покрытием Ti-TiC (верхняя область). Увеличение х200

Полученные в работе результаты согласуются с известными в основном условии возникновения эффекта: необходимо воздействие на подложку высокоскоростного (~ 2,0 км/с), высокоплотного (более 1,0 г/см3) и длительного (порядка 10-4 с) потока. Однако в рассматриваемых условиях полного схлопывания треков не наблюдается, а имеет место лишь затягивание их входных отверстий и некоторое увеличение поперечного размера с заглублением. Кроме того, в отдельных случаях можно заметить разветвление треков. Следует отметить, что на фотографии рис. 1 средняя темная зона, вероятно, является сколом твердой и хрупкой композиции Ti+TiC. Избежать этого методического дефекта удалось при более тщательном приготовлении шлифа. Тот же образец был повторно отшлифован, отполирован и протравлен 5%-м раствором HNO3+C2H5OH. Электронноскопическое исследование вновь полученного шлифа дало новые интересные результаты: по всей сохраненной границе покрытие-подложка обнаружены достаточно равномерно расположенные зубцеобразные дефекты. На фотографии рис. 2 представлены их изображения при 6500-кратном увеличении. Несомненно,

что на фотографии зафиксированы незавершенные кумулятивные процессы. Отчетливо видны недосхлопнувшиеся кумулятивные выемки с затвердевшими остатками кумулятивных струй и, напротив, каверны или входные отверстия их внедрения. В правой части фотографии рис. 2 можно отследить темную траекторию глубокого внедрения струи. Геометрия зафиксированных фрагментов полностью соответствует классическим представлениям теории кумуляции [7]. Объяснение возникновения кумулятивных эффектов оказывается совершенно естественным и даже очевидным. Фронт набегающего на поверхность подложки потока не является, и не может быть абсолютно плоским. Он имеет свой рельеф, состоящий из выпуклостей и впадин-выемок. Когда такая впадина подходит к плоской поверхности преграды и опирается на нее своими кромками, то возникает классическая конфигурация кумулятивной системы. Схлопывание впадины-выемки и формирование кумулятивной струи из материала поверхностного слоя стенки выемки обеспечивается набеганием на нее вещества с массовой скоростью близкой к скорости потока. Плотность вещества в кумулятивной струе и ее скорость значительно превышают параметры в исходном потоке.

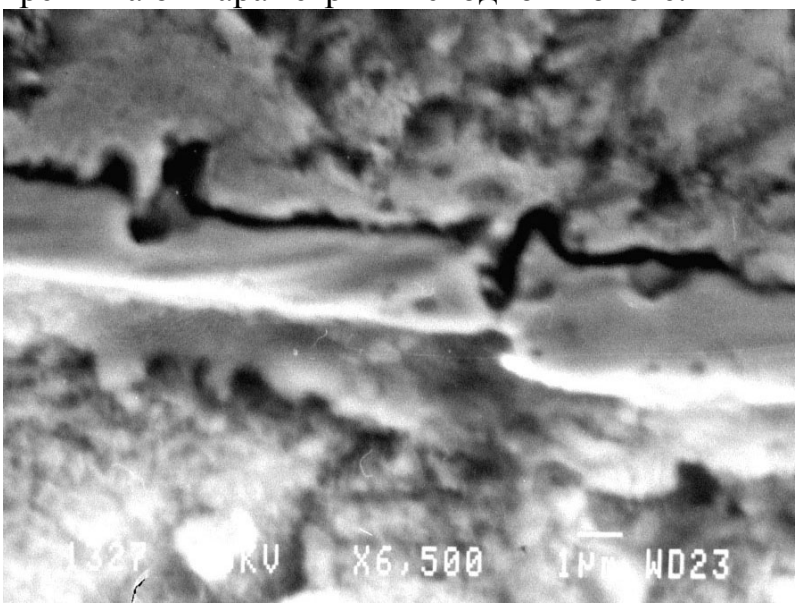


Рис.2. Микрофотография травленого шлифа при увеличении х6500 с зафикси- рованными в застывшем покрытии недозавершенными кумулятивными процессами

В соответствии с гидродинамической теорией [7] глубина проникновения струи L в преграду определяется формулой Лаврентьева:

$$L = \ell\sqrt{\rho_1/\rho_2}; \quad (1)$$

где: ℓ - эффективная длина кумулятивной струи; ρ1 и ρ2 – соответственно плотности материалов струи и преграды.

Длина струи может до 3 раз превышать длину образующей кумулятивной выемки. Элементарная оценка по гидродинамической модели показывает, что проникание струи по прямолинейной траектории на глубину ~ 50 мкм возможно при диаметре основания полусферической выемки 20÷30 мкм и поперечном размере струи порядка 1 мкм. Дальнейшее проникание по криволинейной траектории на глубину до ~ 350мкм может быть объяснено с учетом упругого взаимодействия, движением струи по опережающим микротрещинам и межзеренным границам микроструктуры стали. Возможность такого механизма проникания твердых частиц обоснована в [8, 9] и подтверждается результатами данной работы – наблюдаемым сильным изменением микроструктуры стали, выраженном в дроблении зерен и разрыве границ между ними, до глубины ~ 350 мкм.

Проявление кумулятивного механизма проникания возможно и при организации высокоскоростного и плотного потока твердых микрочастиц с помощью взрывных кумулятивных ускорителей, используемых в экспериментах в [3-6]. Важным аргументом в пользу этого предположения следует считать результаты численного расчета параметров потока частиц, приведенные в [10], согласно которым геометрическое очертание фронтальной части области потока с максимальной плотностью (~ 4,0 г/см3) имеет форму кумулятивной выемки. Высказанное в настоящей работе предположение основано на экспериментальных наблюдениях, однако, требует проведения дополнительных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 2150652 РФ. Коаксиальный ускоритель Сивкова. Сивков А.А., 7F41B 6/00. Опубл. 10.06.2000. Бюл. № 16.

2. Сивков А.А.//ПМТФ. 2001. Т. 42. № 1. С. 3-12.

3. Козорезов К.И., Максименко В.Н., Ушеренко С.М.// Избранные вопросы современной механики. М.: Изд-во МГУ. 1981. Ч. 1. С. 114-119.

4. Козорезов А.К., Козорезок К.И., Миркин Л.И.// ФХОМ. 1990. № 2. С. 51-55.

5. Козорезов К.И., Миркин Л.И.// Там же. 1999. № 3. С. 75-78.

6. Козорезов К.И., Миркин Л.И.// Там же. 2000. № 1. С. 77-80.

7. Физика взрыва./ Под ред. К.П.Станюковича. М.: “Наука”. 1975.

8. Григорян С.С.// ДАН СССР. 1987. Т. 292. № 6. С. 1319-1323.

9. Черный Г.Г.// Там же. С. 1324-1328.

10. Андилевко С.К., Романов Г.С., Ушеренко С.М.// ИФЖ. 1991. Т. 61. № 1. С. 46-51.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ КОМПАКТИРОВАНИЯ ОКСИДНЫХ ПОРОШКОВ

Аппельт Э.Э.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Компактирование является одной из главных технологических операций, обеспечивающих получение высококачественной керамики. Для создания высокоплотной функциональной керамики, характеризуемой уникальными свойствами, необходимо на стадии прессования добиться плотности компакта, составляющей 70…90 % от плотности беспористой структуры [1]. Другими словами, пористость прессовки не должна превышать 10…30 %. Это условие трудно выполнить традиционными способами формования порошков (шликерное литье, экструзия, статические виды прессования). Поэтому для решения поставленной задачи необходимо применение новых способов консолидации порошков, к которым, в первую очередь, следует отнести импульсное компактирование.

В данной статье излагаются результаты изучения эффективности различных способов прессования ультрадисперсных оксидных порошков. Сравнивались порошковые компакты, полученные статическими и динамическими методами прессования. В качестве нетрадиционного метода консолидации порошков рассматривается одно- и двустороннее магнитно-импульсное прессование.

Компактированию подвергался ультрадисперсный порошок (УДП) оксида алюминия, полученный с помощью плазмохимического синтеза, со средним размером кристаллитов 20…30 нм.

В работе исследовались следующие способы прессования:

1) Одноосное прессование в одностороннем режиме. Изучалось влияние давления в интервале от 100 до 700 МПа на эффективность прессования порошка;

2) Магнитно-импульсное (МИ) компактирование в одностороннем и двухстороннем режимах.

Сравнение различных способов прессования позволяет сделать следующие выводы (см. рис.):

Динамические методы компактирования, по сравнению со статическими, обеспечивают более плотные компакты.

2. Результаты прессования корунда, полученные нами и в работе [2] с использованием одностороннего МИ-пресса при давлениях 0,6…0,8 ГПа и выше практически совпадают. Наблюдаемое расхождение данных при давлениях ниже 0,6 ГПа объясняется тем, что при небольших размерах

изделий велико влияние приповерхностных эффектов, связанных с проявлением бокового трения, обусловленного взаимодействием частиц порошка с материалом матрицы.

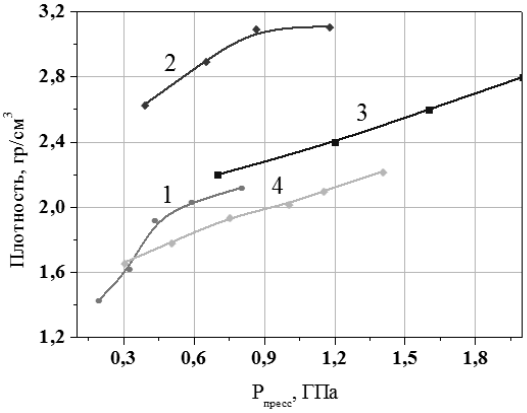


Рис. 1. Зависимости плотности прессовок состава Al2O3 от давления прессования: 1 – односторонне МИ, 2 – двустороннее МИ, 3 – одностороннее МИ [2], 4 – статическое прессование [3]

3. Двустороннее МИ-прессование обеспечивает максимальную плотность изделий по сравнению с другими способами компактирования. При этом наблюдается достижение заданной плотности компакта при существенно меньших давлениях.

Сравнение представленных методов компактирования выявил высокую эффективность двухстороннего магнитно-импульсного прессования, при котором плотность брикетов достигает уровня 0,78 от теоретического значения. Столь высокие значения плотности обусловлены импульсной формой прессования, определяющей низкий уровень пристеночного трения и адиабатичность процесса. Данный эффект позволяет ожидать снижение температуры спекания компактов и, как следствие, получить мелкозернистую керамическую структуру, не «отравленную» рекристаллизационными процессами. Соблюдение данного условия особенно важно при изготовлении нанокерамики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андриевский Р.А. Получение и свойства нанокристаллических тугоплавких соединений // Успехи химии. – 1994. – Т. 63. – № 5. – С. 431–448.

2. Иванов В.В. и др. Прессуемость наноразмерных порошков Al2O3 при магнитно-импульсном нагружении // Физика и химия обработки материалов. – 1997. – № 3. – С. 67–71.

3. J. Li, Y. Ye, "Densification and Grain Growth of Al2O3 Nanoceramics During Pressureless Sintering," J. Am. Ceram. Soc., 89 [1] 139–143 (2006).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ В ШИРОКОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ

Власов И.В., Ивашутенко А.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Циркониевая керамика в силу уникального свойства сопротивляться распространению трещин за счет полиморфных превращениях под нагрузкой относится к разряду инструментальной или конструкционной керамики, то есть функционально главными являются механические свойства.

Однако другой особенностью циркониевой керамики является ее высокая анионная проводимость при высоких температурах, что позволяет отнести этот вид керамики к высокотемпературным суперионным проводникам, имеющим большое применение в энергетике. В связи с этим представляет несомненный интерес изучение электрических свойств циркониевой керамики, особенно при высоких температурах. Следует отметить, что данные по электрическим свойствам циркониевой керамики при высоких температурах практически отсутствуют. Одна из главных причин такого положения состоит в сложности проведения подобных экспериментов.

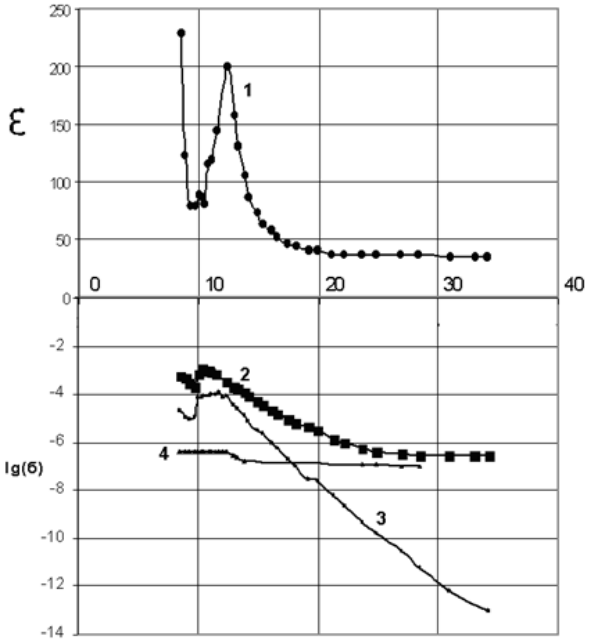


Рис. 1 Температурные зависимости диэлектрической проницаемости (1), электропроводности на переменном токе (2), электропроводности на постоянном токе (3), обратный ход электропроводности на постоянном токе (4) для циркониевой керамики

Нами под руководством профессора Кабышева А.В. выполнены измерения tgδ, ε, электропроводности на постоянном и переменном токе для образцов керамики состава ZrO2-3%Y2O3. Измерения указанных характеристик проводились одновременно в постоянном электрическом поле и на частоте 1000гц, в вакууме ~10-3 тор в процессе нагревания образцов в интервале температур (300-1700)К.

Основное внимание уделялось высокотемпературным опытам. Результаты подобных опытов нам не известны.

На рис. 1 представлены результаты измерений диэлектрической проницаемости и проводимости на постоянном и переменном токе для циркониевой керамики. Главная особенность полученных результатов состоит в том, что в области температур (1000-1700)К имеет место аномалия, проявляющаяся в макраметров. Особенно показательны данные по температурному изменению диэлектрической проницаемости: значения ε в максимуме при 770К достигает 200 единиц. В этом диапазоне температур наблюдается так же максимум электропроводности. Измерения tgδ свидетельствует о том, что в указанном температурном интервале имеет место мощная диэлектрическая релаксация. Перечисленные факты позволяют высказать гипотезу, что циркониевая керамика при высоких температурах проявляет сегнетоэлектрические свойства ранее не известные.

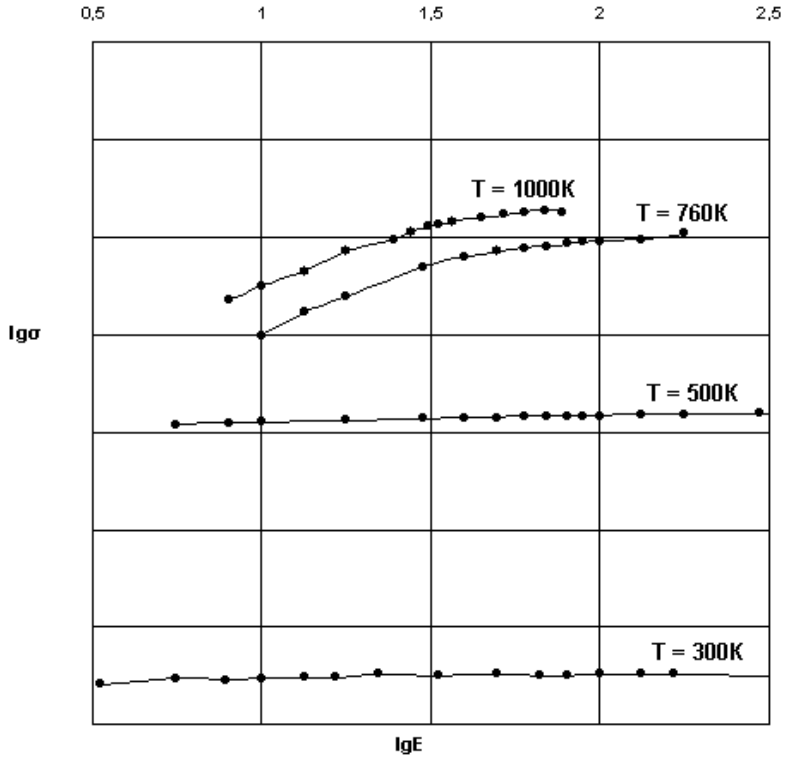


Рис. 2 Вольтамперные характеристики $lgE = f(lg\sigma)$

Для проверки данного положения нами сняты вольтамперные характеристики исследуемых образцов. Полученные данные представленные на рис.2. подтверждают сделанное предположение. Действительно, при высоких температурах четко проявляется диэлектрическая нелинейность характерная для сегнетоэлектриков.

Отметим еще один важный факт: после цикла нагрева до 1700К образец приобретает окраску (серый цвет), а при измерении электропроводности при обратном ходе проводимость имеет практически безактивационный характер (см. Рис.1 кривая 4).

Для объяснения полученных результатов выдвигается следующая вероятная гипотеза. При высоких температурах в вакууме в циркониевой керамике развиваются два класса процессов в приповерхностных областях образцов:

Имеет место нарушение стехиометрического состава соединения за счет испарения кислорода.

Из металлических электродов, применяемых при высокотемпературных измерениях электрических характеристик электроны инжектируются в образцы. В виду избыточной концентрации анионных вакансий в диоксиде циркония при данных условиях, происходит взаимодействие инжектированных электронов с анионными вакансиями с образованием F-центров. Данный процесс хорошо известен для ионных структур и носит название электролитического окрашивания.

Следовательно, в результате протекания указанных явлений приповерхностные области образцов приобретают повышенную проводимость электронного характера. Другими словами образец приобретает вид сэндвича с различными значениями проводимости приповерхностных слоев и объема. При таких условиях на границах раздела слоев возникает объемный заряд, который релаксирует в переменном электрическом поле, что приводит к изложенным выше результатам. Это объяснение следует рассматривать как вероятное, требующее экспериментальной проверки, что и будет сделано в ближайшее время

Таким образом, нами обнаружено неизвестное ранее явление: циркониевая керамика при высоких температурах приобретает сегнетоэлектрические свойства, не характерные для этих структур. Возникновение сегнетоэлектрических свойств у диоксида циркония сопровождается мощной диэлектической релаксацией при высоких температурах.

NEW WELDING TECHNOLOGIES IN THE SHIPBUILDING

Gopanenko R.V.
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

The objective is to overview the material about new technologies welding used in the shipbuilding. Welding is defined as "a jumping process that produces coalescence of materials by heating them to the welding temperature, with or without the application of pressure alone, and with or without the use of filler metal. Modern welding techniques are employed in the construction of numerous products. Ships, buildings, bridges are fabricated by welding processes. Welding is also used extensively in the manufacture of automobiles, farm equipments, home appliances, computer components, mining equipment. Hundreds of products we use in our daily life are also joined together by some type of welding processes. Before welding, ships were being constructed by using clinches. Currently there are many traditional technological methods used in shipbuilding:

Shielded Metal Arc Welding (SMAW). This method is also known as Manual Metal Arc Welding or Stick Welding. An arc welding process in which coalescence of metals is produced by heat. The heat comes from an electric arc that is maintained between the tip of a covered electrode and the surface of the base metal in the joint being welded [2].

Submerged Arc Welding (SAW). Submerged arc welding is a method in which the heat required to fuse the metal is generated by an arc formed by an electric current passing between the welding wire and the workpiece. The tip of the welding wire, the arc, and the workpiece are covered by a layer of granulated mineral material known as submerged arc welding flux [6].

Gas Metal Arc Welding (GMAW).GMAW, by definition, is an arc welding process which produces the coalescence of metals by heating them with an arc between a continuously fed filler metal electrode and the work. The process uses shielding from an externally supplied gas to protect the molten weld pool [1].

Gas tungsten arc welding (GTAW). Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), also known as tungsten inert gas (TIG) welding is a process that produces an electric arc maintained between a nonconsumable tungsten electrode and the part to be welded. The heat-affected zone, the molten metal and the tungsten electrode are all shielded from atmospheric contamination by a blanket of inert gas fed through the GTAW torch [1].

Oxyacetylene Welding (OAW). The oxyacetylene welding process uses a combination of oxygen and acetylene gas to provide a high temperature flame. When mixed together in correct proportions within a hand-held torch or

blowpipe, a relatively hot flame is produced with a temperature of about 3,200 ˚C [3].

Along with traditional methods new improved methods of welding have appeared nowadays. They are ceramic welding, robotic welding.

Ceramic Welding. In recent years, especially for the shell plate of the vessels, ceramic welding is being started to be used as a welding technique. The welding is being done by using ceramic weld backings. X-ray quality, full penetration welds from one side and in a single pass can be achieved with this method. On the other hand, finished high quality weld and savings of labor, materials and time are also been achieved [1]. Weld backings can be used to compensate for poor fit-ups, and is valuable when welding conditions are not ideal or where the back side of a weld joint is inaccessible. In the ceramic welding the welder should do root opening. Then backing is applied on the material and welding starts. After finishing welding process, ceramic backing should be removed. This method is applied for welding of the shell plates of the ships. High quality, full penetration, time and economical savings can be achieved with this method. Therefore the delivery times of the projects are being shortened [5].

Robotic Welding. Robots are used in a wide range of industrial applications. The earliest applications were in materials handling, spot welding, and spray painting. Although the automotive industry is the major user of robotic welding, the usage of robotic welding is also improving in the shipbuilding industry day by day. The two basic welding types in shipbuilding are spot welding and arc welding. Arc welding robot is one of the most common functions in industry today. During this process, electricity jumps from an electrode guided through the seam, to the metal product. This electric arc generates intense heat, enough to melt the metal at the joint. For the robotic arc welding system, much more controller is also required. The automated welding has begun improving upon manual welding in the industry due to increasing speed, quality and throughput. The shipbuilding industry is suitable for the robotic welding. The robot welding automation is much safer and more cost-effective. The welding can be done completely at the unreachable areas. Due to the automation, the faults regarding human factors will not be come across with this method.

For the first time in the world the compact and intellectual welding robot which intuitively and automatically does welding works, was designed and developed. Robot beforehand knows which welding work it’s going to make. It knows what kind of features of welding construction it’s going to meet in the process, and after it defines these features through its sensors it starts welding according to the rules. The robot observes the whole welding process [2].

In case of service (for example cleaning or changing the oil) process is being severed and robot automatically moves in the service position. Here the operator does the whole service. Then robot comes back to the position to renew the welding process. That's why the use of robot needs the minimum of operator's preparation. It guarantees optimal work. One operator can work with 4 robots at the same time using the simple user interface. Have entered a new period, and have opened possibilities which seemed impossible only some years ago. Our European partners managed to establish new standards for application of the welding robot for the heavy industry by system engineering which isn't limited to classical rules and traditional technologies [1].

In understanding of all area of welding, «Inrotech» has developed a product which combines high technologies and simplicity in work that moves the robotized technologies from experts for usual people.

It became possible, not to endow flexibility and reliability, and to work even with the increase of these parameters. Automation in close places where access by means of welding robots didn't go right till now, now became possible with a compact and mobile robots «Inrotech». The robot completed with the welding device, the block of management and cables moves on a simple monorail through hatches. There are no more sick knees, back traumas and a welding smoke in lungs. The robot takes all pain up and all bad working conditions for operators now concerned to the past. Seldom robots were more salutatory among welders [4].

The expectation of a recoupment within one year meant that OSS, without fluctuating, invested in the project of automation with mobile welding robots though necessary indirect investments of the manufacture have made almost half of the budget.

Profitability improvement from Inrotech has given the Mobile robotized decision even more than it was supposed. Besides the reduction of time of welding, there was a considerable improvement of internal logistics and a production cycle. Because of the innovative decision, it was possible for OSS to automate problems which were impossible earlier. Labor-consuming welding problems are made faster now, it is better and with smaller quantity of direct labors, than earlier [7].

The bulk ship Blocks of ballast tanks which represent a double bottom of the bulk ship, in the size about 32 x 16 m., and consist of 48 closed premises in which there is an access only through hatches in the size of 60x80. Robotics systems get through these hatches, weld 90 % from total number of welding works. Robots turn from the platforms located on the end of each block of a vessel [1].

Today welding robots and ceramic welding are intensively used not only in shipbuilding industry; also it's very effective in car-building, tank-building

and other branches of industry. They are properly new, economically effective. Robotic technology meets quality, cost and delivery requirements and also offers flexibility in welding. Potential safety hazards associated with arc welding include arc radiation, air contamination, electrical shock, fire and explosion, compressed gases, and other hazards. Robots can replace humans in the performance of dangerous jobs and are considered beneficial for preventing industrial accidents. The welding robot is one of the most difficult mechanisms. There's a row of companies manufacturing welding robots, for example Austrian IPSHandelsGmbH, Japanese FANUC CORPORATION, Kemppi, ESAB, LincolnElectric, ITS-engineering, etc.

REFERENCES

1. http://www.irobs.ru/
2. http://www.globmaritime.com/200912255575/naval-architecture/welding-in-shipbuilding.htm
3. http://arcraftplasma.com/welding/weldingdata/Submerged_Arc_Welding.htm
4. http://www.robotics.utexas.edu/rrg/learn_more/low_ed/types/industrial.html
5. http://www.losgatosmanufacturing.com/classes/handouts/arc_welding_unit.pdf
6. http://content.lincolnelectric.com/pdfs/products/literature/c4200.pdf
7. http://www.welding-robots.com/articles.php?tag=685

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОБАЛАНСИРА С МНОГОРЕЗЕРВУАРНЫМ УСТРОЙСТВОМ

Массон И.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

Известные автобалансирующие устройства (АБУ) достаточно эффективно уменьшают режимное изменение дисбаланса ротора. Однако такая результативность достигается за счет использования тяжелой жидкости (ртути) в качестве корректирующей массы. При разработке машин и приборов стремятся избегать использования высокотоксичных веществ. Имеющиеся нетоксичные жидкости обладают плотностью не более 2 г/см3, поэтому использование их в качестве корректирующей массы в жидкостных АБУ, вместо ртути, ведет к снижению эффективности

автоматической балансировки ротора [1, 2]. Именно из-за недостаточной эффективности жидкостных АБУ, обусловленной малой плотностью жидкости, факторы, влияющие на точность балансировки, были слабо освещены. На кафедре ТПМ ТПУ было разработано устройство [3], позволяющее многократно повышать эффективность автоматической балансировки роторов с помощью жидкостных АБУ. В связи с этим возникла необходимость исследования различных факторов, которые влияют на точность балансировки.

Материал и методы исследования

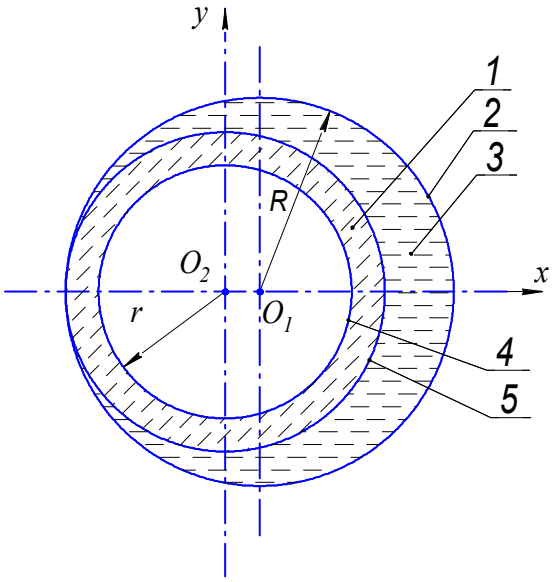


Рис. 1. Схема, поясняющая достаточность жидкости в обойме 1 – жидкость, не участвующая в балансировке;2 – поверхность резервуара; 3 – жидкость, участвующая в балансировке; 4 – свободная поверхность жидкости; 5 – поверхность, определяющая условие достаточности жидкости

Как показано (рис. 1), в жидкостном автобалансирующем устройстве участвует в процессе балансировки только часть жидкости внутренней поверхностью резервуара и цилиндрической поверхностью, касающейся поверхности резервуара и имеющей ось, совпадающую с осью ротора. Получается парадоксальный результат масса жидкости в резервуаре, зависит от радиуса свободной поверхности жидкости, а прогиб вала s, от радиуса свободной поверхности жидкости не зависит при выполнении условия $R - r \geq s$ достаточности жидкости. Следовательно, прогиб вала от массы жидкости не зависит при выполнении условия ее достаточности. Масса этой жидкости удовлетворяет граничному значению в условии ее достаточности, т.е. при заданном значении прогиба вала свободная поверхность жидкости касается внутренней поверхности резервуара.

Остальная часть жидкости в процессе балансировки не участвует. На основе этого было предложено автоматическое балансировочное устройство с несколькими концентрическими резервуарами, оси внутренних цилиндрических поверхностей которых совпадают с осью ротора. Это устройство будем в дальнейшем называть многокамерным устройством [4]. Работает многорезервуарное автобалансирующее устройство подобно жидкостному АБУ с одним резервуаром. Проанализируем его работу.

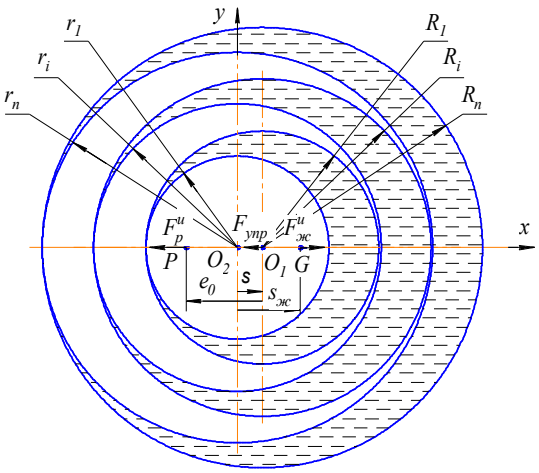


Рис. 2. Схема сил в многорезервуарном устройстве

Результаты исследования и их обсуждение

Пусть ротор имеет статический дисбаланс (рис. 2), т.е. центр масс ротора (точка Р) смещен относительно оси ротора (в проекции точка О1) на величину e0. При вращении ротора с постоянной частотой ω, превышающей критическую, происходит прогиб оси вала ротора таким образом, что выполняется равенство сил, действующих на систему:

$\sum \overline{F} = \overline{F}_{упр} + \overline{F}^u_p + \overline{F}^u_1 + ... + \overline{F}^u_i + ... + \overline{F}^u_n = 0$ или в проекциях на ось x (1):

$$-F_{упр} - F^u_p + F^u_1 + ... + F^u_i + ... + F^u_n = 0,$$

где: $F^u_i = m_i \omega^2 s_i$ – сила инерции жидкости в i- том резервуаре, приложенная к ее центру масс;

$m_i = \rho \pi h (R_i^2 - r_i^2)$ – масса жидкости в i- том резервуаре в соответствии с условием ее достаточности;

$s_i = s \dfrac{R_i^2}{(R_i^2 - r_i^2)}$ – расстояние от оси вращения ротора до центра масс жидкости для i-того резервуара;

Ri, ri – радиус внутренней поверхности резервуара и радиус свободной поверхности жидкости для i-того резервуара;

n – число резервуаров.

Условие достаточности жидкости в многорезервуарном устройстве отличается от аналогичного условия в жидкостном АБУ с одним резервуаром [5]. В многорезервуарном устройстве условие достаточности жидкости выполняется, если свободная поверхность жидкости в i- том резервуаре не пересекается с внутренними цилиндрическими поверхностями этого резервуара, образованными цилиндрическими перегородками [6, 7]. Поэтому условие достаточности жидкости в многорезервуарном устройстве имеет вид:

$$R_i - r_i \geq s\,;\; r_i - (R_{i+1} + \delta) \geq s\,, \qquad (2)$$

где δ – толщина стенки цилиндрической перегородки.

Учитывая условие достаточности жидкости (2), определяем из уравнения амплитуды колебаний ротора при балансировке его с помощью многорезервуарного устройства:

$$s = \frac{e_0 m\omega^2}{(m + \rho\pi h\sum_{i=1}^{n} R_i^2)\omega^2 - c}\,. \qquad (3)$$

Отсюда видно, что в отличие от жидкостного АБУ с одним резервуаром, в многорезервуарном устройстве амплитуда колебаний ротора тем меньше, чем больше число резервуаров и чем больше радиусы их внутренних поверхностей. Эта амплитуда колебаний не зависит от массы жидкости в камере при выполнении условия ее достаточности (2).

Используя выражение (3) для многорезервуарного автобалансирующего устройства, можно получить выражения для определения критической частоты вращения ротора и эффективности автоматической балансировки:

$$\omega_к = \sqrt{\frac{c}{m + k\rho\pi h\sum_{i=1}^{n} R_i^2}}\,; \qquad (4)$$

$$E_e = \frac{m + \rho\pi h\sum_{i=1}^{n} R_i^2}{m} = 1 + \frac{\rho\pi h\sum_{i=1}^{n} R_i^2}{m}\,. \qquad (5)$$

Заключение

Результаты проведенной работы показывают, что эффективность автоматической балансировки увеличивается с ростом числа резервуаров. Критическая частота вращения ротора уменьшается с ростом числа резервуаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саруев Л.А., Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий. - 2010 - №. 6-3 (13) - С. 61-65.

2. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Исследование эффективности балансировки жидкостным автобалансирующими устройствами // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 1. – с. 2. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/107-7919

3. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Влияние эллипсности и эксцентриситета резервуара на точность автоматической балансировки // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 2. – с. 8. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/108-8472

4. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. Стационарное вращение неуравновешенного ротора, частично заполненного жидкостью при действии сил внешнего трения // Современные проблемы науки и образования – 2012. – № 6. – с. 102. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/106-7825

5. Мартюшев Н.В. Расчет параметров структуры материалов с помощью программных средств // В мире научных открытий. - 2011 - №. 1 (13) - С. 77-82.

6. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. MATERIALS AND ENGINEERING SCIENCE (УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 2. – с. 126-127.

7. Мартюшев Н.В. Программные средства для автоматического металлографического анализа // Современные проблемы науки и образования. 2012. – № 5. – с. 79-79.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ СИСТЕМЫ TI-AL

Оноприенко О.О.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

Перспективным применением спеченных порошковых сплавов титан–алюминий является использование их в качестве мишеней (катодов) в технологиях нанесения ионно-плазменных покрытий. Однако порошковые катоды титан–алюминий до настоящего времени не нашли широкого применения по причине отсутствия достаточно простой, доступной и высокопроизводительной технологии производства катодов с

однородной структурой и приемлемой пористостью. Известны попытки уменьшить пористость порошковых катодов титан–алюминий спеканием под давлением или в результате самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с приложением давления. Эти способы характеризуются низкой производительностью и высокой стоимостью готовых изделий. Применение спекания порошковых смесей Ti-TiAl3 позволяет одновременно достичь приемлемых характеристик пористости спеченных катодов и себестоимости их изготовления в условиях опытно-промышленного производства [1].

Однако для целенаправленного выбора технологических режимов спекания (с получением минимальной пористости) необходимо теоретическое и экспериментальное исследование закономерностей формирования структуры, фазового состава и физико-механических свойств материала при спекании. Моделирование процесса даже в простейшем приближении позволяет понять многие закономерности на качественном уровне.

С целью исследования режимов синтеза катодов предложена и исследована математическая модель технологического процесса спекания, учитывающая кинетические и тепловые явления и описанная ниже.

Математическая формулировка задачи

Рассмотрим прессовку порошков Ti-TiAl3 в виде параллелепипеда с размерами l1, l2, l3. Поле температуры в образце можно найти из совместного решения задач теплопроводности и химической кинетики [2]. Будем считать, что нагрев тела осуществляется излучением при регулируемом изменении температуры стенок вакуумной печи. Зная характерное время химических превращений, можно оценить толщину прогретого слоя по формуле

$$L_* = \sqrt{\kappa t_*},$$

где κ - коэффициент температурапроводности образца, $\kappa = \lambda/(c\rho)$; t_* - характерное время химических реакций. Для нашего образца $\kappa = 0.266\,см^2/с$ и $t_* = 3000$ с, тогда $L_* = 28.2$ см и $V = L^3 = 21952$ см3, что во много раз превышает объем образца. Таким образом, мы можем пренебречь распределением температуры в образце и проинтегрировать уравнение теплопроводности по объему с учетом граничных условий [2]. В результате получим

$$Vc\rho\frac{dT}{dt} = -\varepsilon\sigma\left(T^4 - T_e^4\right)S_n + \sum_i \omega_i$$

где S_n – площадь всей поверхности образца, V – его объем, ω_i – тепловыделения в химических реакциях, σ - постоянная Стефана–Больцмана; ε – степень черноты. Температура стенок вакуумной камеры T_e – меняется по заданному закону:

$$T_e = \begin{cases} \upsilon_1 t + T_0, & T \le T_{c1} \\ \upsilon_2 t + T_0, & T_{c1} < T \le T_{c2} \\ T_{c2}, & T_{c2} < T \end{cases}$$

где υ_1, υ_2 – скорости нагрева, известные из эксперимента; t_* – время нагрева; T_0 – начальная температура; T_{c1}, T_{c2} – заданные температуры спекания.

В соответствии с диаграммой состояния системы Ti-Al [3], в области атомных концентраций, интересных с практической точки зрения, можем записать систему химических реакций:

$$TiAl_3 \to TiAl + 2Al\,; \quad Ti + Al \to TiAl\,;$$
$$2Ti + TiAl_3 \to 3TiAl\,; \quad 2Ti + TiAl \to Ti_3Al\,;$$
$$3Ti + Al \to Ti_3Al\,; \quad Ti_3Al \to 2Ti + TiAl\,.$$

Введем обозначения для мольных концентраций реагентов и продуктов реакции, участвующих в превращениях: $y_1 = [TiAl_3]$; $y_2 = [Ti]$, $y_3 = [Al]$, $y_4 = [TiAl]$, $y_5 = [Ti_3Al]$.

Формально-кинетические уравнения записываем с учетом того, что химические реакции тормозятся слоем продукта $y = y_4 + y_5$. В макрокинетике для реакций такого типа (гетерогенных реакций) вводятся специальные параметры торможения (m_i, n_i). Кинетические функции для химических реакций будут иметь вид [4]:

$$\varphi_i = k_i \exp\left(-\frac{E_{ai}}{RT}\right)\exp(-m_i y) y^{-n_i}, \quad i = 1,..,6$$

где k_i – константы скорости реакций; R – универсальная газовая постоянная; E_{ai} - энергии активации реакций.

На основе закона действующих масс записываем систему кинетических уравнений. Так как число молей в реакциях не сохраняется, для пяти веществ имеем пять уравнений

$$\frac{dy_k}{dt} = \sum_i \nu_{ki} \Phi_k, \quad \Phi(T, y) = k_0 e^{-E_a/RT} \prod_{(i)} y_i^{\nu_i} e^{-m\eta} \eta^{-n}$$

Система уравнений дополняется условиями в начальный момент времени:

$$t = 0: \; T = T_0, \; y_i = y_{i0}, \; i = 1..5.$$

Оценка параметров

Математическая модель содержит большое количество численные параметров, которые можно оценить по известным термодинамическим формулам [5], подставляя известные справочные данные. Рассчитанные формально-кинетические параметры реакции представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Формально–кинетические параметры реакций

	I	II	III	IV	V	VI
ΔS_i, Дж/(моль·К)	57	30	31	62	92	62
$k_i \cdot 10^{16}$ 1/с	1.2	0.02	0.01	1.9	70.0	0.03
$E_{a,i} \cdot 10^5$ Дж/моль	2.3	2.6	2.4	2.1	2.9	5.4
Q_i, кДж/см3	1.4	–2.6	4.8	–0.7	1.6	0.7

В расчетах принято: температура окружающей среды T0=270C; степень черноты ε=0.8; размеры образца – l1=5 см, l2=5 см, l3=5 см; скорости нагрева образца – υ1=5 град/мин, υ2=5÷10 град/мин. Эволюция пористости во времени в модели не анализировалось.

Численное решение

Задача решалась численно с использованием метода Рунге–Кутта–Мерсона для тепловой части задачи и неявного метода Эйлера для кинетической части [6]. Результатом численного исследования являются фазовый и элементный состав спеченного образца; зависимости концентраций элементов и фаз от времени при различных параметрах модели, отвечающих за технологические условия.

На рис. 1 в качестве примера приводится зависимость температуры (а) и мольных концентраций фаз Al, $TiAl$ и Ti_3Al (б-г) от времени при изменении скорости нагрева υ_2.

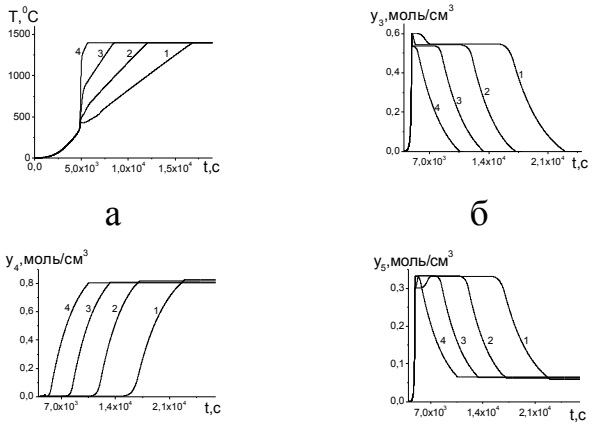


Рис. 1. Изменение температуры образца (а) и концентраций фаз Al (б), $TiAl$ (в) и Ti_3Al (г) во времени при изменении скорости нагрева: 1. υ2=5 град/мин; 2. υ2=7 град/мин; 3. υ2=10 град/мин; Tc2=14000C

Остальные параметры модели приняты постоянными: $y_1[TiAl_3] = 0.3$ моль/см3; $y_2[Ti] = 0.7$ моль/см3; $\upsilon_1 = 5$ град/мин. Выбранным начальным концентрациям соответствуют массовые доли $[TiAl_3] = 0.54$ и $[Ti] = 0.46$ в исходном составе. Замечено, что увеличение скорости нагрева υ_2 приводит к уменьшению времени химических превращений в прессовке (рис. 1, (а) – (г), кривые 1-4), что, в свою очередь, приводит к незначительному увеличению концентрации фазы $TiAl$ (рис.1, в, кривые 1 и 4) и уменьшению концентрации фазы Ti_3Al (рис. 1, г, кривые 1 и 4) в образце.

Заключение

В работе сформулирована модель процесса спекания порошкового катода Ti-TiAl3, учитывающая кинетические и тепловые явления. Показано, что изменение температуры спекания, скорости нагрева и начального фазового состава приводят к изменению конечного химического состава образца и изменению времени процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прибытков Г.А., Андреева И.А., Коржова В.В. // Фундаментальные проблемы современного материаловедении. – Т.4. – №2. – С. 128–133

2. Сорокова С.Н., Князева А.Г.// Известия ТПУ. – 2009. – Т. 314. – № 2. – С. 96-101

3. Mishin Y., Herzig Chr.// Acta mater. 48 (2000). P.589-623

4. Мержанов А.Г. Теория безгазового горения. Препринт ОИХФ, Черноголовка, 1980.–25С.

5. Сорокова С.Н., Князева А.Г. // Физическая мезомеханика. 2005. Т. 8. № S. С. 37-40.

6. Оноприенко О.О., Сорокова С.Н.// В сборнике: Высокие технологии в современной науке и технике. Сборник научных трудов в 2-х томах. Национальный исследовательский Томский политехнический университет; Редакторы: Лопатин В.В., Яковлев А.Н.. Томск, 2013. С. 413-417.

ПРИБОР И МЕТОДИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ РАСПЛАВА

Семенков И.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

Значительное количество научных исследований в материаловедении посвящено проблемам формирования структуры и свойств материалов в процессе кристаллизации. Один из наиболее часто изучаемых параметров это скорость охлаждения. Скорость охлаждения достаточно просто изменить путем изменения материала литейной формы, нагрева или охлаждения литейной формы. При этом влияние, оказываемое на структуру и свойства этого фактора, зачастую оказывается весьма значительно. Например, для антифрикционных марок бронз (свинцовистых, свинцово-оловянистых) изменение скорости охлаждения в процессе кристаллизации приводит к изменению формы свинцовых включений, величины зерна и параметров дендритной ячейки матрицы, количества твердого эвтектоида. Все эти изменения сказываются на свойствах отливок [1]. Среди уже проведенных исследований имеется множество работ посвященных свойствам получаемым отливками в литейные формы из различных материалов, но при этом количественные значения скоростей охлаждения при этом, как правило, не приводятся.

Материал и методы исследования

Данная работа посвящена созданию и апробированию методики определения скоростей охлаждения в процессе кристаллизации свинцово-оловянистых бронз. Из существующих способов влияния на скорость охлаждения было выбрано два – использование форм различной теплопроводности и нагрев литейной формы до различных температур [2]. Сочетание двух этих способов дает возможность получать скорости охлаждения отливки в широком интервале и вместе с тем не требует значительных затрат времени и средств на их реализацию.

С помощью прибора «Термограф», разработанного на кафедре ПМЭ Томского политехнического университета, строились зависимости температуры залитого расплава от времени. По построенным зависимостям в интервале от температуры заливки до 800 °С, (включающем кристаллизацию медной матрицы расплава), определялась средняя скорость охлаждения.

Построение зависимостей температуры отливки от времени охлаждения проводилось по одинаковыми схемам, как для форм, нагретых

до различных температур, так и для форм с нанесенными обмазками различных составов.

В качестве материала заливаемого в литейную форму была выбрана бронза марки БрОС10-10. Эта бронза состоит из 10% свинца, 10% олова и 80% меди.

Для определения скоростей охлаждения расплава бронзу заливали в формы с разной теплопроводностью: массивный чугунный кокиль (отношение массы отливки к массе формы 1:8) и в графитовую форму. Формы нагревались до различных температур (20 °С, 200 °С, 400 °С, 600 °С, 800 °С) [2].

Хромель-алюмелевую термопару (диаметр проволок 0,3 мм) располагали на 1/2 глубины (hbc/ 1) в соответствии с рекомендации [3]. Отливка имела вид параллелепипеда с размерами 80×15×15 мм. Регистрация значений термоЭДС термопары велась с помощью высокоскоростного прибора «Термограф» [4], рис. 2. Прибор способен регистрировать до 40 значений термоЭДС за 1 с и вносить в память 1600 показаний, за одно исследование. Объем памяти прибора позволяет производить до 16 исследований без передачи данных на компьютер.

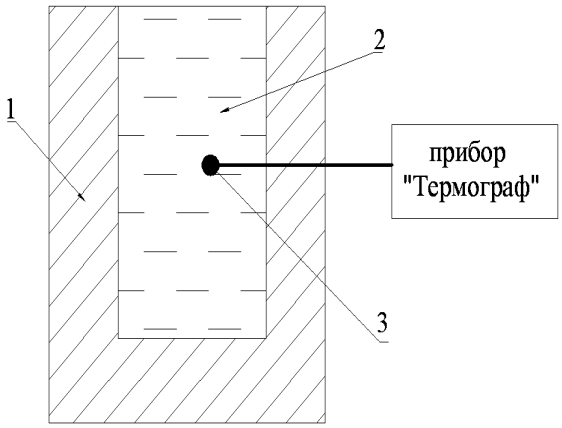


Рис.1. Схема использования прибора «Термограф» в экспериментальных работах: 1 – литейная форма; 2 - расплав; 3 - хромель-алюмелевая термопара

Далее обработка результатов и построение графических зависимостей велись при помощи компьютерной программы «TermoXp» [5].

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенных экспериментальных работ были построены по описанной выше методике кривые охлаждения для антифрикционной бронзы марки БрС10. Из построенных кривых охлаждения для чугунного кокиля на рис. 2 видно, что на начальном этапе охлаждения (первые 5-6с от момента заливки расплава в форму) для всех кривых температура резко

падает до определенной температуры (своя для каждой кривой). При достижении этой температуры наступает тепловой баланс между залитым расплавом и нагретой литейной формой, после чего идет постепенное охлаждение формы и заготовки на воздухе. Кривые охлаждения в это время (10…40 с от старта отсчета) практически параллельны.

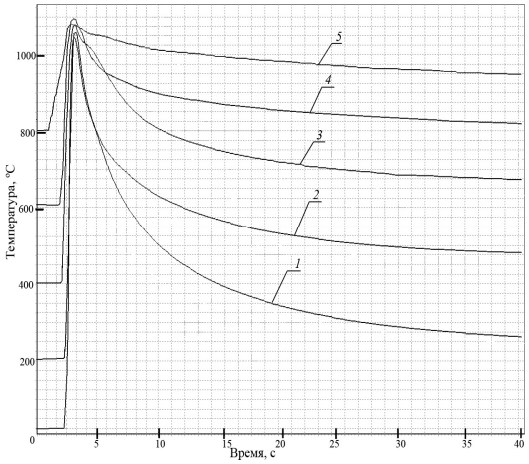


Рис. 2. Кривые охлаждения бронзы БрС10 при заливке в чугунную форму, нагретую до температуры: 1 – 20 °С; 2 – 200 °С; 3 – 400 °С; 4 – 600 °С; 5 – 800 °С

Зависимость температуры залитого в форму расплава от времени, прошедшего с момента заливки для графитовой литейной формы аналогична зависимости на рис. 2. Так же наиболее интенсивное охлаждение отливки идет в первые 4…5 с от момента заливки [6]. После этого идет постепенное охлаждение формы и заготовки. Вместе с этим наблюдаются отличия в скорости падения температуры в начальный момент охлаждения. Кроме того, значение температуры, при которой начинается плавное охлаждение отливки для графитовой формы выше, чем для чугунной (для одинаковых температур нагрева литейной формы).

Таблица 1.

Скорости охлаждения бронзы БрОС10-10 в интервале температур 1050…800 °С, в зависимости от температуры нагрева формы

Температура нагрева, °С	Скорость охлаждения для графитовой/чугунной форм, °С/с
20	158/180
200	137/165
400	43/55
600	25/40
800	10/15

По построенным кривым на рис. 2 были измерены скорости охлаждения, их значения представлены в таблице 1.

Измерение скоростей проводилось в интервале температур 1050…800 °С, включающем диапазон кристаллизации расплава. Анализ значений, приведенных в таблице 1, показывает, что скорость охлаждения литейной формы комнатной температуры и нагретой до 800 °С отличается более чем в 10 раз. Весь используемый диапазон скоростей охлаждения расположен в пределах от 10 до 180 °С/с. Это дает возможность наиболее полно оценить влияние скорости охлаждения расплава в момент кристаллизации исследуемых бронз на микроструктуру и свойства.

Результаты исследование представленные в настоящей работе выполнены при поддержке гранты Президента РФ МК-6661.2013.8.

Заключение

Таким образом, скорость охлаждения при заливке расплава бронзы в чугунную литейную форму комнатной температуры для наиболее часто промышленно используемых отношений массы отливки к массе формы (1:5, 1:10) составляет ~150 °С/с. Скорости охлаждения при изготовлении отливки в чугунной форме и в графитовой форме отличаются на величину ~30…40 %. Показано, что предварительный подогрев литейной формы позволяет значительно снизить скорость охлаждения отливки и увеличить время нахождения расплава в жидком состоянии. Из кривых охлаждения видно, что предварительный нагрев литейной формы до высоких температур 500…800 °С позволяет выявить площадку кристаллизации и тем самым определить температуру кристаллизации материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мартюшев Н.В., Петренко Ю.Н., Егоров Ю.П. Производство поршневых колец компрессоров высокого давления // Литейное производство. – 2008. – № 8. – С. 24-26.

2. Мартюшев Н.В., Семенков И.В. Структура и свойства бронзовых отливок при различных скоростях охлаждения // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 1-1.

3. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на структуру и свойства бронз, содержащих свинец // Металлургия машиностроения. – 2010. – № 4. – С. 32-36.

4. Мартюшев Н.В. Параметры дендритной структуры медных сплавов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2011. – № 11-3 (54). – С. 229-232.

5. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на свойства отливок из бронзы брос 10-10 // Литейное производство. – 2011. – № 6. – С. 11-13.

6. Мартюшев Н.В., Егоров Ю.П., Утьев О.М. Компьютерный анализ структуры материалов // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2003. – № 3. – С. 32.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ НА ПРОЦЕССЫ УРАВНОВЕШИВАНИЯ В ЖИДКОСТНЫХ АВТОБАЛАНСИРАХ

Урниш В.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

Особенностью балансировки жидкостью является то, что при произвольном расположении ротора балансировочное вещество испытывает не только действие центробежных сил, но и сил тяжести, в результате чего свободная поверхность не является цилиндрической. Здесь рассматривается вопрос о влиянии сил тяжести на балансировочные процессы.

Материал и методы исследования

Ось вращения жидкостного автоматического балансировочного устройства (АБУ) может быть горизонтальной, вертикальной, наклонной или перемещающейся в пространстве в процессе эксплуатации.

Жидкость, свободно заливаемая во вращающуюся вокруг горизонтальной оси оболочку, растекается по ней под действием кинетической энергии струи и вовлекается во вращательное движение за счет сил трения жидкости о форму. Однако такая скорость частиц балансировочного вещества при его вращении вокруг горизонтальной оси не может быть постоянной из-за пульсации результирующей силы в течение оборота АБУ, так как она складывается из постоянной по величине и направлению силы тяжести и постоянной по величине, но меняющейся по направлению центробежной силы [1, 2]. Это приводит к тому, что свободная поверхность жидкости, смещается книзу от оси вращения, что вносит дополнительный дисбаланс.

При вертикальной оси вращения свободно заливаемая в оболочку жидкость постепенно увлекается ею во вращательное движение. Через некоторое время угловые скорости вращения отдельных слоев балансировочного вещества и самой оболочки выравниваются, и жидкость приходит в состояние относительного покоя. Пульсации результирующей силы за период оборота формы в этом случае не происходит, так как

направление центробежной силы при вращении относительно вертикальной оси не изменяется.

Подобные случаи рассмотрены [3, 4].

Результаты исследования и их обсуждение

При расчете скорости вращения оболочки с горизонтальной осью вращения по коэффициенту гравитации учитывают, что на частицы жидкости действует центробежная сила (рис. 1):

$$F_ц = m\omega^2 R,$$

где m – масса частицы, кг;

ω – ее угловая скорость, с-1;

R – радиус вращения частицы, м.

Коэффициент гравитации К является отношением

$$K = \frac{F_ц}{F_g} = \frac{\omega^2 R}{g},$$

где g – ускорение свободного падения, м/с2.

Искомая угловая скорость камеры составит:

$$\omega = \sqrt{\frac{gK}{R}}. \qquad (1)$$

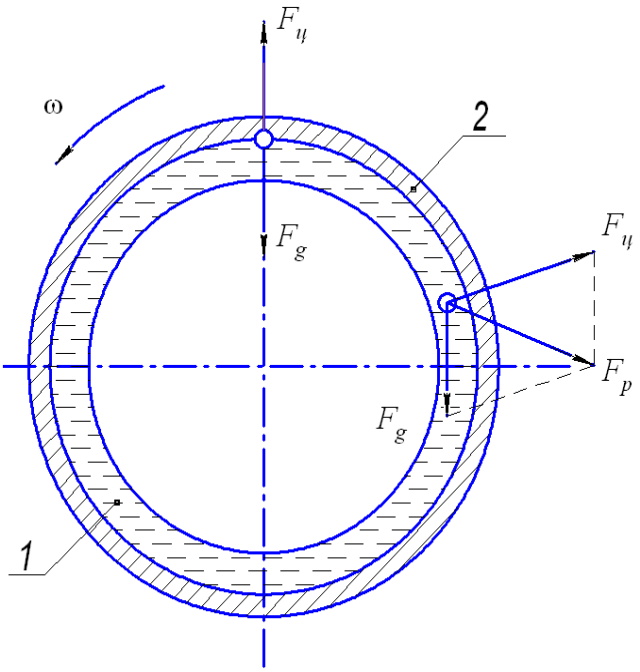


Рис. 1. Гидростатические силы, действующие на жидкость при вращении камеры относительно горизонтальной оси: 1 – жидкость; 2 – оболочка; Fp – равнодействующая сил центробежной и тяжести

Из последней формулы видно, что скорость, при которой силами тяжести можно пренебречь, сильно зависит от радиуса R и коэффициента гравитации К. Причем, чем меньше К и больше R, тем меньше получается угловая скорость вращения ω. Примем для оценочных расчетов диаметра R=0,1 м и коэффициента гравитации К=10, тогда получаем ω=31,32 с-1.

При вращении оболочки относительно вертикальной оси внутренняя поверхность жидкости будет иметь форму параболоида вращения (рис. 2), которая образуется в результате одновременного действия центробежной силы $F_ц$ и силы тяжести F_g (в этом случае силы взаимно перпендикулярны). Это означает, что толщина слоя балансировочного вещества в верхней и нижней частях камеры будет различной.

Экспериментально установлено, что наилучшей является такая скорость вращения, при которой уклон внутренней поверхности составляет 1:20. Уменьшить разностенность слоя жидкости можно, значительно повышая скорость вращения ротора.

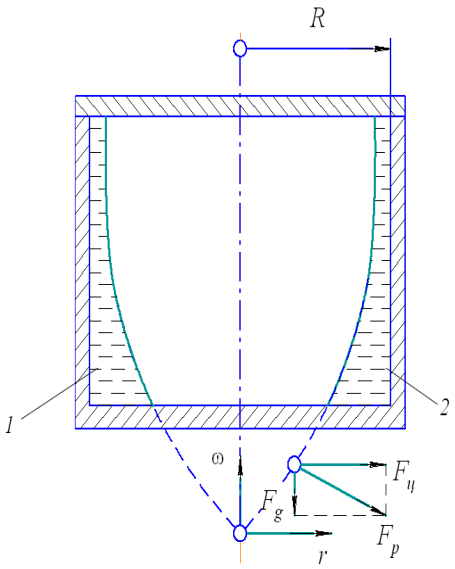


Рис. 2. Гидростатические силы, действующие на жидкость при вращении камеры относительно вертикальной оси вращения: 1 – жидкость; 2 – оболочка

Для расчета скорости вращения АБУ с вертикальной осью вращения применяют обычно формулу для горизонтально расположенного ротора [5]. В результате, для значения К=20, скорость вращения, при которой можно не учитывать влияние сил тяжести, ω=44,29 с-1.

Произвольное расположение в пространстве балансировочного устройства, является комбинацией двух рассмотренных случаев, поэтому для оценки минимальной скорости вращения можно применять полученную зависимость (2) при большем значении К=20.

Кроме того, для расчета скорости вращения при центробежном литье используют полуэмпирические формулы Константинова и Кэммена.

Формула Кэммена:

$$n = \frac{K_0}{r}$$

Формула Константинова:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\gamma \cdot r}}$$

где n – число оборотов изложницы в об/мин.;

r — наружный радиус отливки в см;

K0 — коэффициент различный для разных сплавов;

γ — объемный вес сплава.

Результаты, получаемые по обеим формулам, почти совпадают [6]. В основу этих формул положено выражение числа оборотов через гравитационный коэффициент, хотя и в скрытой форме, поэтому проще воспользоваться следующим выражением:

$$e_p = \frac{\varepsilon\rho\pi h a_1 b_1 \omega^2}{c - (m_p + \rho\pi h a_1 b_1)\omega^2} \qquad (2)$$

В гидродинамическом расчете скорости вращения учитывают, кроме действия гравитационных и центробежных сил, так же силу трения жидкости об оболочку. При этом методе расчета скорости вращения получают меньшими, чем при расчете по гидростатическим зависимостям [6].

Заключение

В результате проведенных исследований были получены скорости оценивающие возможность применения жидкостей в качестве балансировочных на небольших скоростях вращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саруев Л.А., Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий. - 2010 - №. 6-3 (13) - С. 61-65.

2. Мартюшев Н.В. Расчет параметров структуры материалов с помощью программных средств // В мире научных открытий. - 2011 - №. 1 (13) - С. 77-82.

3. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. MATERIALS AND ENGINEERING SCIENCE (УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 2. – с. 126-127.

4. Мартюшев Н.В. Программные средства для автоматического металлографического анализа // Современные проблемы науки и образования. 2012. – № 5. – с. 79-79.

5. Пашков Е.Н., Дубовик В.А. Устойчивость стационарного вращения неуравновешенного ротора с жидкостным устройством на гибком валу // Известия Томского политехнического университета. 2007. – Т. 311. – С. 12.

6. Пашков Е.Н., Саруев Л.А., Зиякаев Г.Р. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2011. – № 5. – С. 26

УСТРОЙСТВО ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ

Петров В.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время актуальной является задача по утилизации железобетонных изделий (ЖБИ) в частности железобетонных шпал и опор электроконтактной сети железных дорог.

В ближайшие годы объемы этих отходов должны значительно увеличиться за счет демонтажа сборных железобетонных конструкций, сроки амортизации которых истекли, а также ежегодно возрастающих объемов реконструкции.

Существующие методы разрушения бетона, основанные на различных физических явлениях, различаются типом рабочего инструмента, производящего разрушение, технико-экономическими показателями, областью применения. Общие принципы создания технологического оборудования по переработке некондиционного железобетона, как в нашей стране, так и за рубежом базируются на возможности применения существующего дробильно-сортировочного оборудования, используемого при переработке камня из карьеров [1]. Однако, наличие арматуры в железобетоне накладывает особые требования при его утилизации.

НИ ТПУ предлагает осуществлять утилизацию железобетонных изделий в два этапа [2]:

- на первом этапе извлекать арматуру из некондиционных ЖБИ;

- на втором додрабливать некондиционные фракции бетона до размеров пригодных к повторному использованию.

Для извлечения арматуры из бетона наиболее перспективна электроразрядная (электроимпульсная) технология (рис.1). Принцип действия этой технологии основан на комплексе явлений, возникающих при электроимпульсном разряде в конденсированных средах (в нашем случае воде и бетоне). При подаче высоковольтного импульса (~350кВ, энергией ~7кДж) на разрядный промежуток (бетон), образованный электродом и заземленной арматурой железобетонного изделия, происходит его пробой, сопровождающийся появлением токопроводящего канала. В канале развивается высокое давление до (3..5)*102 МПа канал расширяется, формируется ударная волна, которая вместе с потоком жидкости, образующейся при расширении парогазовой полости канала разряда, разрушает бетон.

Металлическая арматура при разрушении бетона практически не деформируется и в некоторых случаях пригодна к повторному использованию.

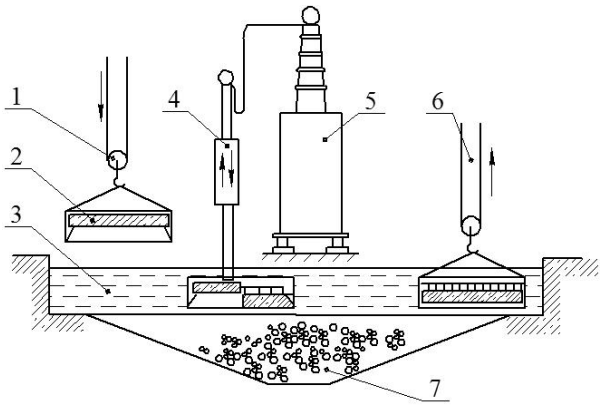


Рис.1. Технологическая схема ЭИ - установки для утилизации железобетонных изделий

В [3] приведена технологическая схема разрушения ЖБИ (рис.1). Железобетонная панель 2 загружается в ванну с водой 3. Рабочий электрод 4 с помощью манипулятора постепенно перемещается по ячейкам изделия, при этом система контроля выдает команду для перемещения в новое положение лишь после полного разрушения ячейки. Освободившиеся после разрушения ЖБИ арматура и бетонный шлам по отдельности удаляются из ванны.

В одноэлектродной конструкции в каждой позиции электрода осуществляется 4-5 разрядов в зависимости от толщины изделия и места расположения относительно арматуры, т.е. при частоте следования f=0,5-2 Гц каждые 2...10 секунд требуется изменение положения электрода.

Для длинномерных изделий (шпал, столбов) более эффективной представляется использование “гребенки” электродов, длинна которой равна длине разрушаемого изделия. “Гребенка” позволяет осуществлять обработку изделия путем поочередного подключения одного из электродов к источнику импульсов при выводе из контакта с высоковольтной шиной других электродов. На основе этого нами разработана конструкция установки для утилизации железобетонных шпал (Рис.2).

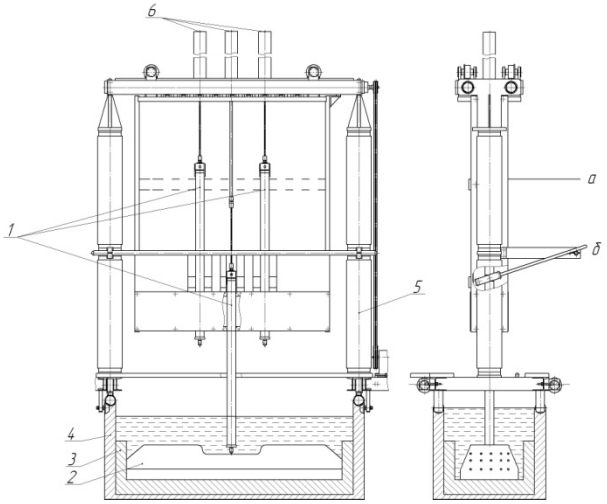


Рис.2. Устройство для утилизации ЖБИ

Она включает в себя технологическую ванну 4, электродную систему 5 генератор импульсов (на рис. 2 не показан). Электродная система 5 может перемещается по направляющим вдоль технологической ванны 4. Она снабжена тремя высоковольтными электродами 1, расположенными в ряд. Каждый электрод снабжен индивидуальным пневмоприводом 6 для вертикального перемещения и имеет два фиксированных положения: верхнее (а) - исходное и нижнее (б)- рабочее. В нижнем положении электрод опускается на разрушаемое изделие, при этом он автоматически подключается к высоковольтной шине, на которую поступают импульсы от генератора. Технологическая ванна представляет бак сварной конструкции, заполненный водой. Внутри ванны располагается контейнер 3, служащий для накопления разрушаемого бетона. По мере заполнения контейнера его вынимают из ванны и разгружают с помощью грузоподъемного механизма. Разрушение железобетона осуществляется под слоем воды на решетке контейнера.

Работа установки осуществляется следующим образом. Изделие 2 грузоподъемным механизмом устанавливают на решетку контейнера, который вместе с изделием с помощью гидравлической системы погружают в воду. Над изделием устанавливают электродную систему. Один из электродов опускается на изделие. При опускании электрод

подключается к высоковольтной шине, включается генератор импульсов. Импульсы от генератора через высоковольтную шину и электрод поступают в рабочую зону и разрушают бетон. После подачи серии импульсов бетон под рабочим электродом разрушается, электрод поднимается вверх, а другой опускается на неразрешенную часть изделия. Циклы повторяются до полного освобождения арматуры от бетона.



Рис.3. Процесс утилизации ЖБИ

Предложенная нами технология и конструкция устройства по разрушения железобетонных шпал позволит отделить арматуру от бетона. Для доработки получившихся отходов в циклах утилизации использовать серийно изготавливаемые щековые дробилки. Разработанная конструкция устройства может стать прототипом серийной установки для утилизации ЖБИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оборудование и технология для разрушения железобетонных изделий // Сайт научно-технического центра ВЕГА [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.stc-vega.com/index.php/en/oborudovanie/razrushenie-zhelezobetona.html, свободный. – Загл. с экрана.

2. Зиновьев Н.Т., Левченко Б.С., Семкин Б.В., Танбаев Ж.Г. Утилизация некондиционных железобетонных изделий электроимпульсным способом// Электронная обработка материалов. 1990. №4. С. 81-83.

3. Сёмкин Б.В. Электрический взрыв в конденсированных средах: Учебное пособие ТПУ Томск – 1979, с.89

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПРЕССОВАНИЯ ОКСИДНЫХ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ

Цыганок О.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введем представления о пористости заготовки, полученной компактированием порошка: $П = (1 - \frac{\rho_К}{\rho_И}).100\%$, здесь $\rho_К$ - кажущаяся плотность, $\rho_И$ - истинная или рентгеновская плотность, $\frac{\rho_К}{\rho_И} = \rho_{ОТ}$ - относительная плотность образца.

Качество керамических изделий во многом определяется пористостью заготовки до спекания. Опыт керамического производства свидетельствует о том, что наилучший результат получается в том случае, когда пористость сырой заготовки не превышает (30-40)%. Такого результата особенно трудно добиться при компактировании ультрадисперсных порошков (УДП). В данном случае говорят о плохой технологичности УДП, что связано с малыми размерами порошковых частиц и как следствие – с большими межчастичными силами, определяющими агрегацию порошинок. Поэтому получение плотных компактов из УДП представляет собой сложную задачу, которая не менее важна в керамическом производстве как и процесс спекания керамики. Особенно возрастает роль компактирования в технологии получения нанокерамики.

В настоящей работе для получения корундо-циркониевой керамики использовались порошки, синтезированные методом высокочастотной плазмо-химии из растворов азотнокислых соединений циркония, алюминия и иттрия. Исследовался процесс прессования порошков следующих химических составов:

1. Состав С1 - 30вес.%Al2O3 -70вес%(ZrO2+3вес%Y2O3),
2. Состав С2 - 20вес.%Al2O3 -80вес%(ZrO2+3вес%Y2O3),

Плазмотрон состоит из ВЧ-генератора, разрядной камеры, реактора, дозатора и шихтопровода. Водные растворы солей металлов заданного состава впрыскиваются в разрядную камеру. В зоне плазменного сгустка, температура которого достигает 60000С, происходит образование оксидов металлов с выделением сыпучих компонентов. Весь процесс получения порошков длится доли секунды – время пролета реакционной массы через активную зону реактора.

Гранулометрия порошков определялась посредством электронной микроскопии. Электронно-микроскопические съемки осуществлялись на

электронном микроскопе ЭВМ-100. Результаты изучения структуры порошков представлены на рис.1. Установлено, что все разновидности частиц порошка делятся на пять категорий: большие монолитные кристаллиты размером (2-5)мкм, объемные доли которых достигает 5%.

- плотные сфероиды диаметром (0,1-1)мкм
- полые сфероиды, диаметр которых колеблются от 0,2 мкм до 1,2 мкм агломераты мелких частиц, представляющие собой фигуры неправильной формы и достигающие (1-2)мкм
- чешуйчатые образования размером (0,1-0,5)мкм.

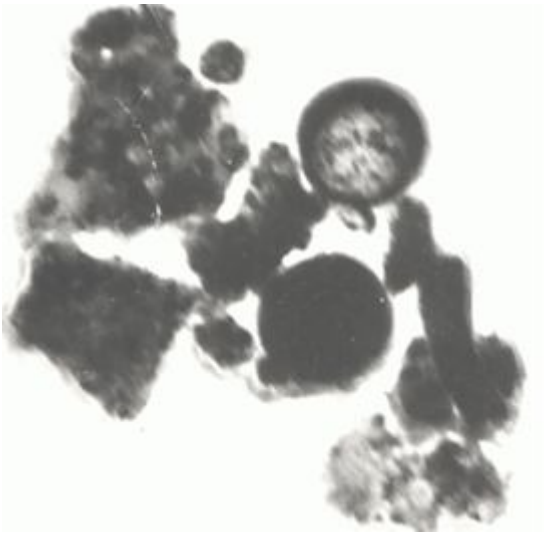


Рис.1. Микроструктура УДП

По данным электронно-микроскопических исследований пустотелые сфероиды в структуре порошка составляют (15-20) объемных процентов. Этот тип образований резко ухудшает технологичность порошка и не позволяет получить высокоплотные компакты.

На рис.1 представлен электронный снимок ультрадисперсных порошинок. Анализ микрофотографий свидетельствует о том, что стенка полого сфероида имеет толщину (800-1000) Å и состоит из поликристаллических субзерен размером (200-300)Å.

Для разрушения полых сфероидов применялась простая, но надежная процедура «прессование - перемалывания порошка». Исходный порошок прессовался при давлении 300 МПа и затем подвергался помолу в планетарной мельнице на протяжении (50-130) мин. Подобная механическая обработка приводит к разрушению пустотелых сфероидов и агломератов. Рис.2 демонстрирует гистограмму фракционного состава порошка. Максимальный размер частиц достигает 2мкм. Наиболее массовая фракция состоит из порошинок размером (0,3-0,5)мкм. (см. рис.2).

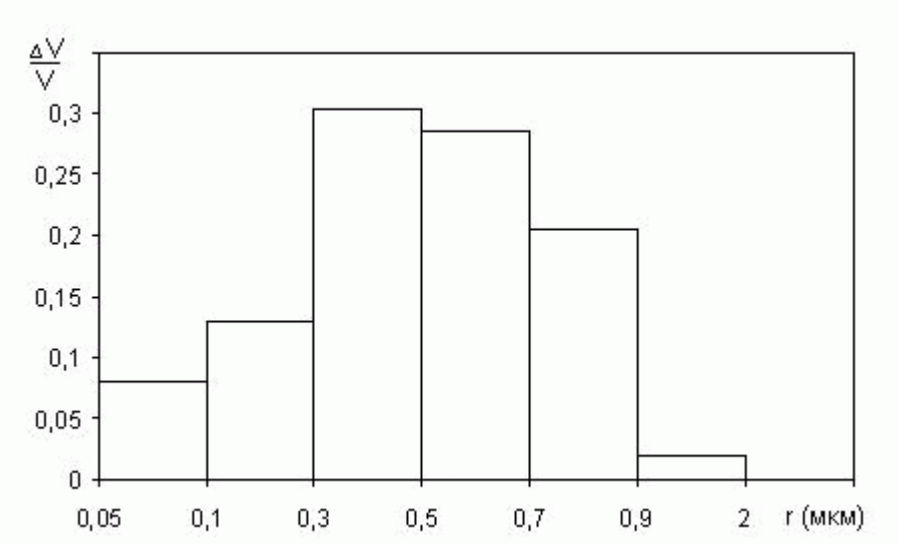
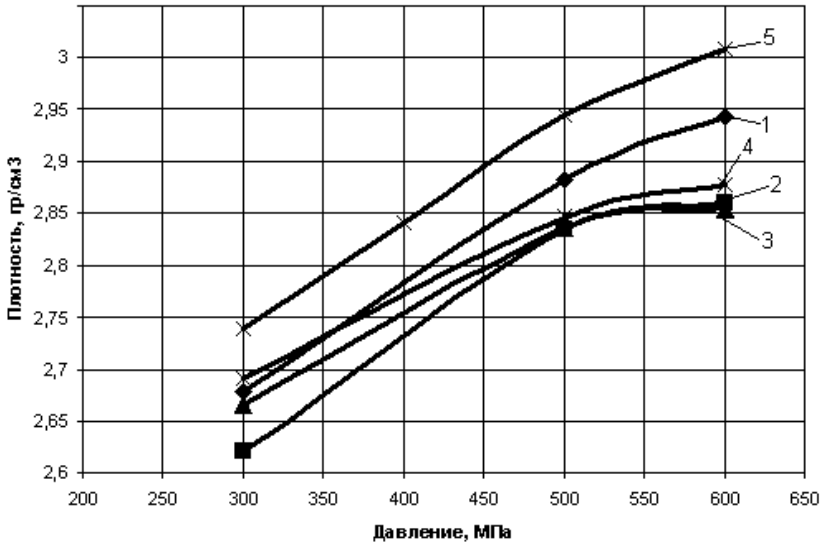


Рис.2. Гистограмма фракционного состава УДП порошка

Цель настоящей работы состояла в сравнительном изучении эффективности разных способов компактирования ультрадисперсных порошков. Анализировались результаты, полученные тремя способами обработки порошков: одноосное прессование, ультразвуковое компактирование и магнитно-импульсное прессование (МИП).



1 - мелкая фракция (<80 мкм), 2 - крупная фракция (>81 мкм), 3 - смесь мелкой и крупной фракций, 4 - смесь мелкой и крупной фракций с добавлением воды (вес.3%), - СОСТАВ С1
5 - мелкая фракция (<80 мкм), - СОСТАВ С2.

Рис. 3. Зависимость плотности прессовок от давления при различных условиях подготовки порошка

Составы С1 и С2 подвергались одноосному прессованию, ультразвуковое компактирование осуществлялось для С2, а магнитно-импульсное прессование проводилось на С1.

1. Одноосное прессовании УДП выполнялось в интервале давлений (300-600)МПа. Исследовалось влияние давления, фракционности и добавок пластификатора на прессуемость порошка. Результаты этой работы приведены на рис.3.

Из полученных данных следует, что прессуемость мелкого и крупного порошка в пределах ошибки эксперимента не отличается. Так же не установлено влияния пластификатора, в виде воды, на плотность компактов. Из данных, представленных на рис.3, следует, что максимальная кажущаяся плотность прессовки получается при давлении 600МПа. При больших давлениях проявляется эффект расслоения образца.

2. Одним из способов, позволяющих значительно увеличить плотность прессовок, является прессование с использованием ультразвука – ультразвуковое компактирование. В работе [1] исследовалась эффективность ультразвукового прессования УДП состава С2. Установлено, что при оптимальном режиме УЗ-компактирования – мощность генератора 4кВт, время озвучивания 10 мин, статическая нагрузка на пуансон 50 МПа, температура порошка в процессе прессования 360К – получен наилучший результат: пористость образцов не превышала 40%. В связи с изложенным, нами с помощью модельных расчетов, уточнена природа обнаруженного в [1] эффекта.

В работе [2] выполнены расчеты, результаты которых подтверждают положение о том, что эффект УЗ-компактирования обусловлен интенсивными перемещениями порошинок друг относительно друга. Показано, что соударяющиеся частички вещества испытывают давления, достигающие 100 МПа. Такие механические нагрузки при озвучивании способны вызывать разрушение полых сфероидов и агломератов. Выполненные расчеты позволили заключить, под действием ультразвука в прессобразцах происходят перемещение, деформация, разрушение, утряска и укладка порошинок.

Следовательно, ультразвуковое компактирование изделий из УДП представляет собой весьма эффективную операцию в технологии получения высококачественной оксидной керамики. Резкое снижение температуры спекания в результате ультразвукового прессования позволяет получить мелкозернистую керамическую структуру, не “отравленную рекристаллизационными” процессами [1].

3. Магнитно-импульсное прессование (МИП) порошков С2 осуществлялось на оборудовании, любезно представленном нам в

Институте электрофизики УрО РАН профессором В.В. Ивановым. Аппаратура и методика МИП подробно описаны в [3].

Порошок засыпался в специальную прессформу, подвергался в вакууме (1 Па) обезгаживанию при температуре 4500С. После этого на пуансон подавалось в течении 300 мкс. давление, величина которого в импульсе составляла 1,4 ГПа. В табл. 1 приведены для состава С2 результаты МИП.

Таблица 1.

Сравнительная характеристика пористости прессовок от способа компактирования

Способ прессования	Состав	Пористость, %
Одноосное	С2	52
Одноосное	С1	49
Ультразвуковое	С2	40
Магнитно-импульсное	С2	27

Из анализа данных табл.1 следует, что наибольшей эффективностью обладает магнитно-импульсное прессование. Действительно, при данном способе обработки порошков получаются компакты с относительной плотностью, равной 0,73, что соответствует пористости «сырой» заготовки не превышающей 27%. Это обусловлено тем, что при МИП ослабляются межчастичные силы за счет высокой скорости движения частиц порошка и адиабатичности процесса. При таких показателях компакта следует ожидать интенсивного спекания керамики, что резко затормозит рекристаллизацию зерен и, в итоге, может обеспечить мелкозернистую структуру нанокерамики.

Выводы

Электронно-микроскопические исследования свидетельствуют о том. что УДП из оксида алюминия и диоксида циркония содержат до 25% агломератов и пустотелых сфероидов, что ухудшает технологичность порошков.

Для улучшения прессуемости УДП предложена предварительная операция «прессование при 300МПа – помол порошка», что разрушает нежелательные структуры порошка.

Магнитно-импульсное прессование оксидных порошков обеспечивает пористость компактов на уровне (20-25)%, что значительно превосходит эффективность других видов прессования изделий из УДП.

Магнитно-импульсное прессование оксидных порошков следует рассматривать, как наиболее перспективный метод компактирования изделий для получения наноструктурной керамики.

Особую благодарность выражаем Иванову В.В. за помощь в организации магнитно-импульсного прессования, а также Кондратюку А.А. за одноосное прессование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анненков Ю.М., Апаров Н.Н., Соколов В.М. и др Упрочнение корундоциркониевой керамики при ультразвуковом компактировании ультрадисперсных порошков. Стекло и керамика,1994, №11-12.

2. Ивашутенко А.С. Ультразвуковое компактирование керамики. Сборник трудов региональной НТК студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука, техника, инновации», Новосибирск, 2002 г.

3. Иванов В.В., Вихрев А.Н., Ноздрин А.А. Прессуемость наноразмерных порошков Al2O3 при магнитно-импульсном нагружении. Физика и химия обработки материалов, 1997, №3, с.67-71.

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВТОРОЙ СТАДИИ ПРОЦЕССА ЛИНЕЙНОЙ СВАРКИ ТРЕНИЕМ

Ямилева А.М.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

Линейная сварка трением – это разновидность сварки давлением, при которой нагрев осуществляется трением, вызванным возвратно-поступательным движением друг относительно друга соединяемых частей свариваемого изделия. Технология сварки трением известна давно и используется в различных отраслях машиностроительного производства более 70 лет. Однако только в последние годы в связи с появлением новых типов универсального и специализированного технологического оборудования с системами программного управления процессом сварки она начинает широко применяться в основном производстве газотурбинных двигателей.

Выделяют четыре стадии (фазы) процесса ЛСТ [2]. На начальной стадии свариваемые изделия приводятся в контакт под давлением и начинается их относительное движение, сопровождаемое износом шероховатостей. В переходной стадии происходит нагрев и упругое деформирование изделий. При достижении предела текучести наступает равновесная стадия, характеризующаяся осевым укорачиванием вследствие вытеснения пластичного материала из зоны контакта,

образуется грат (флеш). На завершающей стадии механическое движение завершается и к образцам прикладывается дополнительное давление (проковка) для образования сварного соединения.

При моделировании процесса ЛСТ необходимо учитывать следующие особенности:

Быстротечность процесса – весь процесс линейной сварки трением составляет около 2 сек, в ходе которого возникают большие градиенты температур и напряжений. Высокая скорость процесса – частота колебаний брусков составляет порядка 50 Гц при амплитуде колебаний порядка 2 мм. Для сходимости расчетных методов требуется выбирать шаг по времени порядка $10^{-4}...10^{-5}$ сек.

Ограниченное количество симметрий модели. Прямоугольные образцы имеют только зеркальную симметрию в плоскости движения, что позволяет уменьшить количество элементов, участвующих в расчете, только вдвое. Для моделирования процесса ЛСТ требуются большие вычислительные ресурсы, в том числе возможность проведения параллельных вычислений на многопроцессорных системах. В данной работе была построена трехмерная модель второй стадии процесса ЛСТ в пакете ANSYS Mechanical. Расчеты проводились на суперкомпьютере УГАТУ.

1. Постановка задачи

В работе исследуются термоупругие деформации прямоугольных образцов размером 26мм×5мм×13мм. Геометрическая модель состоит из двух одинаковых брусков, стоящих один на другом. Учитывается зеркальная симметрия относительно вертикальной плоскости, параллельной направлению движения.

Верхний образец скользит по поверхности нижнего образца вдоль длинной стороны, нижний образец неподвижен. Закон трения рассматривается в форме Амонтона-Кулона, коэффициент трения задан в виде линейной функции от температуры:

$$\lambda(T) = 0{,}3 + 5 \cdot 10^{-4}(T - 293).$$

Для расчета используется 3D 20-ти узловой структурно-тепловой тип элемента SOLID 226 [2]. Рассматривается изотропный упругий материал. В модели материала используются параметры сплава ВТ6 [3].

Построена правильная прямоугольная сетка 48×18×16 элементов, неравномерная вдоль некоторых направлений (Рис. 1). Модель содержит 32640 элементов, включая контактные.

Нижний брусок фиксируется своей нижней гранью. На верхняя грань верхнего бруска задано движение по периодическому закону $x = a \cdot \sin(2\pi f t)$ с амплитудой $a = 2мм,$ частотой $f = 50Гц.$ На верхнюю грань верхнего образца задано постоянное давление 100 МПа. Начальная температура 293 К.

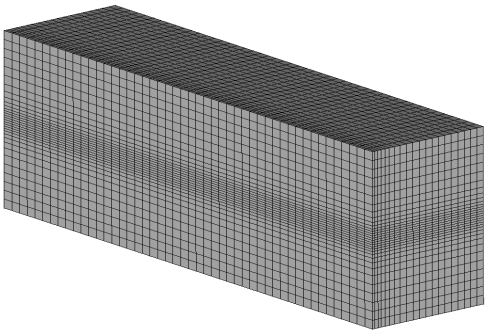


Рис. 1. Конечноэлементная сетка

2. Результаты моделирования

Нами были получены поля температур и напряжений (Рис. 2). Наблюдается сильно нелинейная зависимость температуры от координаты как в горизонтальной плоскости, так и по вертикали. Максимум температуры приходится точки контактной плоскости, находящиеся приблизительно в 2-3 мм от боковых граней.

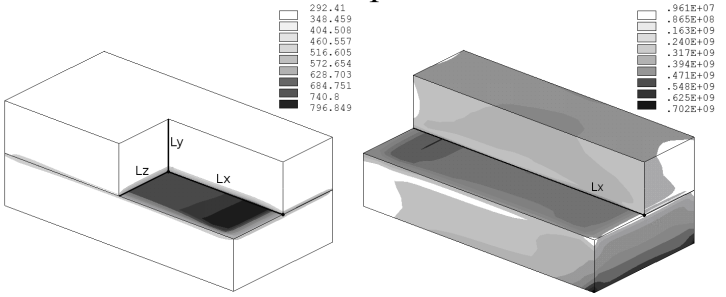


Рис. 2. Полученные поля температур (вверху) и напряжений (внизу) в момент времени 0.03 сек

Были рассмотрены распределения температуры и напряжений вдоль контрольных линий, показанных на рисунке 2. Перепад температуры в области контакта через 0,03 сек. достигает величины порядка 300 K (Рис. 3). Вследствие такой неравномерности нагрева контакта течение материала начнется в небольших локальных областях. За время 0,03 сек. прогревается небольшой слой материала – около 1 мм.

Максимальное напряжение возникает в плоскости контакта как результат теплового расширения материала. Во внутренней области контакта напряжения постоянны, но вдоль границ их величина резко уменьшается, как и значение температуры (Рис. 3). Следовательно, в моделируемом процессе определяющим фактором является температура. Поэтому предел текучести впервые достигается в точке максимального нагрева.

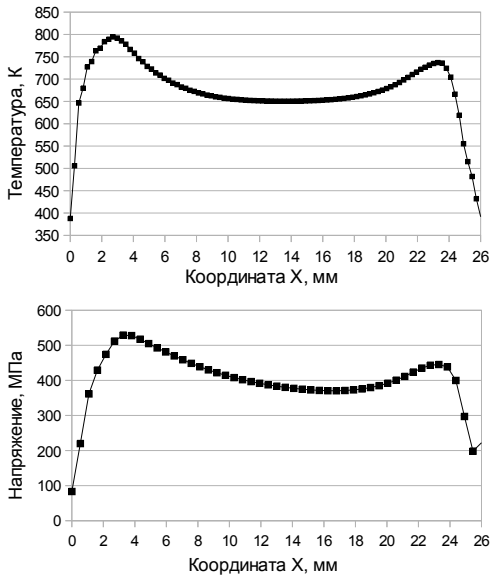


Рис. 3. Распределение температуры (вверху) и напряжений (внизу) вдоль линии Lx в момент времени 0,03 сек

Был определен момент времени появления пластических деформаций, т.е. достижения напряжениями предела текучести материала. На рисунке 4 показаны кривая предела текучести, взятая из библиотеки материалов инженерного пакета Deform 3D (линия А), и полученная при моделировании зависимость напряжения от температуры в точке максимального нагрева, где и начинается течение (линия Б). Зависимости на графике отображаются в параметрическом виде, в качестве параметра выступает время.

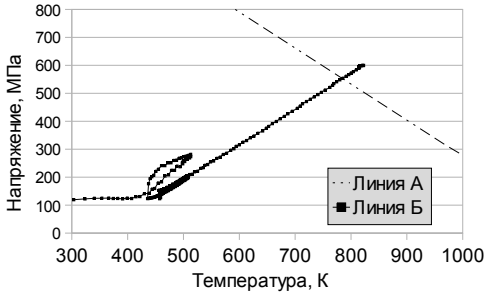


Рис. 4. Зависимость напряжения от температуры: линия А – предел текучести, определенный экспериментально, линия Б – напряжения, полученные в ходе моделирования

Предел текучести достигается в точке контакта верхнего образца, расположенной на расстоянии 3,25 мм вдоль оси Lx и 1,95 мм вдоль оси Lz от граней образца для температуры 815 К через 0,023 сек. после начала осцилляций.

Заключение.

В данной работе был смоделирован второй этап ЛСТ в инженерном пакете ANSYS Mechanical. Модель учитывает ряд важных факторов таких, как зависимость параметров материала, в том числе коэффициента трения, от температуры. В результате работы были получены и проанализированы температурные поля и поля напряжений, а также определен момент времени появления пластических деформаций.

Работа выполнена в рамках проекта «Создание технологий и промышленного производства узлов и лопаток ГТД с облегченными высокопрочными конструкциями для авиационных двигателей новых поколений» (шифр 2010-218-01-133) в рамках реализации постановления № 218 от 9.04.2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

ЛИТЕРАТУРА

1. A.Vairis, M.Frost. On the extrusion stage of linear friction welding of Ti6Al4V. Material Science and Engineering. A 271, (1999), pp 477—484.
2. Basic Analysis Guide // Release 13.0, ANSYS Inc. November 2010
3. ГОСТ 19807-91: Титановый сплав ВТ6

РАЗРАБОТКА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДА ДЕФЕКТОСКОПИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ВЛАЖНОСТНЫХ УСЛОВИЯХ НА ОСНОВЕ ЯВЛЕНИЯ МЕХАНОЭЛЕКРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Буканев И.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Актуальность работы. Проблема дефектоскопии технических конструкций из строительных материалов, эксплуатирующихся в различных температурно-влажностных условиях приводящих к изменению их дефектности, имеет важное практическое значение. Существующие методы контроля не обладают достаточной надёжностью и точностью. Для решения этой проблемы может быть использовано явление механоэлектрических преобразований, заключающееся в преобразовании энергии механического возбуждения в энергию электромагнитного поля на

заряженных неоднородностях структуры материала и пьезоэлектрических включениях.

Методы исследования. Исследования были выполнены с помощью лабораторного комплекса, позволяющего производить импульсное механическое возбуждение объектов исследования и регистрацию электрического отклика.

Основные результаты, полученные в ходе работы. Полученные закономерности изменения параметров электрического отклика на ударное возбуждение в процессе изменения размеров и концентрации искусственных дефектов должны учитываться при разработке неразрушающего метода контроля дефектности строительных материалов.

В качестве критерия оценки изменений дефектности гетерогенных материалов предложено использовать максимальный коэффициент взаимной корреляции спектральных характеристик электрических сигналов, который, судя по результатам исследований позволяет отслеживать изменение размера и концентрации дефектов.

Исследования поведения спектральных характеристик образцов тяжелого бетона при прорастании естественных трещин хрупкого излома в результате циклического знакопеременного температурного возбуждения подтвердили результаты на моделях с искусственными дефектами.

Установлено, что в процессе увлажнения гетерогенных материалов наблюдается значительная трансформация спектров электрических сигналов, что в свою очередь вызывает изменение максимального коэффициента взаимной корреляции. В дальнейшем при разработке метода неразрушающего контроля дефектности строительных материалов требуется учитывать влияние влажности на параметры механоэлектрических преобразований путём ввода поправочного коэффициента на влажность и построение градировочных зависимостей.

Проведенными исследованиями показана принципиальная возможность использования явления механоэлектрических преобразований для контроля за динамикой изменения дефектности материалов, что подтверждается результатами измерений на образцах с искусственными и естественными дефектами.

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ КОМПАКТИРОВАНИЕ КЕРАМИКИ

Ивашутенко А.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск

Качество керамических изделий во многом определяется плотностью заготовки до спекания. Опыт керамического производства свидетельствует о том, что наилучший результат получается в том случае, когда пористость сырой заготовки не превышает (30-40)%. Данное условие наиболее трудно выполнить при компактировании ультрадисперсных порошков (УДП), используемых при изготовлении керамики с улучшенными свойствами. В работе [1] показано, что пористость образцов, полученных из УДП по традиционной технологии одноосного прессования при давлении 500 МПа находится в пределах (50-60)%.

Одним из способов, позволяющих значительно увеличить плотность прессовок, является прессование с использованием ультразвука – ультразвуковое компактирование. В работе [1] исследовалась эффективность ультразвукового прессования УДП состава [0,8(ZrO2+4 M%Y2O3) – 0,2 Al2O3]. Установлено, что при оптимальном режиме УЗ-компактирования – мощность генератора 4кВт, время озвучивания 10 мин, статическая нагрузка 50 МПа, температура порошка в процессе прессования 360К – получен наилучший результат: пористость образцов не превышала 35%, что резко снизило температуру спекания озвученных изделий на (200-250)0С. Таким образом, обнаружено явление гигантского ускорения спекания керамики в результате ультразвукового (УЗ) компактирования, имеющее большое научное и практическое значение.

В связи с изложенным, перед нами была поставлена задача с помощью модельных расчетов теоретически исследовать возможную природу обнаруженного в [1] эффекта.

В работе выполнены расчеты, результаты которых подтверждают положение о том, что эффект УЗ-компактирования обусловлен интенсивными перемещениями порошинок друг относительно друга.

Показано, что соударяющиеся частички вещества испытывают давления, достигающие 100 МПа. Такие механические нагрузки при озвучивании способны вызывать разрушение полых сфероидов и агломератов.

Теоретический анализ позволил заключить, что при озвучивании наблюдается значительное увеличение активности порошка за счет роста концентрации точечных дефектов и дислокаций в кристаллических фазах порошинок.

Получены расчетные данные, свидетельствующие о высокой эффективности ультразвуковой “утряски” порошковой структуры, приводящей к ее уплотнению.

Таким образом, выполненные расчеты позволили конкретизировать природу УЗ-компактирования в следующем виде. Под действием ультразвука в прессобразцах происходят перемещение, деформация, разрушение, утряска и укладка порошинок. Крупные частицы образуют арочные структуры, которые под действием ультразвуковых колебаний многократно разрушаются и вновь создаются в конфигурациях, обеспечивающих более плотную упаковку. Более мелкие частицы перераспределяются и заклиниваются между крупными, что способствует уплотнению межчастичных контактов. Одновременно протекают процессы, увеличивающие дисперсность порошка.

Следовательно, ультразвуковое компактирование изделий из УДП представляет собой весьма эффективную операцию в технологии получения высококачественной оксидной керамики. Резкое снижение температуры спекания в результате ультразвукового прессования позволяет получить мелкозернистую керамическую структуру, не “отравленную рекристаллизационными” процессами. В данном случае эффект достигается использованием сравнительно дешевого оборудования, что делает ультразвуковое компактирование еще более перспективным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анненков Ю.М., Апаров Н.Н., Соколов В.М. и др Упрочнение корундоциркониевой керамики при ультразвуковом компактировании ультрадисперсных порошков. Стекло и керамика,1994, №11-12, с.25-27.

КАРБИД M7C3 В FE-CR-V-MO-C ПОКРЫТИИ

Горелов И.В, Дегтерёв А.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Известно, что износостойкость Fe-Cr-V-Mo-C композиционных материалов и покрытий на их основе зависит от свойств и состояния матрицы, размеров, формы и распределения в объеме высокотвердых частиц VC, а также объемной доли, дисперсности и равномерности распределения эвтектического карбида [1, 2]. Потому важно понимать, как

влияет режим наплавки на структурно-фазовый состав формируемых упрочняющих слоев.

В работах [3, 4] было исследовано влияние таких технологических параметров плазменно- порошковой наплавки как сила тока и скорость наплавки на макро- и микроструктуру композиционных Fe–Cr–V–Mo–C покрытий. Данная работа, являясь их продолжением, направлена на исследование влияния силы тока прямой полярности, изменяемой в диапазоне 160…260 А, и скорости подачи присадочного порошка, задаваемой от 1,1 до 2,2 кг/ч, на объемную долю и равномерность распределения эвтектического карбида по сечению наплавленного слоя.

В качестве наплавочного материала в работе использовался промышленный порошок ПР-Х18ФНМ фракцией от 125 до 200 мкм следующего химического состава (мас. %): 2,1…2,4 C, 17…19 Cr, 2…3 Ni, 7…8 V, 2…2,6 Mo, Fe – основа. В качестве основного материала использовали пластины из стали 20 размером 250×100×10 мм, поверхность которых предварительно шлифовалась.

Покрытия наносили на серийно выпускавшейся ВНИИЭСО установке УПН-303УХЛ4 с водоохлаждаемым плазмотроном. Для более высокого уровня защиты создаваемых упрочняющих слоев от вредного влияния атмосферного воздуха на плазмотрон устанавливали устройство дополнительного обдува зоны наплавки. В качестве плазмообразующего, транспортирующего и защитного газов применяли аргон высшего сорта. Покрытия наплавляли за один проход током прямой полярности, при расстоянии от плазмотрона до изделия 10…12 мм, расходе плазмообразующего газа 1…2 л/мин, транспортирующего 10…16 л/мин, для дополнительного поддува до 10…15 л/мин, напряжении на дуге 30…39 В. Силу тока изменяли в диапазоне 160…260 А с шагом в 20 А, расход присадочного порошка в диапазоне 1,1…2,2 кг/ч с шагом 0,3…0,4 кг/ч, скорость назначали равной 6 м/ч.

Анализ микроструктуры покрытий проводили на поперечных микрошлифах, вырезанных из зоны установившегося режима с помощью оптического микроскопа Olympus GX51, снабженного анализатором изображений SIAMS 700. Для оценки равномерности структуры по толщине формируемых покрытий, по их оси, от границы сплавления к вершине, прокалывали дорожку уколов (маркеров) алмазной пирамидой (угол при вершине 136°) при нагрузке в 0,981 Н с шагом 300 мкм. Справа и слева от каждого маркера анализировали микроструктуру.

Для анализа эвтектических карбидов использовали травитель следующего химического состава: 8,3 % K3[Fe(CN)6], 8,3 % KOH, 83,4 % H2O. Травление осуществляли при температуре 20 °C методом

погружения образцов, время травления 60 с. С помощью анализатора изображений оценивали объемную долю эвтектического карбида.

На основании анализа микроструктуры всех полученных упрочняющих слоев их можно характеризовать, как композиционные. Матрица в упрочненном слое представлена γ– и α– твердыми растворами. В качестве упрочняющих фаз выступают частицы карбида ванадия VC и эвтектический карбид M7C3.

Анализ распределения эвтектического карбида по сечению наплавленных покрытий позволил выявить ряд закономерностей. В случае наплавки покрытий токами 260…220 А с расходом порошка 1,1…1,9 кг/ч наблюдается относительно равномерное распределение эвтектического карбида от границы сплавления к поверхности упрочняющего слоя (рис. 1). Снижение тока до 200 А способствует уже при минимальном расходе присадочного порошка увеличению разницы между объемной долей M7C3 в нижней и верхней части наплавленного покрытия. Увеличение скорости подачи порошка и уменьшение силы тока приводит к формированию еще более неоднородной структуры. В ней по мере удаления от границы сплавления отдельные вытянутые в направлении теплоотвода эвтектические колонии начинают разориентироваться друг относительно друга и уменьшаться в размерах (расстояние между осями второго порядка уменьшается с 1,5…2 мкм до 0.6 мкм и меньше). Зона с разориентированными сетчатыми выделениями в покрытиях наблюдается на расстоянии не менее 1,5…2 мм от границы сплавления. Здесь погрешность измерения доли эвтектического карбида повышается вследствие увеличения его дисперсности.

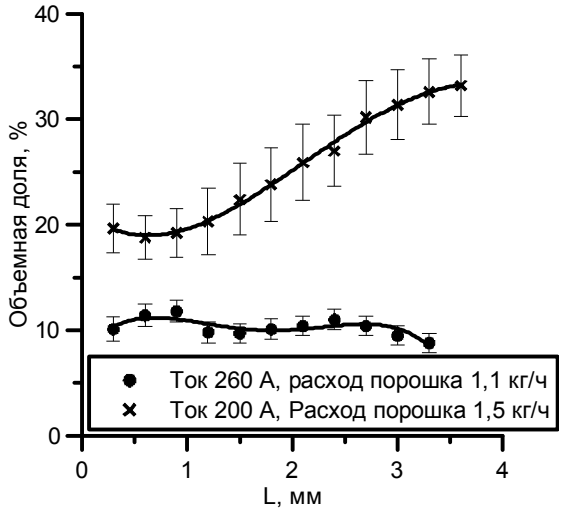


Рис. 1. Распределение по высоте покрытия объемной доли карбида M7C3 (L-расстояние от границы сплавление)

На рис. 2 представлена зависимость средней по сечению объемной доли эвтектического карбида от режима наплавки. Видно, что с увеличением силы тока от 160 до 260 А и уменьшением скорости подачи присадочного порошка от 2,2 до 1,1 кг/ч средняя объемная доля эвтектического карбида значительно уменьшается от 28,3±4,5 % до 10,3±1,0 %.

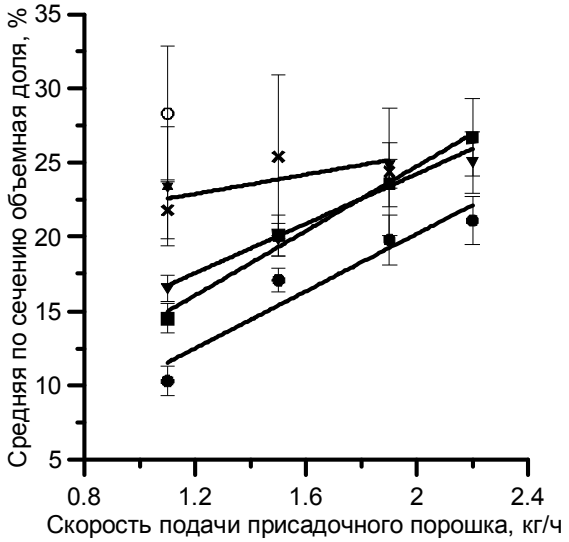


Рис. 2. Зависимость средней по сечению объемной доли карбида M7C3 от скорости подачи присадочного порошка

Это уменьшение можно связать, во-первых, с увеличением доли участия основного металла в наплавленном покрытии. На рис. 3 приведена зависимость средней объемной доли карбида M7C3 от доли участия основного металла в наплавленном. Видно, что с увеличением последней, объемная доля имеет тенденцию к снижению. По данным спектрального анализа снижение концентрации Cr, V и Mo в покрытии наплавленном током 250…260 А в сравнении с концентрацией в исходном порошке может достигать 20…25 %.

Помимо разбавления металла покрытия металлом упрочняемой пластины изменение содержания химических элементов и объемной доли эвтектического карбида может быть связано с выгоранием в ходе плазменной наплавки легирующих элементов, обладающих высоким сродством к кислороду.

Третьей причиной изменений структуры наносимого упрочняющего слоя в зависимости от режима наплавки является перераспределение легирующих элементов между матрицей, эвтектическим карбидом и карбидом ванадия.

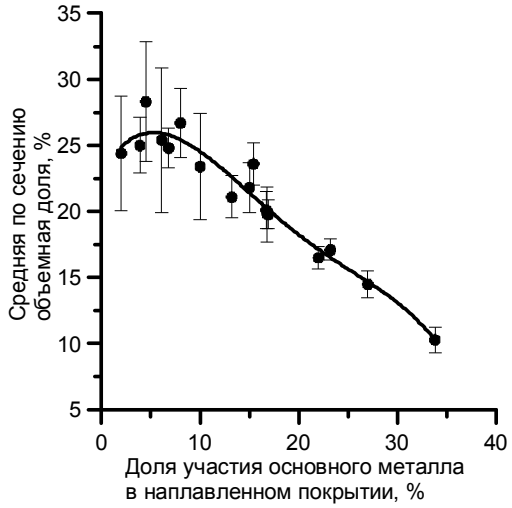


Рис. 3. Зависимость средней по сечению объемной доли карбида M7C3 от доли участия основного металла в наплавленном покрытии

Выводы:

1) Относительно однородное распределение эвтектического карбида по сечению упрочняющего слоя возможно получить при его наплавке током 220...260 А при скорости подачи присадочного порошка 1,1...1,9 кг/ч.

2) Средняя по сечению объемная доля карбида M7C3 в сформированных покрытиях может изменяться в зависимости от режима их нанесения в широком диапазоне от 10 до 30 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шейнман Е. Л. Абразивный износ. Обзор американской печати. Абразивная стойкость материалов//Трение и износ. – 2006. – № 1. – С. 110–122.

2. Шейнман Е. Л. Абразивный износ. Обзор американской печати // Трение и износ. – 2005. – № 1. – С. 100–110.

3. Дегтерев А.С., Советченко Б.Ф., Трущенко Е.А., Гнюсов С.Ф. Влияние технологических параметров плазменной порошковой наплавки на формируемую структуру покрытий системы Fe-Cr-V-Mo-C. Сварка и диагностика. – 2011. – № 4. – С. 13–20

4. Дегтерев А.С., Гнюсов С.Ф. Влияние технологических параметров плазменной порошковой наплавки током прямой полярности на формируемую структуру Fe–Cr–V–Mo–C покрытий. Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 2. – С. 87–94.

КОРРЕКТИРОВКА УГЛА СКАНИРОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ РАССТОЯНИЯ ДЛЯ ПОДВИЖНЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Пушкарев М.С., Стреминский А.С., Глиненко Е.В
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Специализированные робототехнические системы широко применяются в самых разных отраслях жизнедеятельности. Особый интерес представляют, получившие распространение в автомобильной промышленности, роботы с сонарами, к которым предъявляются высокие требования к точности позиционирования.

Для решения задач навигации используются специализированные системы ориентации. К таким системам относятся системы навигации, а также системы измерения расстояния до препятствия. Лучше всего для решения малобюджетных задач подходят системы, измеряющие расстояние до окружающих объект тел, использующие ультразвуковые датчики – сонары. Принцип действия сонаров основан на измерении временного отрезка между испускаемой звуковой волной и отраженной от препятствия. С помощью полученного времени можно легко определить расстояние до препятствия, зная скорость распространения звуковых колебаний в среде. Для получения испускаемой звуковой волны используются ультразвуковые излучатели.

Несмотря на свою простоту системы с сонарами требуют тщательной настройки, особенно это касается определения оптимального угла сканирования. Для эксперимента использовался учебный робот с ультразвуковым измерителем NI sbRIO-9631, способный ориентироваться в пространстве и выявлять наличия препятствий с помощью сонара.

Рассматриваемая система управления (рис. 1) включает в себя плату управления 1, которая однонаправленно интегрирована с приводами устройства: двигатель 3, привод сонара 5. Также к ней подключен ультразвуковой датчик (сонар) 4, расположенный сверху на раме робота, что позволяет ему беспрепятственно сканировать пространство. Робот приводится в движение приводами 3, управляемые платой управления. Движение колес контролируется платой управления с помощью датчиков 2.

Принцип работы следующий: Переключателем запускается плата управления (ПУ) 1 и двигатель 3. ПУ интегрируется однонаправленно с устройсвами 2, 3, 4, 5. Сразу после включения ПУ передает приводу сонара 5 значения угла сканирования и шага поворота привода сонара. Это необходимо для сканирования простраства на наличие препятствий

прикрепленным к роботу сонарным датчиком 4. Данный датчик передает плате управления результаты сканирования. После обработки данных ПУ устанавливает скорость и направление движения робота и отправляет соответствующие команды приводу колес. Во время движения датчиками вращения колес подается сигнал плате управления, с учетом которого в случае затруднения передвижения ПУ устанавливает в совокупности с данными сонара дальнейшее направление и скорость движения робота. Робот также имеет возможность расширения и интегрирования с различными датчикам.

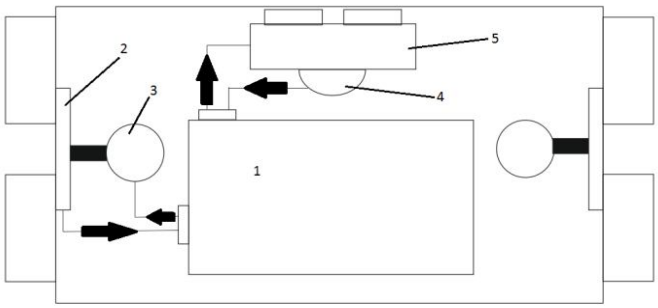


Рис. 1. Принципиальная схема взаимодействия элементов навигационной системы робота NI sbRIO-9631

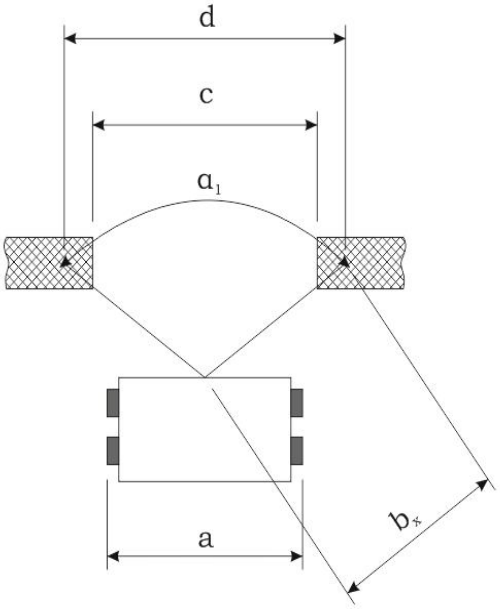


Рис. 2. Расчетная схема определения угла сканирования: a – ширина робота; b_x – дальность сканирования; α_1 – угол сканирования сонара; c – ширина прохода; d – ширина сканирования

В ситуации, когда ширина зоны сканирования значительно превышает габариты робота, сонар реагирует на объекты, не препятствующие движению (рис. 2), вследствие чего не проезжает в «узкие» проходы.

Данную проблему можно решить путем изменения значения угла α_1, при этом должны соблюдаться следующе условия:

$$c = d + \Delta, \text{ где } \Delta \to 0; \quad (1)$$
$$d = a + \Delta, \text{ где } \Delta \to 0.$$

Расчет угла производится по формуле:

$$\alpha_1 = 2\arcsin\frac{d}{2b_x}. \quad (2)$$

Данные для подсчета берутся с сайта производителя робота, либо в программном коде ПУ, либо определяются опытным путем (габариты корпуса, скорость движения и т.п.). Округление значения угла производится в большую сторону, т. к. должно соблюдаться условие (1) $c = d + \Delta$, где $\Delta \to 0$. В итоге значение угла сканирования для робота шириной около 39 см и дальностью сканирования пространства датчиком не менее 1 м составляет 0,4 рад или 23°. Во всех случаях производилось округление безопасное для соблюдения вышеуказанного условия (1).

Также теоретически предполагалось, что при движении робота вперёд и сканировании пространства на предмет препятствий появляется не сканируемая «слепая» зона А (рис. 3.), находящаяся на пути движения робота. Если в этой зоне будет точечное препятствие (рис. 3.), то робот не выявит его наличие. 1-1, 2-2 и 3-3 –последовательные векторы, указывающие направления и дальности сканирования в крайних положениях диапазона сканирования. Проблема зависит от скорости движения робота и от периода вращения сонара.

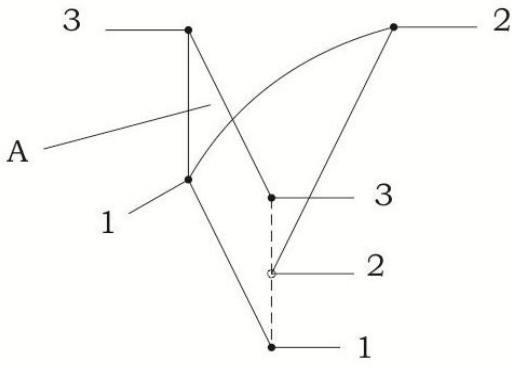


Рис. 3. «Слепая» зона

Но результаты расчетов показали, что проблема столкновения не актуальна, т. к. размеры «слепой» зоны компенсируются округлением значения вычисленного угла α_1 в большую сторону при его расчете.

С использований программного обеспечения LabView Robotics 2009 был изменен программный код платы управления с учетом рассчитанных данных. Затем многократно экспериментально проверили реакцию на имитированные препятствия. В случае, когда ширина прохода была на 10 см больше, чем ширина робота въезд в створ всегда был корректен. Напомним, что при первоначальном угле сканирования робот определял створ прохода как препятствие перед собой. В случае, когда ширина прохода была на 1 см больше, чем ширина робота въезд в проход проходит корректно, но иногда происходит столкновение колес с препятствием. Это связанно с тем, что иногда из-за неточности установки робота в стартовое положение сонар выявляет наличие препятствия (причем препятствие действительно находится на пути движения) и робот пытается его объехать (что верно). Во время его поворота образуется «слепая» зона, находящаяся на пути и не выявляемая в дальнейшем сонаром. Тем не менее, встроенные датчики движения колес корректируют его въезд в проход и ликвидируют возможность блокировки робота в проходе.

Выводы

В ходе выполнения работы теоретически определен и практических проверен оптимальный угол сканирования пространства на наличие препятствий.

Использование формулы (2) подходит для роботов, подобных рассматриваемому в данной статье с учетом слепой зоны A (рис. 3), которая зависит от скорости движения робота и периода вращения сонара. Показано, что тщательная настройка только сонара робота может значительно расширить его возможности передвижений.

На примере этого исследования можно пронаблюдать актуальность проблемы оптимизации робототехнических систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лысенко О.Н. Использование лазерных сканеров SICK AG для навигации мобильных роботов // Компоненты и технологии. – 2008.- № 1. – С. 56.

2. Getting Started Guide for the Robotics Prototyping Kit // National Instruments. URL: http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/10568 (дата обращения: 29.10.2011)

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКА ТИТАНА ПО ФТОРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Коровянский А.В., Сачков В.И., Макасеев Ю.Н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Титан и его сплавы обладают великолепными механическими свойствами, непревзойденной коррозионной стойкостью и выдающейся биосовместимостью, а так же имеют большой потенциал применения в различных сферах. Однако его потребление ограничено аэрокосмической и некоторыми другими областями промышленности из-за высокой стоимости металлического титана. Технология производства металлического титана чрезвычайно сложна и только менее 5 % всего добываемого в мире титанового сырья используют для выплавки металла. Такая высокая цена заложена в основном применяемом методе получения титана (процесс Кроля), который является сложным и нуждается в периодической остановке процесса восстановления. В дополнение отдельные расходы на переработку губки в конечную продукцию составляет около 25 % от ее стоимости [1].

Одним из путей снижения цены на изделия из титана является порошковая металлургия. Большая экономия достигается за счет уменьшения потерь и отходов металла на обточку слитков и на стружку и высечки при изготовлении изделий резанием или штамповкой из листовых, прутковых, литых и прокатанных заготовок. Только применение порошковой металлургии позволяет изготовлять всевозможные пористые изделия, детали сложных форм. Маленькие детали, выпускаемые большими партиями гораздо выгоде производить из порошков. Порошкообразный титан и его сплавы непосредственно применяются: в пиротехнике, в качестве инертного наполнителя для некоторых изделий из пластмасс, для геттеров, некоторых катализаторов и т.д. Основными методами получения порошков титана на данный момент являются: гидрирование-дегидрирование титана, механическое измельчение губчатого титана, плазмохимический синтез и электролитическое получение порошков титана в расплавах солей [2].

Большие усилия были приложены для развития альтернативных процессов получения дешевого металлического титана. Обширные изучения электрохимического разложения хлоридов и оксидов титана в расплавленных солях привели к развитию процессов электрохимического восстановления, таких как FFC, OS, EMR и PRP [3]. Электрохимическое восстановление исключает использование металла-восстановителя и этап его регенерации из его хлоридов электролизом, что позволяет упростить

технологическую схему и снизить стоимость конечной продукции. Однако на данный момент ни один электрохимический процесс пока не получил промышленного применения и не использует для электрохимического получения титана и его сплавов напрямую. Качество порошка получаемого электролизом сравнимо с получаемым йодидным методом.

Нами была предложена технологическая схема получения высокочистых порошков титана электролитическим разложением тетрафторида титана, которые могут в дальнейшем использоваться в порошковой металлургии. Принципиальная технологическая блок-схема представлена на рисунке 1. Первый этап предполагает получение тетрафторида титана пригодного для электролиза и в ряде случаев для металлотермии из титансодержащего сырья в никелевом реакторе прямым фторированием элементным фтором. В качестве исходного титансодержащего сырья могут выступать титановые концентраты, отходы титанового производства. Процесс фторирования диоксида титана можно выразить реакцией:

$$TiO2 + 2F2 \rightarrow TiF4 + O2$$

Процесс протекает с саморазогревом продуктов до 300-350 °С. Степень фторирования оксида титана при температуре 200 °С находится в пределах 95,0-97,0%. Полученный газообразный тетрафторид титана отделяется от нелетучих примесей и затем конденсируется. Вторым этапом является непосредственное получение металлического титана. Перед проведением электролиза необходимо подготовить расплав электролита. В качестве электролита была выбрана низкоплавкая (tпл=472 °С) эвтектическая смесь фторидов щелочных металлов (0,5 М LiF - 0,39 М KF - 0,11 М NaF) [4] называемая флинаком. После расплавления фторидных солей электролизер герметизируется, и заполняется инертным газом. Полученный TiF4 сублимируется и порциями подается в расплав в газообразном состоянии. Процесс насыщения электролита сопровождается значительным выделением тепла. При растворении TiF4 во фторидной эвтектике образуется комплексная соль:

$$TiF4(г)+KF(LiF, NaF)(ж) = K2(Li, Na)2TiF6(ж)$$

При подаче на электроды постоянного тока в электролизере протекают процессы:

- на катоде: $Ti4++ 4e \rightarrow Ti°$
- на аноде: $4F- - 4e \rightarrow 2F2 °$.

Таким образом, на катоде происходит выделение порошка титана (катодный осадок), а на аноде - элементного фтора (F2). Катодный осадок (порошок титана в смеси с электролитом) срезается ножами с катода электролизера и собирается в приемной емкости, являющейся принадлежностью электролизера. Образующийся на анодах элементный

фтор (F2) собирается под крышкой электролизера, а затем после очистки от аэрозолей направляется на поглощение, регенерацию и затем возвращается в цикл. Выведенный из электролизера электролит восполняется новыми его порциями. Для этого из бункера загрузочного устройства электролизера после каждого среза и вывода катодного осадка шнеком подается порошок электролита. На завершающем этапе полученный катодный осадок (порошок титана с электролитом) извлекается из приемной емкости электролизера (по мере ее заполнения) и отправляется на отмывку и затариванию конечной продукции. Полученный товарный порошок титана может направляться на нужды порошковой металлургии или применяться для синтеза важнейших соединений титана (оксиды, карбиды, бориды, нитриды, гидриды и т.д.).

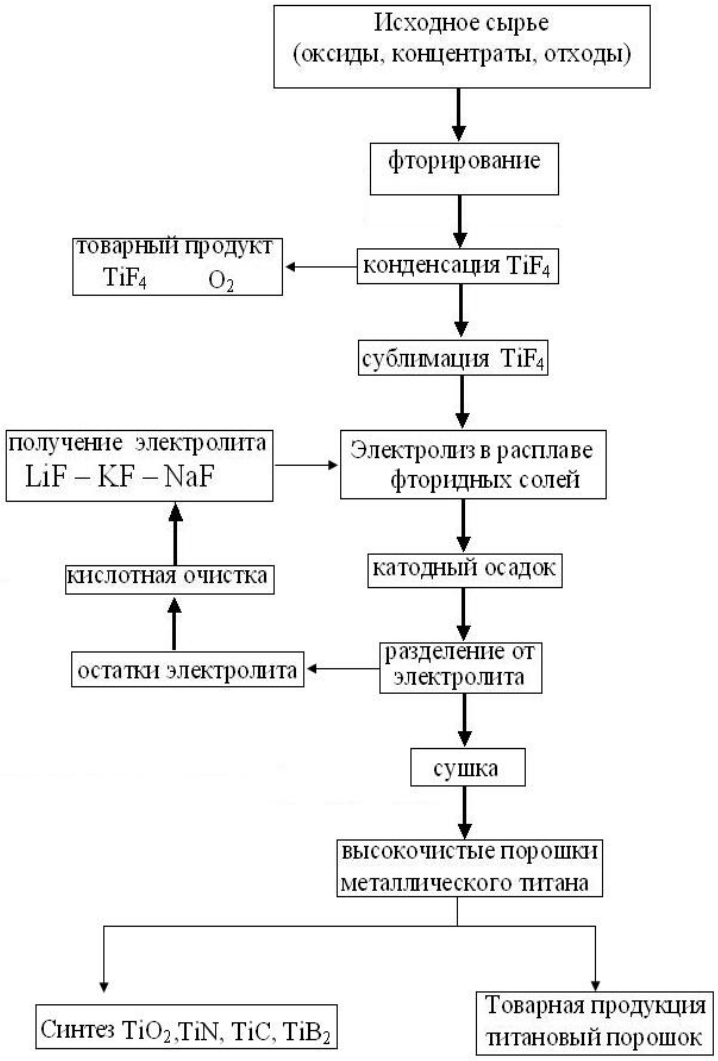


Рис.1. Технологическая схема получения порошка титана электролизом фторида титана

Предложенная нами схема получения порошков металлического титана имеет следующие преимущества:

- исключает сброс фтора и химически вредных веществ в окружающую среду
- обладает замкнутостью технологических процессов
- процесс протекает при умеренных температурных режимах
- отсутствуют взрывоопасные процессы
- высокая производительность оборудования
- возможность автоматизации процессов
- возможность использования различного исходного титансодержащего сырья
- низкая себестоимость конечной продукции

Применение электролитического способа получения титана позволяет снизить его стоимость за счет исключению из технологической схемы применения металла-восстановителя и стадию его регенерации. К тому же данная схема является замкнутой и экологически безопасной. Гибкая технологическая схема дает возможность применения различного титансодержащего сырья и быстрое переключение с одного вида сырья на другое. Применение низкоплавкой эвтектической солевой системы позволяет снизить температуры процесса и как следствие энергетические затраты. Кроме того получение непосредственно порошка является более экономически выгодным, чем получение губки. Полученные высокочистые порошки титана могут применяться как в порошковой металлургии, или для производства геттеров, так и для получения различных соединений титана.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

ЛИТЕРАТУРА

1. Hartman A.D., Gerdeman S.J., Hansen J.S. Producing Lower-Cost Titanium for Automotive Applications // JOM. - Sept. 1998. - P.16-19.

2. И.Ф. Червоный, Д.А. Листопад, альтернативные технологии производства титана, Запорожская государственная инженерная академия, выпуск 22, 2010 г.

3. Wang Bixia, ZhouLianb, Lan Xinzhea, Zhao Xichenga and Cui Jingtaoc, Rare Metal Materials and Engineering, Volume 39, Issue 9, September 2010, Pages 1513-1518

4. Карелин В.А., Карелин А.И. Фторидная технология переработки концентратов редких металлов. – Томск: Изд-во НТЛ,2004. – 184 с.

ВРАЩАЮЩАЯСЯ ЭЛЕКТРОДНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЧИСТКИ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫМ МЕТОДОМ

Байменшин А.М., Журавлев М. В., Шубин Б. Г.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Дуговая сварка продолжает оставаться одной из наиболее распространенных технологий сварочного производства. В большей степени это относится к сварке плавящимся электродом. Что касается сварки неплавящимся электродом, то по объемам применения она заметно уступает сварке плавящимся электродом. В то же время обе технологии продолжают развиваться и совершенствоваться.

Объем потребления сварочной проволоки остается неизменно высоким и имеет тенденцию к росту, которая по прогнозу экспертов будет сохраняться и в ближайшем будущем, что приведет к стабилизации применения покрытых электродов на уровне 15-20%. Примерно такой уровень потребления электродов уже достигнут в европейских странах с развитой экономикой.

Основными факторами, определяющими результат механизированной дуговой сварки, являются: качество электродной проволоки, эффективная защита зоны сварки, правильный выбор источников питания и сварочного оборудования в целом, профессиональная квалификация сварщика и техническая культура производства. Для потребителя важны такие характеристики электродной проволоки, как:

- допустимое отклонение от номинального диаметра;
- постоянство химического состава;
- состояние поверхности;
- обеспечение надежности токоподвода;
- временное сопротивление разрыву;
- диаметр намотки и собственное напряжение «закрутки»;
- размеры кассет и катушек для проволоки;
- вид намотки и упаковки.

Актуальной проблемой технологии сварки является очистка поверхности используемой проволоки. При автоматической сварке необходимо удалить с поверхности проволоки разного рода загрязнения, так как они значительно увеличивают контактное сопротивление, что приводит к ухудшению качества сварки.

Обработка сварочной проволоки может быть осуществлена несколькими способами. В настоящее время в основном используется дорогостоящая омедненная сварочная проволока.

Основное назначение медного покрытия заключается в обеспечении хорошего электрического контакта при подаче сварочного тока на проволоку. Но, с экологической точки зрения применение медного покрытия на сварочной проволоке приводит к опасному загрязнению производства и окружающей природы. Кроме того, качество сварного шва снижается при использовании омедненной проволоки.

В качестве альтернативы омеднению ведущие мировые производители освоили выпуск проволоки со шлифованной и полированной поверхностью. Ее стоимость на 5 .. 8% выше, чем омедненной.

Недостатком этих методов подготовки проволоки является интенсивное корродирование сварного шва в атмосфере влажного воздуха.

Существуют и другие методы для очистки поверхности, но не все они является экологически чистыми, безопасными, малозатратными и эффективными.

В связи с этим необходимы недорогие (как по стоимости, так и в эксплуатации) установки для очистки поверхности, которые бы обеспечивали ее высокую коррозионную стойкость. Этим требованиям отвечает плазменно-дуговой и электроискровой способы обработки поверхности.

Плазменно-дуговые установки позволяют экологически чисто, высококачественно и дешево очистить и обезгазить сварочную проволоку перед ее применением. При этом одновременно осуществляется термовакуумная обработка сварочного материала, что еще больше повышает качество сварки. Стоимость плазменно-дуговой очистки сварочной проволоки существенно ниже, чем кислотная или другая очистка.

Перспективным, по нашему мнению, представляется электроискровой метод очистки поверхности металла. Этот метод также является экологическим чистым и в отличие от плазменно дугового позволяет обрабатывать проволоку диаметром до 1мм.

Ранее проводились работы по исследованию очистки поверхности металла электроискровым методом [1], [2]. В данных работах показана возможность очистки металла от коррозии электроискровым методом. Но в данных работах исследования проводились на листовой стали, а не на проволоке. Для проведения экспериментов на проволоке была разработана электродная система с вращающим электродом, позволяющая обработать ее поверхность (рис. 1).

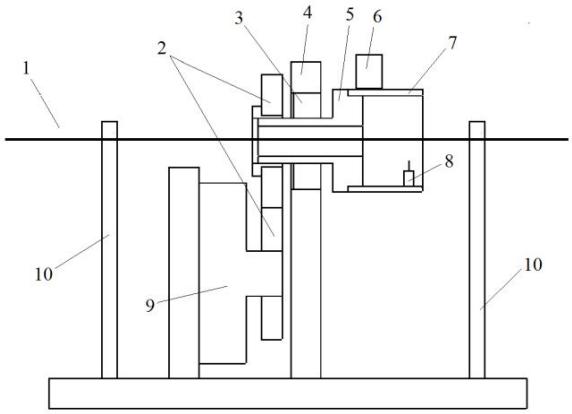


Рис.1. Электродная система: 1 – проволока (катод), 2 – шестерни, 3 – подшипник, 4 –опора, 5 – втулка, 6 – угольная щетка, 7 – латунный цилиндр, 8 – высоковольтный электрод, 9 – двигатель, 10 – направляющие стойки

Электродная система состоит из двух электродов. Роль низковольтного электрода выполнят очищаемая проволока 1. Высоковольтным электродом является латунный цилиндр 7 с вольфрамовым наконечником 8. Латунный цилиндр закреплен на опоре 4 при помощи изолирующей втулки 5 и подшипника 3. Вращение высоковольтного электрода осуществляется двигателем 8 при помощи двух шестерен 2. Высокий потенциал передается на высоковольтный электрод при помощи угольной щетки 6. Чтобы проволока на участке обработки была прямой, ее пропускают через две направляющие стойки. Также направляющие стойки предназначены для того, чтобы обеспечить плавность хода проволоки и ее заземление.

Для подачи проволоки предназначена система состоящая из подающей и принимающей катушек с приводом вращения принимающей катушки. При вращения привода проволока наматывается на принимающую катушку проходя через вращающую электродную систему.

Скорость движения проволоки и скорость вращения высоковольтного электрода выбирается таким образом, чтобы очистить всю поверхность.

Был сделан расчет скорости вращения высоковольтного электрода.

За основу в расчете берется то, что высоковольтный электрод вращается вокруг проволоки, оставляя на ней очищенные пятна с диаметром d. Каждое следующее пятно перекрывает предыдущее на 50% по диаметру. После полного оборота по окружности проволоки получается очищенная линия с шириной равной диаметру пятна. Таким образом скорость движения проволоки и вращения электрода зависят от частоты

генератора, диаметра эрозионного пятна и диаметра проволоки. Учитывая выше изложенное можно вывести следующие выражения:

$$N = \frac{\pi \cdot d}{0{,}5 \cdot d_{пятно}}$$

$$\nu = \frac{d_{пятно} \cdot f}{d}$$

$$\vartheta = \frac{0{,}5 \cdot d_{пятно} \cdot f}{N}$$

ν – частота вращения электрода.

ϑ – скорость движения проволоки.

d – диаметр проволоки.

dпятно – диаметр пятна.

N – количество пятен по окружности проволоки.

f – частота генератора.

Вследствие обработки на проволоке получается винтовая спираль с перекрытием в половину d.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров Ю. П., Журавлев М. В., Ремнев Г. Е., Слободян М. С., Стрелкова И. Л., Шубин Б. Г. Электроискровая очистка поверхности стали 08Г2С // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 2. – С. 63-67.

2. Егоров Ю. П., Журавлев М. В., Ремнев Г. Е., Слободян М. С., Стрелкова И. Л., Шубин Б. Г. Формирование аморфного приповерхностного слоя при электроискровой обработке стали 08Г2С // Изв. вузов. Физика. – 2011. – №11/3. – С. 175-178.

ПЛАНЕТАРНАЯ МЕЛЬНИЦА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ

Гурин С.Ю.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Создание наноиндустрии в России невозможно без развития технологий измельчения и получения дисперсно-упрочненных композиционных материалов. Процессы измельчения широко применяются в химической и керамической промышленности, в порошковой металлургии, в производстве катализаторов и лекарственных средств, во многих других отраслях. Использование новых технологий измельчения позволит повысить конкурентоспособность российских предприятий.

Несмотря на многочисленные попытки использования для разрушения материалов различных физических эффектов, в промышленности преимущественно реализуется механический способ воздействия. Общеизвестно, что степень измельчения при этом зависит не только от величины приложенной нагрузки, но и от частоты циклов воздействия.

С этой точки зрения определенный интерес представляют планетарные мельницы, у которых усилие разрушения создается инерционными силами. В таких мельницах можно легко изменять не только величину усилия, но и частоту циклов воздействия.

Удельная производительность таких мельниц в несколько раз выше, чем вращающихся шаровых. Интенсивность «вкачивания» энергии в материал (передачи энергии от привода мельницы к измельчаемому материалу) в данных мельницах на порядок превосходит традиционные (щековые, конусные, шаровые) мельницы. Из-за большой энергонапряженности конструкции таких мельниц в настоящее время имеют небольшие размеры и их применяют только когда необходима относительно малая производительность. При увеличении габаритов (для повышения производительности по переработке больших потоков материала) надежность конструкции резко снижается и мельницы выходят из строя.

Одной из причин, которые сдерживают широкое использование планетарных мельниц, является отсутствие методики расчета их кинематических и динамических характеристик.

Проектируемая планетарная мельница представляет собой агрегат из нескольких барабанных мельниц, смонтированных на вертикальном водиле (рис.1). На оси каждой мельницы насажены шестерни, которые находятся в зацеплении с неподвижным зубчатым колесом. При этом шестерни находятся под углом $\alpha=80^{\circ}$ относительно вертикальной оси водила, что дает в совокупности с особой формой барабана необходимое истирающее воздействие шаров на измельчаемый материал. При вращении водила барабанные мельницы вращаются относительно оси водила, а также вокруг собственных осей. Мелющие тела, находящиеся в барабанах, испытывают действие дополнительных центробежных сил, возникающих при вращении барабана вокруг оси водила.

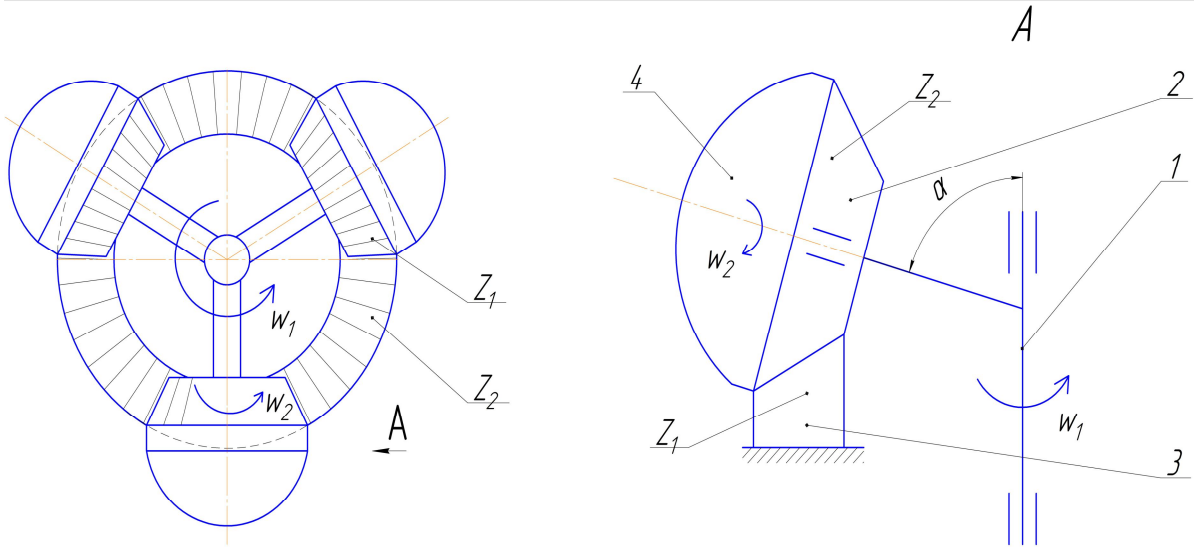


Рис.1. Схема планетарной мельницы
1-водило, 2-зубчатое колесо барабана, неподвижное зубчатое колесо, 4-барабан

Частицы измельчаемого материала претерпевают множество соударений с мелющими телами и стенками барабана. При высоких ускорениях барабанов в результате интенсивной механической обработки происходит изменение физико-химических свойств порошков. Механически активированные частицы обладают повышенной реакционной способностью и легче вступают в химические реакции, чем порошки, полученные другими методами.

Из рисунка 2 видно, что шар поднимается по стенке барабана за счет силы τ, которая находится из векторной разности сил действующих на шар. Причем эта сила всегда положительна.

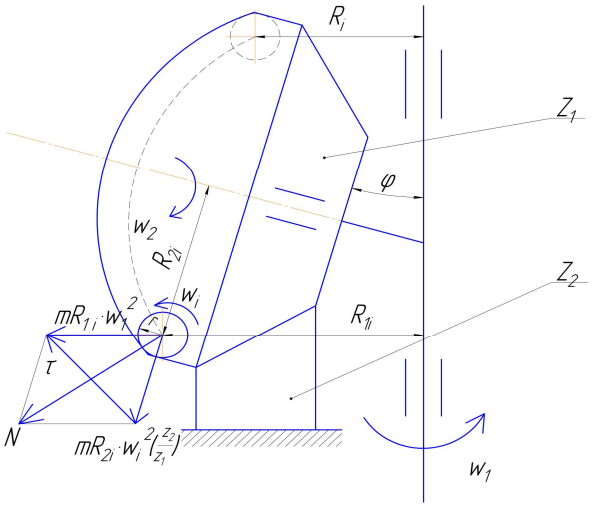


Рис.2. Схема сил при движении шара

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d\omega}{dt} r + \varphi \cdot \omega \cdot r$$

следовательно:

$$\frac{d\omega}{dt} r + \varphi \cdot \omega \cdot r = \tau \qquad (1)$$

С помощью уравнения (1) можно определить силу заставляющую шар подниматься вверх вдоль стенки барабана.

Рассмотрим уравнение движение шара от его перемещения по осям x и y (см. Рис.3).

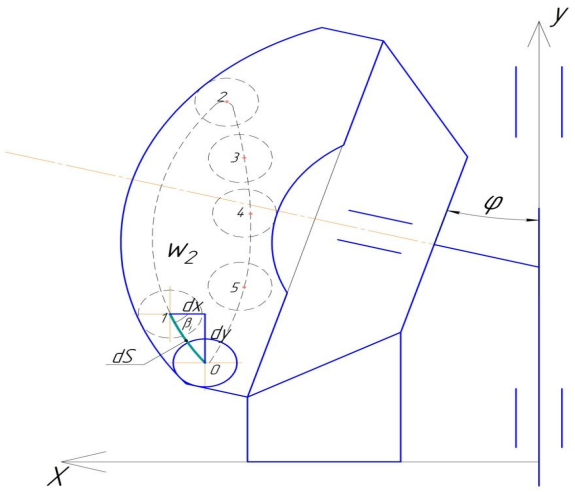


Рис.3. Схема движения шара

Шар движется из 0 точки, в точку 1 совершая перемещение dS, при этом dS можно рассматривать как прямую. Тогда:

$$dS^2 = dx^2 + d^2 y \text{ , где } dx = dS \cdot \sin \beta_i$$

Исходя из этого, запишем уравнение движения:

$$m \frac{dV_S}{dt} + \varphi_{VS} \cdot V_S = \tau(x_i, y_i, \omega) + G(x_i, y_i) \qquad (2)$$

Где $\varphi_{VS} \cdot V_S = F_{втр}$ - сила вязкого трения, φ_{VS} – коэффициент сопротивления.

Уравнение (2) можно разложить в систему по x и y.

$$\begin{cases} m \frac{dV_{Xi}}{dt} + \varphi_{VX} \cdot V_X = \tau_X(x_i, y_i, \omega) + G_X(x_i, y_i) \\ m \frac{dV_{Yi}}{dt} + \varphi_{VY} \cdot V_Y = \tau_Y(x_i, y_i, \omega) + G_Y(x_i, y_i) \end{cases} \qquad (2.2)$$

Где G-вес мелющего тела. Отрыв мелющего тела от барабана наступает в том случае, когда правая часть уравнения равна нулю:

$\tau(x_i, y_i, \omega) + G(x_i, y_i) = 0$

На основании схем сил и движения (Рис.2. и Рис.3.) получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} m \cdot R_1 \cdot \omega_1^2 = m\dfrac{dV_{Xi}}{dt} + \varphi_{VX} \cdot V_X - G_X(x_i, y_i) \\ m \cdot R_2 \cdot \omega_2^2 = m\dfrac{dV_{Yi}}{dt} + \varphi_{VY} \cdot V_Y - G_Y(x_i, y_i) \end{cases}$$

Следовательно:

$$\begin{cases} R_1 = \dfrac{m\dfrac{dV_{Xi}}{dt} + \varphi_{VX} \cdot V_X - G_X(x_i, y_i)}{m \cdot \omega_1^2} \\ R_2 = \dfrac{m\dfrac{dV_{Yi}}{dt} + \varphi_{VY} \cdot V_Y - G_Y(x_i, y_i)}{m \cdot \omega_2^2} \end{cases} \quad 3)$$

Уравнение (3) позволяет определить траекторию движения шара с заданными характеристиками, в барабане планетарной мельницы, а так же подобрать оптимальный режим для измельчения порошков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров В.Л., Андреев Е.Е., Биленко Л.Ф. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. - М.: Недра, 1990. - 301 с.

2. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики . – М.:Высшая школа , 1998 – 416 с .

3. Бушуев Л. П. Многорежимная планетарная мельница//Горный журнал. 1965. - № 10. - С. 148.

4. Кочнев В.Г. Симанкии С.А. Планетарные мельницы для тонкого и сверхтонкого помола. // Изв. вузов. Горный журнал. 1997.-№3.-с. 47-48.

5. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. М.: Химия. 1977. 368 с.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПЕРЕМЕШИВАТЕЛЕЙ БУРОВОГО РАСТВОРА

Ивкина О.П., Черемнов А.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время наиболее перспективную и лидирующую позицию на рынке занимает нефтегазовая отрасль. Нефть и газ добывают из скважин, строительство которых представляет собой сложный комплекс проводимых работ, требующий больших материальных вложений.

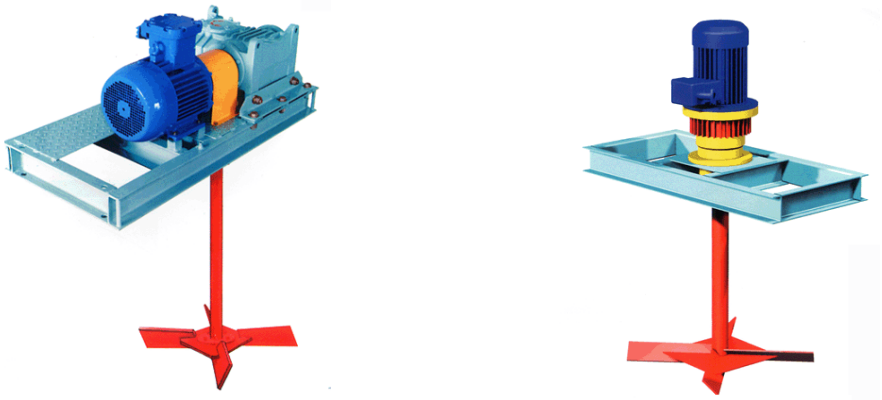
При вращательном способе бурения разрушенная порода удаляется из скважины посредством бурового раствора. Наибольшее распространение в отечественной практике бурения скважин получили глиняные растворы. К недостаткам растворов такого типа следует отнести

выпадение глины в осадок. Вследствие чего, для поддержания однородности массы, необходимо осуществлять постоянное перемешивание раствора.

Выпускаемые для этой цели перемешиватели бурового раствора представляют собой сложную механическую систему. Перемешиватель бурового раствора предназначен для перемешивания буровых растворов, растворов реагентов и других жидкостей плотностью до 2,2 г/см3 в резервуарах с объёмом до 40 куб. м и высотой до 2 200 мм для очистки бурового раствора с целью предотвращения отстоя в емкости.

В зависимости от вида редуктора перемешиватели делятся на два больших типа [1]: с червячным редуктором, рис. 1, а; и редуктором с промежуточными телами качения (ПТК), рис. 1, б. Перемешиватели бурового раствора на основе редукторов с ПТК более компактны, обладают значительно меньшей массой (вместо 450 кг, составляет 250 кг) и, при одинаковых выходных параметрах (частота вращения крыльчатки и выходной крутящий момент), потребляют меньшее количество электроэнергии. Мощность перемешивателя бурового раствора на основе редуктора с ПТК снижена до 5,5 кВт по сравнению с 7,5 кВт, необходимыми для работы перемешивателя на основе червячного редуктора. Диаметр крыльчатки и частота её вращение в обоих случаях остаются одинаковыми. Кроме этого перемешиватели на основе редуктора с ПТК способны кратковременно выдерживать нагрузки, пятикратно превышающие номинальные.

Несмотря на очевидные преимущества перемешивателей бурового раствора на основе редуктора с ПТК, применяемая на сегодняшний день конструкция редуктора[2], не лишена недостатков: трение тел качения о стенки сепаратора, и, как следствие, снижение коэффициента полезного действия и ресурса работы передачи.



а б

Рис. 1. Перемешиватели бурового раствора: а) на основе червячного редуктора; б) на основе редуктора с ПТК

Для решения данной проблемы предлагается схема соосного редуктора с ПТК, рис. 2, выполненного на основе передачи, рассмотренной в работе [3]. В предлагаемой схеме сепаратор не несет нагрузки, а применяется только для удержания тел качения на заданном расстоянии. Кроме этого пространственное исполнение редуктора позволяет уменьшить осевые размеры в сравнении с устанавливаемым на данный момент редуктором с ПТК.

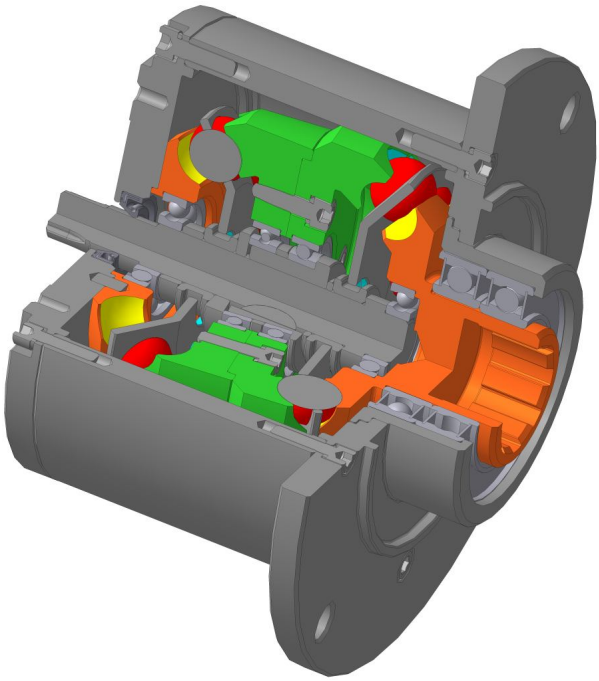


Рис. 2. 2К-Н передача на основе зацепления посредством третьего тела

ЛИТЕРАТУРА

1. Перемешиватели бурового раствора // [Электронный ресурс]. URL: http://ungmk.ru (дата обращения 16.03.2013).

2. Мотор-редуктор с погружным распылителем: Пат. 87927; Заявлено 05.03.2009; Опубл. 27.10.2009, Бюл. № 30.

3. Черемнов А.В., Ан И-Кан, Ивкина О.П. Синтез пространственной передачи с промежуточными телами качения с улучшенными качественными характеристиками // Известия Томского политехнического университета. - 2012 - Т. 321, - № 2 - С. 26 – 30.

ИЗУЧЕНИЕ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА НА ДОСТОВЕРНОСТЬ КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Мотовилов И.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Испытания высоким напряжением являются обязательными в производстве кабельных изделий, для обеспечения качества изделий. Испытания позволяют выявлять локальные дефекты и утоньшения изоляции, не обнаруживаемые иными методами. Такой метод является прямым неразрушающим методом контроля способности изоляции выдерживать воздействия перенапряжений позволяет контролировать качество изоляции в процессе производства кабельных изделии.

Существуют отличия в требованиях к проведению испытаний в стандартах Международной Электротехнической Комиссии (МЭК) и Российского ГОСТа 2990. В свою очередь это приводит к определенным отличиям в конструкции испытательного оборудования, российского и импортного производства.

Методы контроля постоянно совершенствуются. При оценке возможностей различных методов важным вопросом является вопрос о влиянии параметров импульса на стабильность и чувствительность метода испытания.

В качестве образцов планируется взять кабельные изделия с изоляцией из ПВХ, кабельной резины, полиэтилена (низкой и высокой плотности), в том числе из сшитого полиэтилена. Такой выбор связан с тем, что для кабельных изделий на среднее и высокое напряжение эти материалы являются основными при производстве изоляции.

При испытаниях высоким напряжением используются три основных вида испытательных напряжений: повышенное напряжение промышленной частоты, выпрямленное постоянное напряжение и импульсное испытательное напряжение.

Время приложения напряжения промышленной частоты – 1 мин, и изоляция считается выдержавшей испытания, если за это время не наблюдалось пробоя или частичных повреждений изоляции. Иногда проводят испытания напряжением повышенной частоты (обычно 100 или 250 Гц). При таких испытаниях нагрузка на изоляцию существенно меньше, чем при испытаниях переменным напряжением, поэтому для пробоя дефектной изоляции требуется более высокое постоянное напряжение, чем испытательное переменное напряжение.

Время приложения постоянного испытательного напряжения составляет от 5 до 15 мин. Изоляция считается выдержавшей испытания,

если она не пробилась, а значение тока утечки к концу испытаний не изменилось или снизилось. Недостаток постоянного испытательного напряжения состоит в том, что это напряжение распределяется по толще изоляции в соответствии с сопротивлениями слоев, а не в соответствии с емкостями слоев, как при рабочем напряжении или при перенапряжении.

Импульсные напряжения с фронтом 1.2 мкс и длительностью до полуспада 50 мкс. Испытания импульсным напряжением производят потому, что изоляция в процессе эксплуатации подвергается воздействию грозовых перенапряжений со схожими характеристиками. Воздействие грозовых импульсов на изоляцию отличается от воздействия напряжения частотой 50 Гц. Амплитуда импульса выбирается исходя из возможностей оборудования, защищающего изоляцию от перенапряжений, с некоторыми запасами, и исходя из возможности накопления скрытых дефектов при многократном воздействии импульсных напряжений

Для проведения работы необходимо разработать стенд для проведения испытаний в лабораторных условиях. Состоящий из высоковольтных блоков различного производства: Корона-ЗАСИ-М (Россия) и Sikora 2030 (Германия). Так же необходимо нанести искусственные дефекты изоляции разных типов на образцы кабельных изделий. Режим испытаний будет проходить на различных частотах (60 Гц – стандарт РФ и 170 Гц – стандарт МЭК) при напряжение 7кВ. Напряжение будет понижаться до достижения разницы в результатах испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ларина Э.Т. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии.– М.: Энергоатомиздат. - 1996. 386 с.

2. Интернет–ссылки: www.abb.ru, www.ruscable.ru, www.kamcable.ru, www.helukabel.ru, www.news.elteh.ru.

3. ГОСТ 2990-78.

4. Стандарт Международной Электротехнической Комиссии (МЭК) CEI/IEC 62230- 2006. Electric cables – Spark-test method.

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТЕЙ ОХЛАЖДЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ СЕЧЕНИЯХ ОТЛИВОК ИЗ НИКЕЛЕВОЙ БРОНЗЫ

Петренко Ю.Н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

В настоящее время в машиностроении большое количество деталей изготавливается из медных сплавов - бронз. Там где от таких сплавов требуются повышенные прочностные характеристики, применяется никелевая бронза. Однако из-за её высокой дороговизны количество применяемых в промышленности марок никелевых бронзы крайне ограниченно, а сами никелевые бронзы слабо исследованы. Вместе с тем высокий предел прочности на разрыв и хорошие триботехнические характеристики делают эти сплавы в ряде случаев просто незаменимыми.

Сотрудниками кафедры МТМ ТПУ проводятся экспериментальные работы по выявлению закономерностей влияния условий кристаллизации на структуру и свойства таких никелевых бронз. В ходе проводимых исследований, было показано, что скорость охлаждения влияет на структуру и свойства таких бронз. Кроме того, скорость охлаждения не постоянна по всему сечению отливки, что дает различную структуру по сечению. Уже имеющиеся данные в литературе содержат лишь качественные данные об этом. В результате появилась задача количественной оценки влияния скорости охлаждения.

Для решения поставленной задачи сотрудниками кафедр ПМЭ и МТМ ТПУ был создан «Термограф» для построения зависимостей температуры охлаждаемой отливки от времени (Рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид прибора «Термограф»

Прибор имеет 8 хромель-алюмелевых термопар. Регистрация значений термо-э.д.с. термопар ведется с помощью высокоскоростного прибора «Термограф». Значение термо-э.д.с. преобразуется с помощью аналогово-цифрового преобразователя и записывается в память прибора. Прибор способен регистрировать до 40 значений термо-э.д.с. в секунду. Далее обработка результатов и построение графических зависимостей

осуществляется на персональном компьютере при помощи программы «TermoXp».

Таким образом, в данной работе изучалось неравномерность охлаждения отливок, а так же определялись скорости охлаждения материала в различных сечениях отливки. Исследуемые бронзы выплавляли в высокочастотной индукционной тигельной печи ВЧГ2-100/0,66 из технически чистых компонентов в тигле из графита. Состав шихты исследуемой бронзы приведен в таблице 1.

Таблица 1.

Содержание элементов % масс

Марка бронзы	Содержание элементов, % масс			
	Sn	Ni	Cu	Раскислитель
БрОН10-20	10	20	69.5	0,5

Раскисление проводилось фосфористой медью перед закладкой никеля и олова в расплав.

Температуру заливки исследуемой бронзы составляла 1170°С и контролировалась быстродействующим оптическим пирометром ТПТ-90 с лазерным наведением по графитовой таблетке на поверхности расплава.

Бронзу БрОН10-20 заливали в графитовую литейную форму с соотношением массы отливки к массе формы 1:2,5. После заливки в холодные графитовые формы при температуре 25°С, они охлаждались на воздухе. Отливка представляла собой цилиндр с диаметром 18 мм и высотой 70 мм.

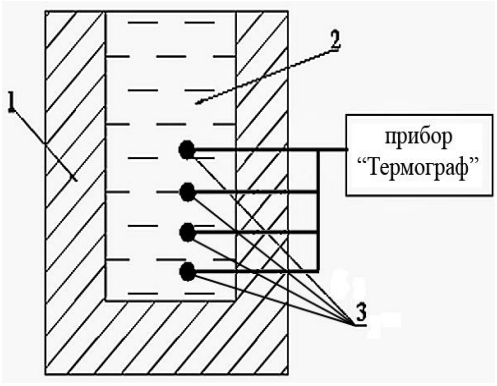


Рис. 2. Внешний вид прибора ”Термограф”
1 – литейная форма;
2 - расплав;
3 - хромель-алюмелевые термопары

При построении кривых, хромель-алюмелевые термопары (с диаметром проволок 0,3 мм) располагали на расстоянии 6 мм от стенки формы (рис. 2.) в соответствии с рекомендации, данными в работе [1]. По высоте термопары располагались – первая на расстоянии 3 мм от дна отливки, остальные на расстоянии 3 мм друг от друга (рис. 2)

Погрешность при измерении и преобразовании сигнала в цифровой вид, при использовании хромель-алюмелевых термопар составляет при температурах выше 500ºС менее 1ºС [2]

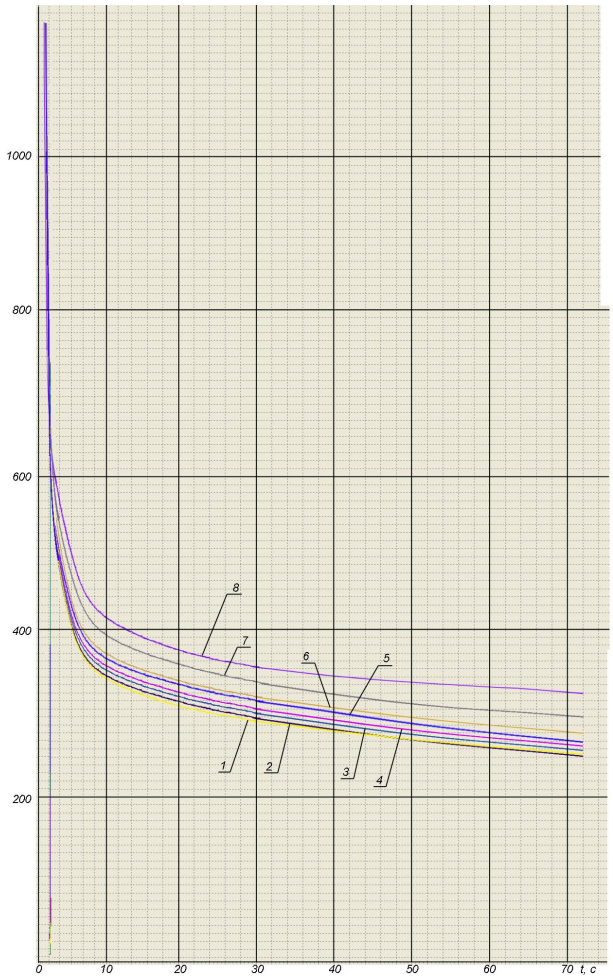


Рис.3. Зависимости температуры отливки от времени

На рис. 3 представлены кривые охлаждения никелевой бронзы при отливке в графитовый кокиль, построенные с помощью прибора «Термограф» и компьютерной программы «TermoXp». Номер кривых указывает на их удаленность от дна отливки (рис. 2). Так кривая 1 соответствует положению термопары на расстоянии 3мм от дна, кривая 2 – 6 мм, кривая 3 – 9мм и так далее. По построенным зависимостям в интервале от температуры заливки (1170°С) до 800°С, (включающем

кристаллизацию), определили среднюю скорость охлаждения (табл. 2). Такой выбор интервала обусловлен близкой к линейной зависимостью температуры отливки от времени в нем.

Анализируя полученные результаты можно увидеть, что удаление от края отливки в осевом направлении, в соответствии с классическими представления о кристаллизации слитка, приводит к падению скорости охлаждения. Из таблицы 2 видно, что в приповерхностной зоне скорость охлаждения максимальна и составляет 160ºС/с. С удалением от донной части отливки скорость снижается.

Таблица 2.

Скорости охлаждения отливки в различных её сечениях

Номер термопары	Удаление от нижней части отливки, мм	Скорость охлаждения, ºС/с
1	3	160
2	9	158
3	12	154
4	15	150
5	18	146
6	21	143
7	24	138
8	27	134

По итогам проделанной работы можно сделать следующие выводы и заключения:

1. Отработана методика определения скоростей охлаждения сплавов с использованием разработанного прибора. Показано что для никелевых бронз оптимальным является измерение скорости охлаждения в интервале от температуры заливки (50-70°С) выше линии ликвидуса до 800°С.

2. Определены численные значения скоростей охлаждения в различных сечениях отливки из никелевой бронзы при литье в графитовую литейную форму. Показано, что разность скоростей охлаждения в приповерхностных и центральных слоях в данном случае может достигать 15-17%.

Результаты исследование представленные в настоящей работе выполнены при поддержке гранты Президента РФ МК-6661.2013.8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мартюшев Н.В., Петренко Ю.Н., Егоров Ю.П. Производство поршневых колец компрессоров высокого давления // Литейное производство. – 2008. – № 8. – С. 24-26.
2. Мартюшев Н.В., Семенков И.В. Структура и свойства бронзовых отливок при различных скоростях охлаждения // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 1-1.
3. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на структуру и свойства бронз, содержащих свинец // Металлургия машиностроения. – 2010. – № 4. – С. 32-36.
4. Мартюшев Н.В. Параметры дендритной структуры медных сплавов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2011. – № 11-3 (54). – С. 229-232.
5. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на свойства отливок из бронзы брос 10-10 // Литейное производство. – 2011. – № 6. – С. 11-13.
6. Мартюшев Н.В., Егоров Ю.П., Утьев О.М. Компьютерный анализ структуры материалов // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2003. – № 3. – С. 32.

АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ КРУГЛЫХ ИЗДЕЛИЙ В КОНЕНО-ЭЛЕМЕНТНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM-2D

Сергеев Ю.А., Колесникова С.Ю.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Для анализа напряженно-деформированного состояния и выявления особенностей влияния технических параметров при волочении круглых изделий выполнено моделирование в конечно-элементном комплексе DEFORM-2D.

Рассмотрим процесс волочения круглого сплошного профиля из круглой заготовки. Передний конец заготовки заостряют, вставляют в коническое отверстие волоки меньшего диаметра, чем диаметр заготовки, захватывают клещами и протягивают через волоку с растягивающей силой [1,2]. В волоке возникают силы реакции, направленные по нормали к образующей канала, которые обжимают металл заготовки. При этом площадь поперечного сечения заготовки уменьшается, а длина увеличивается.

Как было сказано ранее, передний конец заготовки перед волочением заостряют. Моделирование заготовки имеющей заострение показало, что геометрия заготовки не оказывает существенного влияния на усилие волочения (изменение усилия не более 5%), однако позволяет сократить длительность процесса, так как на момент запуска деталь уже находится в непосредственном контакте с волокой, рис.1.

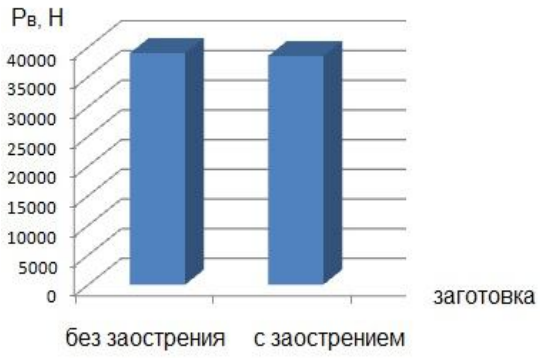
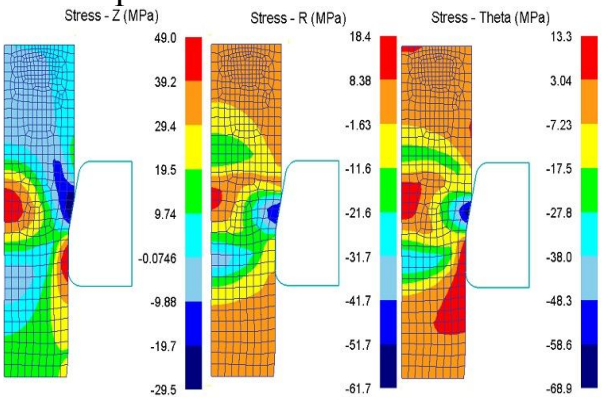


Рис.1. Зависимость усилия волочения от геометрии заготовки

Решение задачи методом конечных элементов на этапе установившегося процесса[5] позволило получить данные о напряженном состоянии металла заготовки, о зависимости усилия волочения Рв от угла рабочей зоны α, коэффициента вытяжки λ, от длины калибрующего пояска lк и угла заострения заготовки β.

Напряженное состояние характеризуется преобладающей схемой с одним растягивающим и двумя сжимающими напряжениями (рис.2), однако, в центральных слоях при входе в рабочую зону волоки наблюдается рост осевых, радиальных и тангенциальных напряжений, что указывает на то, что в этом объеме реализуется схема всестороннего растяжения. На периферийных слоях в зоне контакта металла и волоки наблюдается схема всестороннего сжатия.



а) б) в)

Рис.2. Распределение осевых(а), радиальных(б) и окружных(в) напряжений

Установлена зона оптимальных углов рабочего конуса волоки, которая находится в интервале 9-12º, где усилие волочения минимально, рис.3.

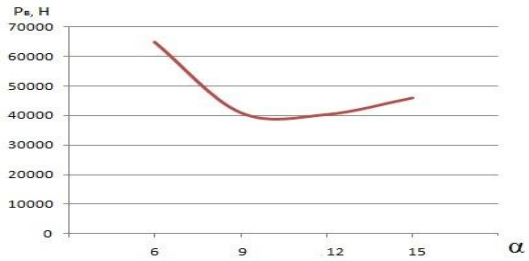


Рис.3. Зависимость усилия волочения Рв от угла рабочей зоны α

При малых углах конуса волоки увеличивается контактная поверхность, что способствует повышению общего давления металла на волоку и силы волочения. При α=15˚ Рв вновь увеличивается в связи с повышением резкости поворотов линий скольжения, что приводит к росту напряжений на контактной поверхности и увеличению усилия волочения.

Увеличение коэффициента вытяжки приводит к появлению дополнительных сдвигов, дополнительному упрочнению металла, росту напряжений и, как следствие, к росту усилия волочения, рис.4.

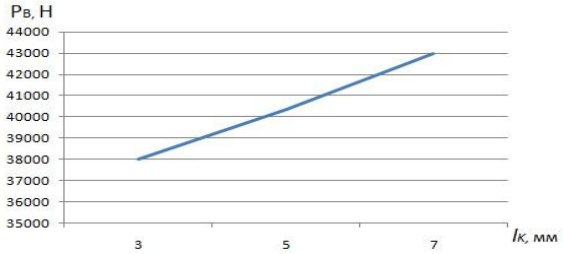


Рис.4. Зависимость усилия волочения Рв от коэффициента вытяжки λ

Калибрующая зона должна быть оптимальной длины и обеспечивать устойчивое волочение при минимальных энергосиловых параметрах процесса. Как видно из графика зависимости увеличение длины калибрующего пояска прямо пропорционально увеличению усилия волочения, так как возрастает поверхность контакта заготовки и инструмента, рис.5.

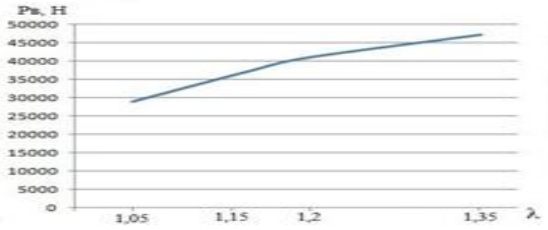


Рис.5. Зависимость усилия волочения Рв от длины калибрующего пояска lк

Для анализа влияния геометрии заострения заготовки проведено моделирование процесса волочения заготовки, имеющей угол заострения равный углу конуса рабочей зоны волоки, больше и меньше него. Уменьшение угла заострения заготовки приводит к уменьшению усилия волочения, рис.6.

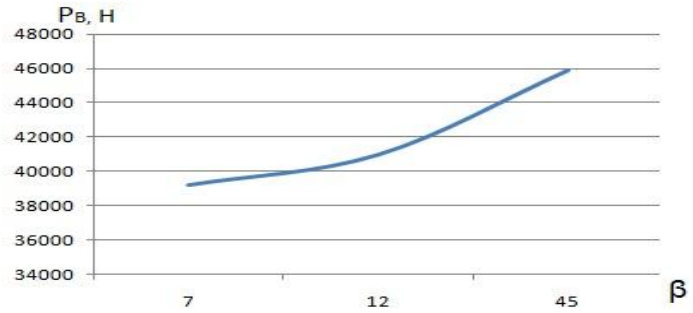


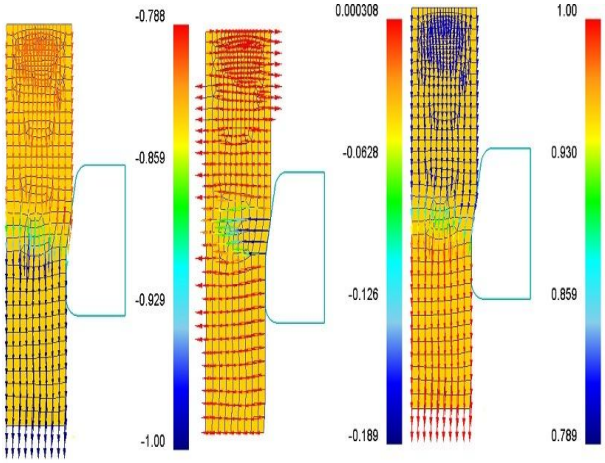
Рис.6. Зависимость усилия волочения Рв от угла заострения заготовки β

О характере течения металла, помимо искажения координатной сетки можно судить построив векторное поле скоростей течения металла, которое в осеом направлении характеризуется максимальными значениями на выходе из волоки с постепенным затуханием ко входу. В радиальном направлении наблюдается уширение металла до входа в канал волоки с последующим сужением.

В зоне деформации наблюдается разница между скоростями течения металла в центральных слоях, где

скорость практически падает до 0, и на периферии, где скорость максимальна.

Выявлены места возможного разрушения заготовки. Как видно из рис.8 образование мест разрушения наиболее вероятно в центральных слоях изделия, как наиболее нагруженных растяжением. По мере движения металла в канале и увеличения растягивающих напряжений это нагружение передается близлежащим к центру слоям металла. Эти слои во время движения по каналу, как было показано ранее, несколько отстают от центральных. В результате чего поверхность разрыва примет форму конуса с углом при вершине, направленном в сторону волочения.



а) б) в)

Рис.7. Векторное поле осевых (а), радиальных (б) и полных (в) скоростей течения металла

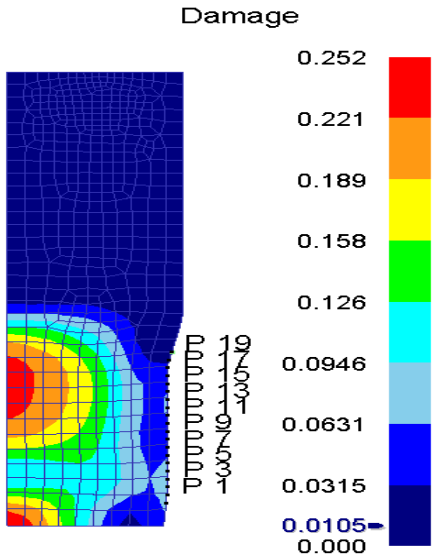


Рис.8. Определение мест возможного разрушения заготовки

Разрывы на поверхности детали возможны при выходе металла из канала волоки, так как наиболее деформированные и, следовательно, упрочненные поверхностные слои более чувствительны к продольным растягивающим напряжениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перлин И.Л. Теория Волочения//М.З. Ерманок. – М.,Металлургия, 1971. – 448 с.

2. Ерманок, М.З. Развитие теории волочения//Цвет. металлургия, 1986. - № 9. - С. 81-83.

3. Каргин В.Р. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программе DEFORM – 2D // А.П. Быков, Б.В. Каргин, Я.А. Ерисов. – Самара: Изд-во МИР, 2011. – 170 с.

4. Щукин С.В. Исследование на базе конечных элементов напряженно-деформированного состояния проволоки при волочении // Известия вузов/Ю.И. Рыбин Черная металлургия.-1993. - №6.- С. 31-34.

ПОДХОД К АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗИСТИВНОГО ГЕРМЕТИКА СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ

Филонина Е.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Традиционные технологические схемы изготовления резистивного герметика для герметизации узлов свечных изделий различного назначения не учитывают современной тенденции повышения качества выпускаемой продукции. Это связано с отсутствием четкого определения факторов, влияющих на процесс, а также границ изменения этих факторов. Настоящая работа является попыткой решить проблему повышения качества изготовления герметика путем автоматизации технологического процесса и выявления основных факторов, влияющих на него с точки зрения теории управления.

В современных автомобильных искровых свечах зажигания герметичность обеспечивается при помощи резистивного герметика, который выполняет роль помехоподавительного резистора.

Во время работы искровых свечей зажигания возникают значительные градиенты температур, при этом стабильность резистивных свойств зависит от качества герметика. Резистивный герметик представляет собой многокомпонентный состав. Его свойства зависят от правильности подбора в процентном соотношении состава компонентов с учетом влияния различных температур, которым они подвергаются.

Решение задачи управления качеством технологического процесса предложено нами на основе построения многофакторного плана для выявления значимых факторов, влияющих на свойства герметика, с целью определения их в процессе производства. При этом исследовалась зависимость: R = f (T, k(СФ) , k(SiC+B4C)) [3]. Зависимой переменной выступает электрическое сопротивление. В качестве независимых переменных при планировании эксперимента были выделены три фактора:

x1 – концентрация стеклофритты в составе герметика k(СФ), % ;

x2 – концентрация карбида кремния и карбида бора в составе герметика k(SiC+B4C), % ;

x3 – температура T, ºC.

За исходную модель принималась модель вида:

$$y = \ln R = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + \\ + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3$$

Коэффициенты (bi), вычисленные по результатам эксперимента, указывают на силу влияния факторов. На основе выявленных закономерностей построены регрессионные модели и проведена проверка их на адекватность с помощью критерия Фишера [3]. Регрессионные модели выглядят следующим образом:

$$y = \ln R = -12,3737 + 8,14441x_1 + 9,1114x_2 + \\ + 5,6855x_3 - 4,8819x_1x_2 - 1,4552x_1x_3 - \\ - 2,4261x_2x_3 - 1,804x_1x_2x_3 \quad ;$$

$$R = 4,39 \cdot 10^{-6} \cdot x_1^{8,14441} \cdot x_2^{9,1114} \cdot x_3^{5,6855} \cdot (x_1x_2)^{-4,8819} \times \\ \times (x_1x_3)^{-1,4552} \cdot (x_2x_3)^{-2,4261} \cdot (x_1x_2x_3)^{-1,804}$$

Процесс изготовления резистивного герметика описывается уравнениями полученных регрессионных моделей.

Применение уравнений в реальном производстве даст технологам возможность целенаправленно управлять процессом в ручном режиме. Полученные уравнения позволили синтезировать структуру процесса изготовления герметика, которая представленна на рис. 1.

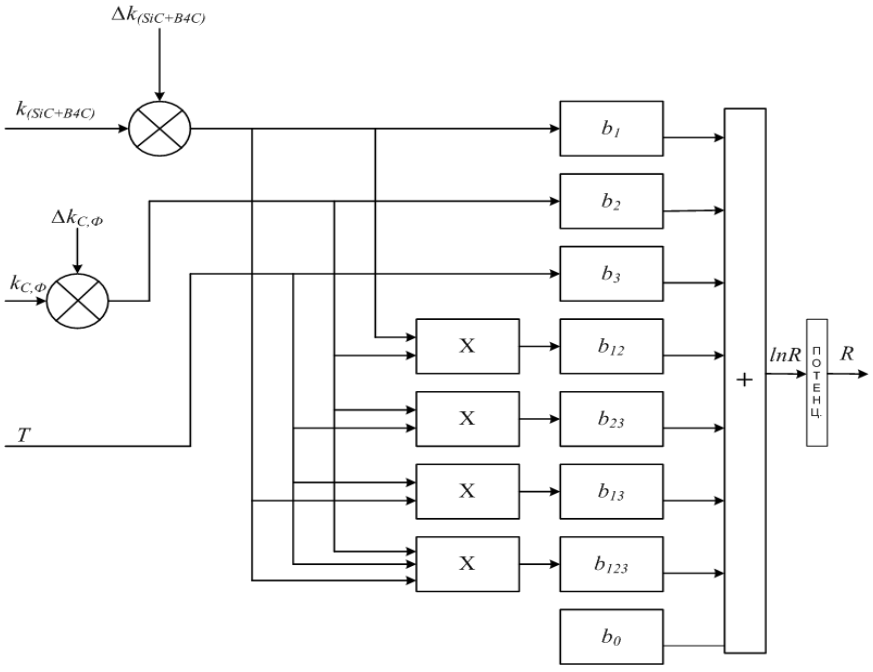


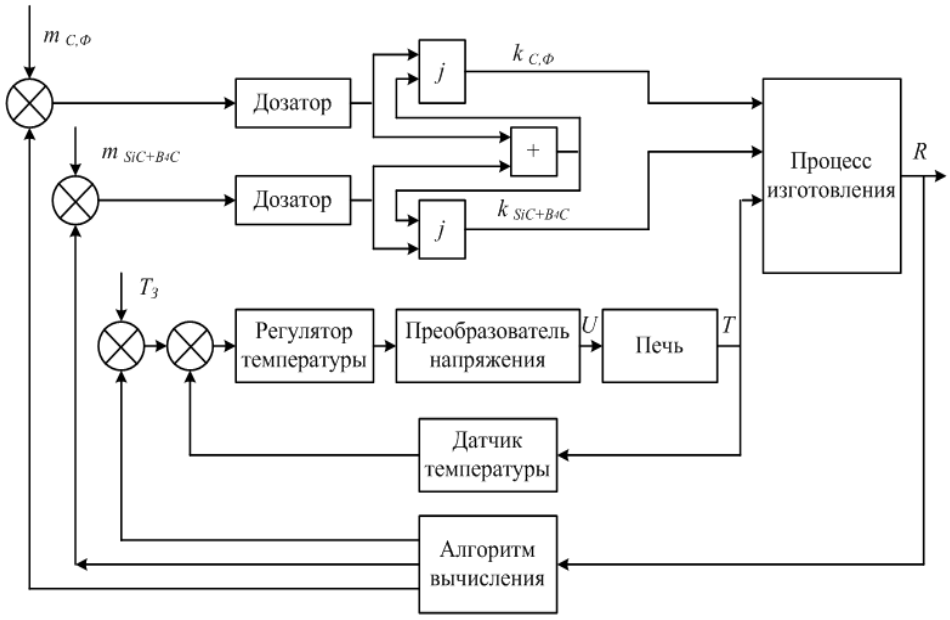
Рис. 1. Структура процесса изготовления герметика

С позиции теории управления, выходной характеристикой системы является сопротивление резистивного герметика [2]. В настоящее время сопротивление технологически контролируется вручную после окончания цикла производства, следовательно, постоянно действующая обратная связь в системе отсутствует. Традиционные методы управления (самонастраивающиеся системы с эталонной моделью и т.п.) данную проблему не решают, поскольку сообщения об ошибке модели и реального объекта поступают через разные промежутки времени. Это делает актуальным разработку новых принципов управления.

Электрическое сопротивление резистивного герметика может варьироваться в широких

пределах в зависимости от процентного содержания компонентов смеси и от степени обогащения поставляемого сырья. Однако, согласно требованиям конструкторской документации, его необходимо поддерживать в пределах от 4 до 13 кОм. Следовательно, необходимо синтезировать систему управления процессом изготовления резистивного герметика.

Анализ действующего технологического процесса на производстве позволил сформировать структуру системы управления процессом с минимальным участием человека, представленную на рис. 2 [4]. Она имеет неизменяемую часть, состоящую из весовых дозаторов и печи.



R – электрическое сопротивление герметика; mСФ – масса стеклофритты;
mSiC+B4C – масса карбида кремния и карбида бора;
T – температура; U – напряжение

Рис. 2. Структура системы управления процессом изготовления герметика

Предлагаемая система работает следующим образом: оператором вводится заданное значение сопротивления и выходное значение полной массы, типовое значение концентрации компонентов при этом хранится в памяти, контроллером рассчитывается масса каждого из компонентов.

Данный методологический подход прошел апробацию в реальном производстве при приготовлении резистивного герметика и показал его эффективность. Использование модели для корректировки технологического процесса позволило снизить общий брак и стабилизировать технологический процесс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. – Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий – М.: Наука, 1976. – 279 с.

2. Андрющенко В.А. – Теория систем автоматического управления: Учеб. пособие. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1990. – 251 с.

3. Фаддеев М.А. – Элементарная обработка результатов эксперимента: учебное пособие / М.А. Фаддеев: Лань, 2008. – 117 с.

4. Турицин Ю.А., Баранникова И.В., Пасечник И.А. Обзор современных АСУТП и АСДУ на промышленных предприятиях / Ю. Турицин // Современные технологии автоматизации. – 2012. – №. 1. – С. 66-73.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ЗАЦЕПЛЕНИЯ КОНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

Черемнов А.В., Алиев Ф.Р.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Выполненный обзор литературы по зубчатым передачам с промежуточными телами качения (ПТК) позволяет сделать вывод о том, что в отечественной литературе крайне мало материала, относящегося к передачам с промежуточными телами качения. В основном рассматриваются планетарные передачи на основе передач с ПТК и параллельными осями. Еще меньше материалов о пространственных передачах с ПТК. Имеются только описания конструкций механизмов с пространственным зацеплением. Теоретических разработок, касающихся этих передач, которые можно было бы использовать для их проектирования и изготовления, в отечественной литературе не найдено.

Одним из основных критериев, позволяющих оценить несущую способность передачи, является контактное напряжение. Для оценки контактных напряжений, возникающих в конической передаче с ПТК [1,2] необходимо определить усилия, возникающие в зацеплении колес.

Полагаем, что при отсутствии сил трения усилия между зубьями направлены нормально к их рабочим поверхностям. Скольжение профилей вызывает возникновение сил трения, в связи с чем векторы усилий отклоняются от нормали к профилям, образуя с нею угол, равный углу трения. Величина этого угла мала и поэтому, пренебрегая влиянием сил трения, полагаем, что вектор силы направлен вдоль общей нормали, восстановленной к профилю зуба.

При передаче движения со стороны шестерни на промежуточное тело качения действует сила F1 при этом в точке контакта промежуточного тела качения с зубчатым колесом возникает сила F2, рис. 1. Указанные силы равны между собой по модулю, действуют вдоль одной прямой, но направлены в противоположные стороны

$$\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2.$$

Под действием сил F1 и F2 промежуточное тело качения испытывает напряжение сжатия. В результате возникают внутренние напряжения, которые можно представить в виде сосредоточенных сил, рис. 2. При этом выполняется условие

$$\mathbf{F}_1 - \mathbf{N} = \mathbf{F}_2 - \mathbf{N} = 0.$$

Таким образом, взаимодействие промежуточного тела качения с зубчатыми колесами можно рассматривать независимо друг от друга.

Рассмотрим силовое взаимодействие промежуточного тела качения с профилем шестерни, рис. 3.

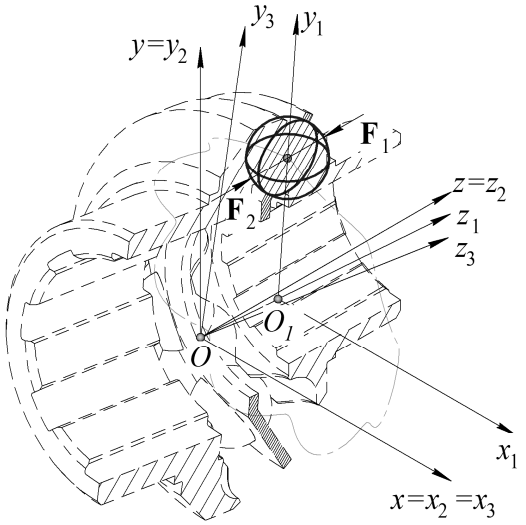


Рис. 1. Усилия в зацеплении конической передачи с промежуточными телами качения

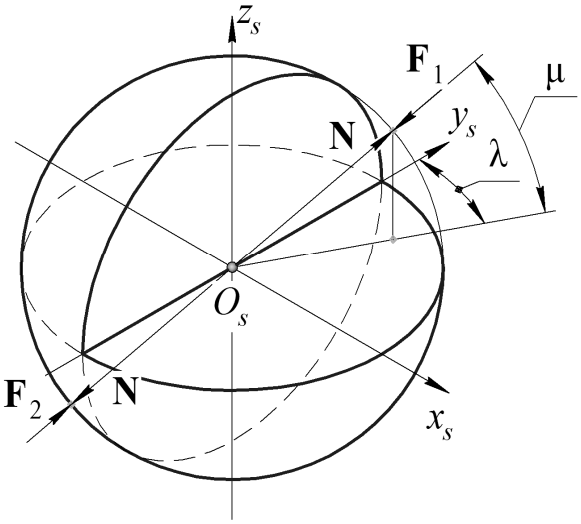


Рис. 2. Внутренние усилия

Со стороны зубчатого колеса, на шестерню посредством промежуточного тела качения действует сила N=F2. Момент, создаваемый силой относительно начала координат O, неподвижной системы S (x, y, z), определяется выражением [3]

$$\mathbf{m}_O(\mathbf{N}) = \overline{OO_s} \times \mathbf{N},$$

здесь $\overline{OO_s}$ – радиус-вектор; N – вектор силы.

Для проведения вычислений и упрощения расчетов установим три подвижные системы координат S1 (x1, y1, z1), S2 (x2, y2, z2) и S3 (x3 ,y3, z3) связанные с сепаратором, шестерней и колесом соответственно.

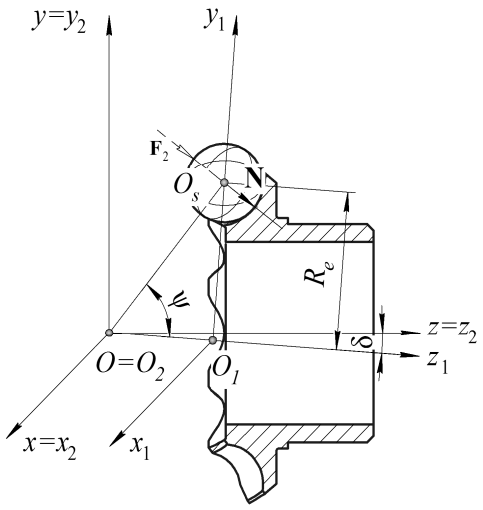


Рис. 3. Силовое взаимодействие элементов передачи

Как отмечалось выше, вектор силы направлен вдоль общей нормали, восстановленной к профилям зубчатых колес. В системе координат Ss (xs, ys, zs), рис. 2, связанной с телом качения, вектор силы определится выражением

$$\mathbf{N}_S = N\cos\mu\sin\lambda\mathbf{i}_S + N\cos\mu\cos\lambda\mathbf{j}_S + N\sin\mu\mathbf{k}_S. \quad (1)$$

Радиус-вектор $\overline{OO_s}$ в системе координат Ss (xs, ys, zs) определится уравнением, рис. 3, $\overline{OO_S} = h\cos\psi\mathbf{k}_S$.

Тогда, в системе координат Ss (xs, ys, zs) момент силы определяется вектором $\mathbf{m}_O(\mathbf{N})_S = -Nh\cos\mu\cos\lambda\cos\psi\mathbf{i}_S + Nh\cos\mu\sin\lambda\cos\psi\mathbf{j}_S$, или в матричной форме

$$\tilde{m}_O(N)_S = \begin{pmatrix} -Nh\cos\mu\cos\lambda\cos\psi \\ Nh\cos\mu\sin\lambda\cos\psi \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

При решении практических задач, удобнее пользоваться значениями момента, связанными с зубчатыми колесами. Определим выражение для момента силы в системе координат S2 (x2, y2, z2), рис. 1,

$$\tilde{m}_O(N)_2 = \tilde{A}_{2S}\tilde{m}_O(N)_S, \quad (2)$$

где $\tilde{A}_{2S}$ - матрица перехода от системы координат Ss (xs, ys, zs) к S2 (x2, y2, z2)

$$\tilde{A}_{2S} = \tilde{A}_{20}\tilde{A}_{01}\tilde{A}_{1S}.$$

Запишем промежуточные матрицы перехода. Матрица перехода из Ss (xs, ys, zs) в S1 (x1, y1, z1), рис. 3, примет вид

$$\tilde{A}_{1s} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\psi & \sin\psi & R_e \\ 0 & -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Переход от системы координат S1 (x1, y1, z1) к S0 (x0, y0, z0) примет вид

$$\tilde{A}_{10} = \begin{pmatrix} \cos\varphi_1 & \cos\delta\sin\varphi_1 & -\sin\delta\sin\varphi_1 & 0 \\ -\sin\varphi_1 & \cos\delta\cos\varphi_1 & -\sin\delta\cos\varphi_1 & 0 \\ 0 & \sin\delta & \cos\delta & -h \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Здесь φ1 – угол поворота сепаратора, δ – угол пересечения осей вращения сепаратора и шестерни.

Матрица перехода от системы координат S0 (x0, y0, z0) к S2 (x2, y2, z2)

$$\tilde{A}_{20} = \begin{pmatrix} \cos\varphi_2 & \sin\varphi_2 & 0 & 0 \\ -\sin\varphi_2 & \cos\varphi_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где φ2 – угол поворота шестерни.

В связи с большим объемом промежуточных вычислений окончательно приводим интересующую нас проекцию крутящего момента, рассчитанного по зависимости (2), на ось z2 системы координат S2 (x2, y2, z2), связанной шестерней

$$\mathbf{m}_O\left(\mathbf{N}\right)_{z_2} = T = -h(N\sin\varphi_1\sin\delta\cos\psi\cos\mu\cos\lambda - N\cos^2\psi\cos\mu\sin\lambda\cos\varphi_1\sin\delta - $$
$$-N\cos\psi\sin\psi\cos\mu\sin\lambda\cos\delta + \cos\varphi_1\sin\delta\,\mathrm{tn}\,\psi - \cos\delta).$$

Решая данное уравнение относительно N устанавливаем зависимость силы зацепления от крутящего момента T.

$$F = N = \frac{\frac{T}{h} + \cos\varphi_1\sin\delta\,\mathrm{tg}\,\psi - \cos\delta}{\cos\psi\cos\mu\left(\sin\varphi_1\sin\delta\cos\lambda - \cos\psi\sin\lambda\cos\varphi_1\sin\delta - \sin\lambda\sin\psi\cos\delta\right)}.$$

Из полученного выражения видно, что сила зацепления не зависит от угла поворота шестерни.

Таким образом, получено выражение, позволяющее определить усилие в зацеплении конической передачи с ПТК через значение крутящего момента и основные геометрические параметры передачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дисферическая передача свободного качения: Пат. 2011106690/11; Заявлено 22.02.2011; Опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21.

2. Черемнов А.В., Ан И-Кан, Ивкина О.П. Синтез пространственной передачи с промежуточными телами качения с улучшенными качественными характеристиками // Известия Томского политехнического университета. - 2012 - Т. 321, - № 2 - С. 26 – 30.

3. Меркин Д.Р. Алгебра свободных и скользящих векторов. – М.: Физматгиз, 1962. – 164 с.

ELECTROEROSIVE PRODUCTION OF COATING MATERIAL IN A COAXIAL MAGNETOPLASMA ACCELERATOR

Gerasimov D. Y., Tsibina A. S.
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

I. Introduction

The characteristic feature of electro-dynamic accelerators with plasma piston is great electric erosion of electrodes surfaces in the accelerating channel. This phenomenon has a negative character for macro bodies accelerators. It prevents getting high kinetic parameters of launch and excludes any repeated barrel use. On the other side this phenomenon is the basis of technological use of accelerators. Such accelerators refer to the type of electro erosion impulse accelerators of dense low temperature plasma. They are used for getting powder like materials and marking functional metal and composite coatings on hard surfaces [1,2]. Getting the working material from the surface of an accelerator channel with the help of electroerosion method during the acceleration process is the distinctive feature and the advantage over other types of accelerators, for example, electro thermal ones [3]. The hybrid coaxial magneto plasma accelerator (HCMPA) considered in the present paper refers to this type [4]. High efficiency of hybrid system is provided by simultaneous use of all the main mechanisms (electro thermal, conduction and induction electrodynamics) of electromagnetic energy transformation into kinetic energy of mass movement. Under the condition of electro discharge plasma acceleration the CMPA provides getting hypervelocity impulse plasma streams with the appearance and carrying away of some tenths of grams of eroded material. Conditions in the compact plasma structure of high current discharge make it possible to realize the dynamic synthesis of super hard materials (TiC, SiC, WC). Great kinetic parameters of the HCMPA stream allow to place different metal and composite functional coatings on hard surfaces with the resultant mutual mixture boundary of materials layer. The appearance of the phenomenon of super deep penetration of stream material micro particles into hard surfaces was found [5]. As a consequence the research of electro erosion process of appearance and carrying away eroded mass from the acceleration channel is a very urgent task from the point of view of determining the most meaningful factors and character of their influence on the process as well as of searching possible opportunities of its reduction.

II. Investigation methods

The construction and the operation principle of HCMPA under the condition of electro discharge plasma acceleration, when powered from the capacitor C, are shown on fig. 1 [6]. The research is carried out with the application of electrodes-barrels 1 made of stainless steel, having the diameter of

acceleration channel (16-24) mm. This material is the most appropriate for the channel of macro bodies' accelerator. The problem of locating corrosion-proof and strengthening coating of stainless steel on the surfaces of various metals (aluminium and its alloys, copper and black steel).

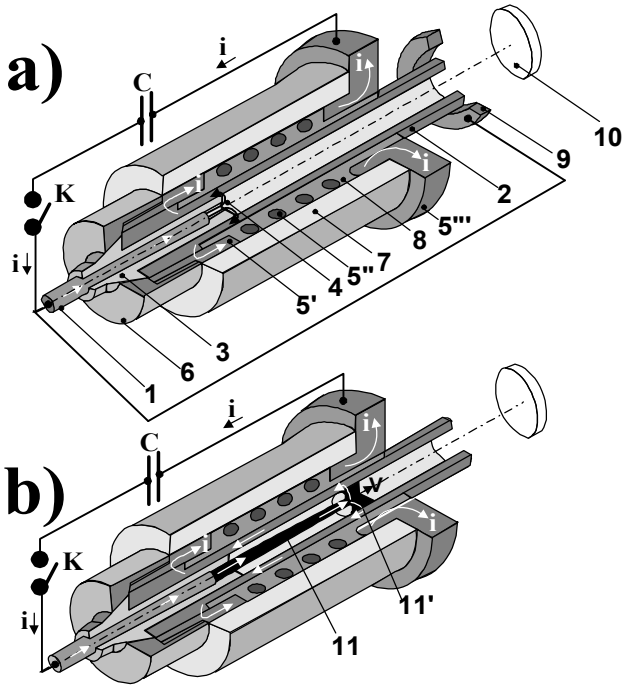


Fig.1. The construction and operation principle of the CMPA: a) initial state; b) during the work state.
1.The central electrode; 2.the electrode-barrel; 3.the central electrode insulator; 4. the electro explosive conductors; 5'.the contact inductor cylinder; 5".the inductor solenoid; 5'".the contact inductor flange; 6.blank flange; 7.barrel frame (glass-reinforced plastic); 8.solenoid insulator (glass-reinforced plastic); 9.the shunting system ring electrode; 10.the target; 11.plasma material; 11'.the circular plasma link.

The capacitor energy (C) and energy W supplied to the HCMPA were changed due to the variation of the charging voltage Uc up to 4.0 kV and the capacity of a capacitor bank up to 48 mF. W was changed by cutting off the tail-end of the working current impulse with the help of a shunting system of HCMPA in order to store the regime of energy supply. The working current i(t) and the voltage on the HCMPA electrodes U(t). Energy supplied to the accelerator was determined by power curve integration i(t)·U(t).The dynamic parameters of acceleration and stream in free space were determined by high speed framing photography by VFU. Integral electric erosion barrel wear was determined by weighing the barrel before and after shooting. The character of wear along the acceleration channel was studied by cutting the tried out barrel into equal parts (10-20) mm, weighing them, drawing and analyzing differential wear epures.

III. The dynamics of acceleration and electric erosion processes

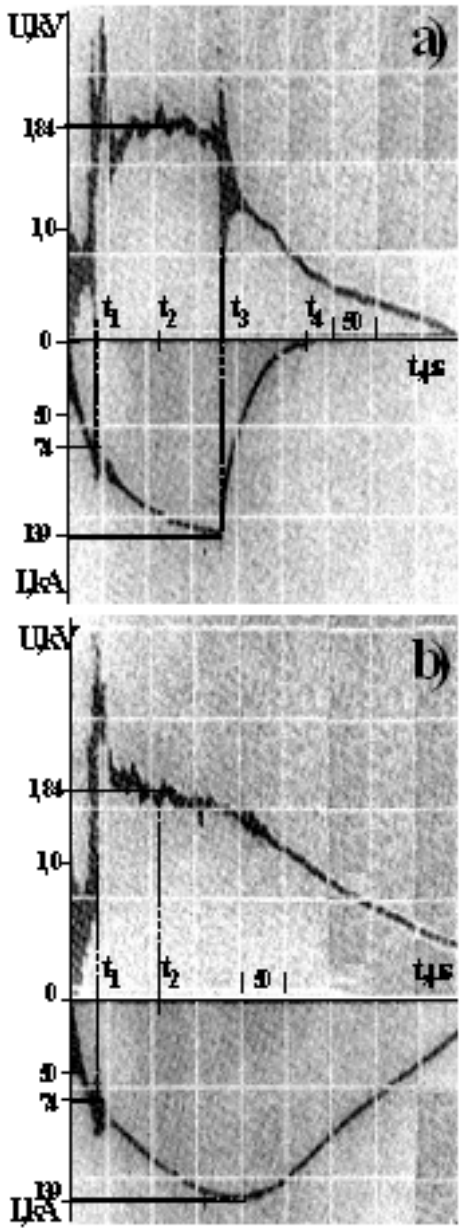


Fig.2. The oscillograms of working current i(t) and voltage U(t) on the electrodes of the CMPA: a) under the shunting condition with cutting off the current tail-part impulse; b) under the condition of the full

The switch K (fig.1) is closed at the moment t=0, and the current i(t) starts flowing along the HCMPA, this is shown on the oscillograms (fig.2).The current getting some level at the moment t1, the conductors 4 electro explode. This moment is considered the start of the accelerator work.

The voltage of an electro explosive impulse decreases up to the level of the arc phase during the time of the U charge formation of a Z-pinch type 11 (fig. 1) with a spout-like circular plasma link 11′ decreases up to the level of the arc phase and there happens limitation of current increase speed. The discharge plasma obtains initial acceleration due to electro explosion. Then an electro thermal mechanism is switched on. The acceleration is provided due to the expansion of gaseous products thermal decomposition of a gas generating substance (industrial petrolatum), which is used for filling the insulator channel at the top of the central accelerator electrode 1. Compacting the plasma structure is provided by the magnetic field of its own current and axial field of external induction system solenoid. The further highly efficient acceleration of the circular plasma link happens under the influence of electro-dynamic power of Lorenz. The researches with the

help of high-speed photography showed that, depending on the conditions (table1), the time of the plasma material passing the acceleration channel doesn't exceed 100 micro seconds, and the speed at its front part on the barrel section exceeds 7.0 km/s.

The erosion of the acceleration channel surface appears both due to its being heated and metals melting in the moving support spot of the plasma link, and to the plasma material radiation. The eroded surface consists of numerous longitudinal tracks, it proves that the circular plasma link is not a continuous conducting disk, but a combination of discrete radial channels.

The data of the high-speed photography support this statement. That is, the track structure of the eroded surface is observed during a single passage of the plasma material along the acceleration channel and during a full working current impulse. Oscillograms illustrate the regime when the tail-part of the current impulse is cut off, and the regime of the full impulse, other conditions being equal (experiments 1 and 2, table1). The epures 1 and 2 of the differential erosion of the acceleration channel (fig.3) correspond to these experiments.

Table 1.

Experimental data on electric erosion

Experiment №		1	2	3	4	5
Accelerator channel diameter, d	mm	16	16	16	19	24
Accelerator channel longth, l	mm	271	272	272	270	274
Charging voltage , U0	kV	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0
Capacitor capacity, C	mF	12	12	48	48	48
Maximum current, Im	kA	139	139	159	140	140
Arc voltage, Um	kV	1,80	1,78	1,80	2,08	2,19
Supplied energy, W	kJ	30,0	50,0	117,4	140,0	152,7
Eroded mass, mэ	g	1,1	3,4	37,1	34,4	26,6
Streams speed at the channel section, Θ	km/s	6,0	6,0	7,5	7,0	5,8
Charge, q0	Q	20	42	94	92	109
acceleration time, Δt1-2	μs	75	72	60	66	80

From the data analysis of table 1 and the epures on fig.3 it becomes clear that the metal mass eroded and carried away from the surface of the acceleration channel grows, when the supplied energy W increases. The diameter increase leads to the erosion decrease even if W increases. The erosion character along the length of the acceleration channel has some common features. The high level at the initial stage is conditioned by the close location of the channel at the top

of the central electrode, which serves as the source of the maximum energy dissipation. Then, at the passage (40-70) mm erosion decreases, as the central electrode becomes more distant. Erosion increases up to some maximum at a bigger distance, the energy W being proportional.

The position of the maximum shifts to the right when W and the acceleration channel diameter d increase, but it doesn't exceed 150 mm, which corresponds to the position of the external system solenoid face. Erosion smoothly decreases at any further distance increase. Erosion is not observed, when the energy W = (40-50) kJ is relatively low at the length of more than (100-180) mm, there is a coating of the previously eroded metal on the acceleration channel surface. When the energy W = (100-150) kJ, erosion appears on the length (270-280) mm. The most uniform barrel wear and coating (80-90) % of eroded mass is provided on the length (160-180) mm. It can be explained by the fact that at the passage influenced by the solenoid, the plasma material is very compact and has the maximum current density and temperature. This passage becomes bigger at the solenoid length increase. The presence of the second erosion maximum can result from the braking influence of the face solenoid field, and from the oncoming shock wave process in the plasma stream.

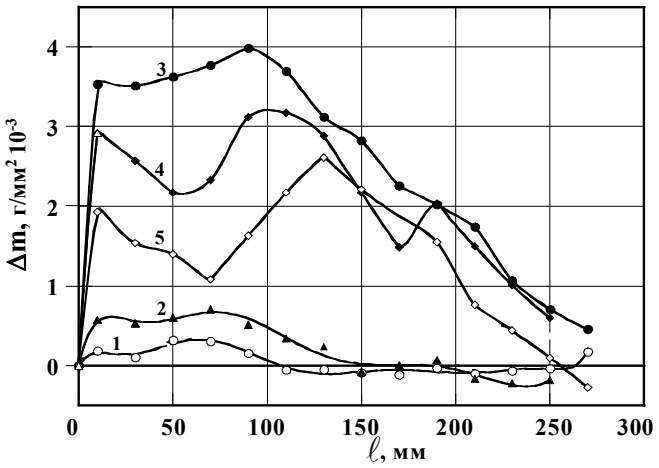


Fig.3. The epures of differential erosion along the acceleration channel. The number of the curves correspond to the experiments numbers in table1, the curves 1 and 2 correspond to the oscillograms a) and b)

iV. Specific erosion of the acceleration channel

The analysis of the received experimental data in the wide range of changing energy and construction parameters of the HCMPA has shown that the most significant factor determining the value of specific electric erosion of the acceleration channel surface is the value of the energy dissipated in it. However, other factors have essential influence, for example, the geometry of the acceleration channel. Considering all these factors it is possible to synthesize the

data in the form of specific erosion dependence me/W on the value of specific supplied energy W/Vb (Vb - the volume of the barrel acceleration channel), this dependence is shown on fig.4.

The dependence has an obvious linear character and is approximated by a linear function:

$$m_э / W = A\left(\frac{W}{V_b} - B\right) \quad (1)$$

A = 0,16; B = 0,281

Thus, the integral erosion me in the acceleration system is considered proportional to the square of the energy supplied to the accelerator. Coefficient A determining the declination of the straight line depends on the dynamic characteristics of the flow in the channel and on the plasma properties. Experimental proof is the declination of points 2 (fig.4), which is obtained in the experiments without using gas-generating substance (industrial petrolatum) from the general pattern. The dependence analysis shows that erosion is equal to zero, when the supplied energy value is equal to:

$$W = V_b \cdot B \quad (2)$$

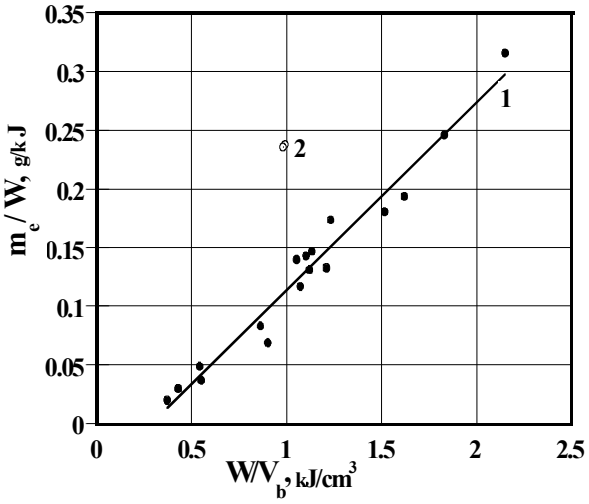


Fig.4. Synthesizing dependence of specific integral erosion m_e/W on specific energy W/V_b.

This ratio isn't avoiding of any physical sense, and is proved experimentally. Under such conditions there are some traces of melting at the initial passage of the acceleration channel with the length of 40 mm, but there is no metal carrying away. Therefore, B is the critical value of specific energy (kJ/sm³) when erosion is practically absent.

V. Conclusion

The experimental researches made it possible. To determine the most significant factors influencing the electric erosion value of the HCMPA acceleration channel and to find out the patterns of its electro erosion wear.

REFERENCE

1. G.A. Lukjyanov, Hypervelocity plasma streams. L. Machine building, Leningrad department,1985. p-264.

2. P.M. Kolesnikov, Electrodynamic plasma acceleration. M. Atomizdat, 1971. p.-389.

3. E. Ya. Shkolnikov, M. Yn. Guzyev, S. P. Maslennikov, N.N. Netchaev, A.V. Chebotarev, Devices and engineering of experiment, № 6, p. 130-135, (2000).

4. A. A. Sivkov, The applied mechanics and technical physics, T.42. № 1, p. 3-12. (2001).

5. A. A. Sivkov, A. P. Iliin, A. M. Gromov, N. V. Bychin, Fiz. khim. orbab. mater, 2003, № 1, p. 42-48. (2003).

6. A. A. Sivkov, L. V. Korolkov, A. S. Saigash, Electrical engineering, № 8, p.41-46. (2003).

ПРОВЕРКА АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ О НАГРУЖЕНИИ КРУГЛОЙ ПЛАСТИНЫ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ИЗГИБАЮЩЕЙ НАГРУЗКОЙ

Яньков В.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Круглой пластиной постоянной толщины называется тело, ограниченное круговой цилиндрической поверхностью и двумя перпендикулярными к её оси плоскостями, расстояние между которыми (толщина пластинки) мало по сравнения с радиусом цилиндрической поверхности.

Если круглая пластинка, защемлённая по контуру, радиуса a несет нагрузку интенсивностью q, равномерно распределенную по всей поверхности пластинки, то выражение для нахождения угла наклона:

$$\varphi = -\frac{q \cdot r}{16 \cdot D}(a^2 - r^2).$$

Для прогибов:

$$\omega = \frac{q}{64 \cdot D}(a^2 - r^2)^2.$$

Наибольший прогиб наблюдается в центре пластинки, причем величина его оказывается равной:

$$\omega_{max} = \frac{q \cdot a^4}{64 \cdot D}.$$

Максимальное напряжение получается на контуре пластинки, где оно равно:

$$(\sigma_r)_{max} = \frac{3}{4} \cdot \frac{q \cdot a^2}{h^2}.$$

Программный комплекс ANSYS. Метод конечных элементов.

ANSYS — универсальная программная система конечно-элементного (МКЭ) анализа, существующая и развивающаяся на протяжении последних 30 лет, является довольно популярной у специалистов в сфере автоматических инженерных расчётов (CAE, Computer-Aided Engineering) и КЭ решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей. Моделирование и анализ в некоторых областях промышленности позволяет избежать дорогостоящих и длительных циклов разработки типа «проектирование — изготовление — испытания».

Метод конечных элементов (МКЭ) — численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твёрдого тела, теплообмена, гидродинамики и электродинамики. Суть метода следует из его названия. Область, в которой ищется решение дифференциальных уравнений, разбивается на конечное количество подобластей (элементов). В каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции. Значения функций на границах элементов (узлах) являются решением задачи и заранее неизвестны.

Алгоритм решения.

1. Построение модели задачи (рис. 1).
2. Задание свойств материала.
3. Определение граничных условий.
4. Задание нагрузки.
5. Выбор узла, по которому будет вестись сравнение аналитического решения и МКЭ.
6. Анализ погрешности.

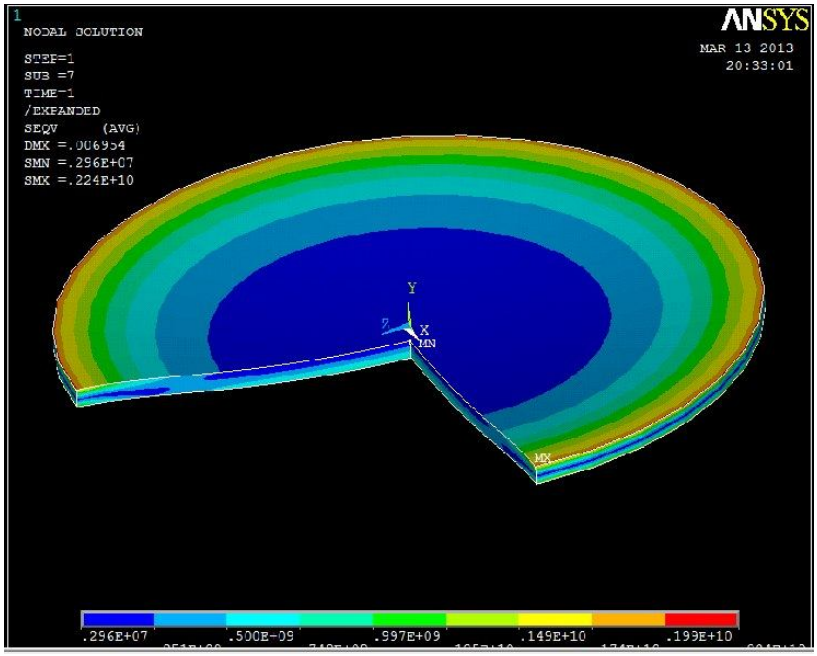


Рис.1. Построение модели в ANSYS

Таблица 1.

Искомая величина	Аналитическое решение	Решение в ANSYS	Относительная погрешность расчётов
$(\sigma_r)_{max}$	$2{,}47 \cdot 10^9$	$2{,}24 \cdot 10^9$	9%

Код решения поставленной задачи в программном комплексе ANSYS.

```
FINISH
/CLEAR,START
/FILNAME,compozit1,0
/COM,  Structural
/PREP7
ET,1,PLANE182
KEYOPT,1,3,1
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,6.55982e10
MPDATA,PRXY,1,,0.125
RECTING,0,0.08,0,0.004
ASEL,,,,1
AATT,1,,1,0
ESIZE,0.0002,0
amesh, all
LPLOT
ALLSEL,ALL DL,2,,all
SFL,3,PRES,10000000,
ALLSEL,ALL

/SOL
ANTYPE,0
NLGEOM,1
NSUBST,20,0,0
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,all
TIME,1
SOLVE
```

Выводы

1. Программный комплекс ANSYS легок в понимании, структура программы и хода решения пошаговая, что сводит ошибки построения расчетной схемы или модели нагружения к минимуму.

2. ANSYS применим для решения практических задач по теории упругости.

3. Освоение на ANSYS'е элементарных задач, проверяемых аналитически, способствует приобретению опыта для решения более сложных задач. Это значительно повысит уровень подготовки студентов для выполнения прочностных расчетов.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ И НЕПОДВИЖНЫМИ ОСЯМИ

Ивкина О.П.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск

Идея использования в механических передачах промежуточных тел относится к трудам Леонардо да Винчи. Однако такие передачи стали объектом подробного исследования только с середины прошлого века. Первые механизмы с зацеплением посредством промежуточного тела появились в патентной литературе еще в начале XX века, но практического применения и широкого распространения в технике тех лет не получили.

Несмотря на многолетнюю историю, вопрос классификации механических передач с зацеплением посредством третьего тела до сих пор остается открытым.

Вопросом классификации передач данного типа занимались многие авторы [1–4], однако установленные ими классификационные признаки приводят к ряду противоречий, в связи с чем, одна и та же схема передачи может быть отнесена к двум или более видам [5].

Переходя непосредственно к классификации механических передач с зацеплением посредством третьего тела отметим, что под промежуточным телом в данной работе подразумеваются тела вращения (шарика либо ролики). Рассматриваются передачи с неподвижными осями вращения колес.

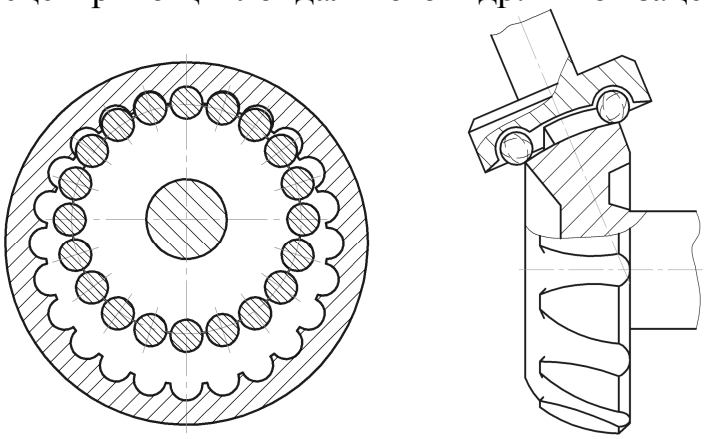
Итак, все многообразие механических передач с зацеплением посредством третьего тела и неподвижными осями можно разделить на две

большие группы: 1) механические передачи с промежуточными телами; 2) механические передачи с промежуточными телами качения.

К первой группе относятся передачи, в которых промежуточные тела устанавливаются в обойме, рис. 1 и 2, тем самым они выполняют роль зубьев колес. Конструкции передач данной группы очень разнообразны, но в кинематическом отношении не отличаются от соответствующих передач с эвольвентным, спироидным и др. типами зацеплений.

Передачи, относящиеся к первой группе, классифицируются по признакам аналогичным для классификации передач с эвольвентным зацеплением: расположение осей, форма поверхности колес, форма зуба (промежуточного тела) и т.д.

Ко второй группе относятся механические передачи на основе зацепления посредством промежуточного тела, в кинематическом отношении существенно отличается от передач на основе эвольвентного, спироидного, эксцентрико-циклоидального и др. типов зацепления.



а) б)

Рис.1. Механическая передача с промежуточными телами: а) с параллельными осями; б) с пересекающимися осями

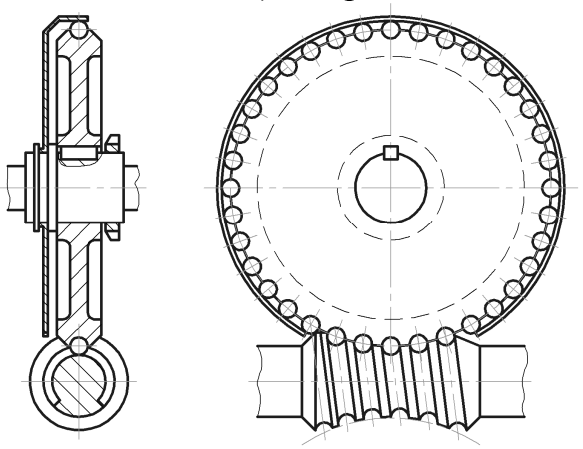


Рис. 2. Передача с промежуточными телами и перекрещивающимися осями валов

В самом простом исполнении передача с промежуточными телами качения представляет собой дифференциальный механизм, рис. 4, состоящий из зубчатых колес – 1 и 2, промежуточных тел качения – 3 и сепаратора – 4. В качестве ведущего звена может выступать одно из зубчатых колес, либо сепаратор. Движение снимается с двух других свободных звеньев, при этом одно из свободных звеньев может быть неподвижным, тогда передача работает по принципу редуктора или мультипликатора. Еще одной особенностью, отличающей передачи с промежуточными телами качения от всех остальных, является возможность объединить в себе зубчатую и фрикционную передачи, рис. 5.

Представленная на рис. 5 передача с промежуточными телами качения состоит из фрикционного колеса – 1, зубчатого колеса – 2, промежуточных тел качения – 3 и сепаратора – 4. Сепаратор – 4 выполнен с продольными пазами, в которых расположены промежуточные тела качения – 3. Дорожка качения, выполненная на фрикционном колесе – 1 подобна дорожкам, выполняемым на кольцах шарикоподшипников. Конструкция передачи, рис. 5, должна исключать взаимное смещение фрикционного колеса – 1, зубчатого колеса – 2 и сепаратора – 4.

Отмеченные особенности передач с промежуточными телами качения (дифференциальность схемы и возможность объединения фрикционной и зубчатой передач) привели к возникновению множества конструктивных схем, что в свою очередь затрудняет классификацию передач данного типа.

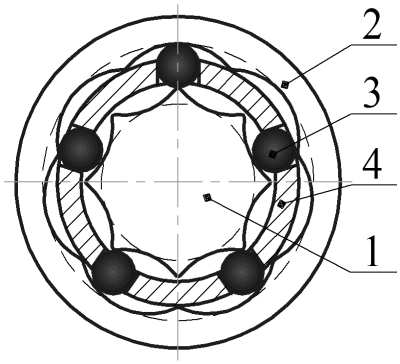


Рис. 3. Зубчатая передача с промежуточными телами качения и параллельными осями: 1) зубчатое колесо; 2) зубчатое колесо; 3) промежуточное тела качения; 4) сепаратор

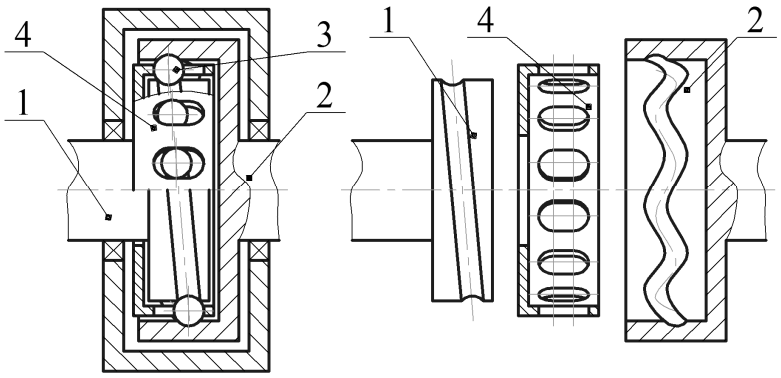


Рис.4. Фрикционно-зубчатая передача с промежуточными телами качения: 1) фрикционное колесо; 2) зубчатое колесо; 3) промежуточное тело качения; 4) сепаратор

В связи с этим считаем целесообразным вторую группу разбить на три подгруппы: а) фрикционные; б) фрикционно-зубчатые; в) зубчатые. Внутри каждой подгруппы передачи с промежуточными телами качения классифицируются по общепринятым признакам: пространственное расположение осей, тип формообразующей поверхности и т.д.

К подгруппе а) данной классификации относятся подшипники качения и редуктора, выполненные по схеме подшипника качения. Примером может служить передача, описанная в работе [6]. К подгруппе б) относятся передачи с промежуточными телами качения, в составе которой имеются как фрикционные, так и зубчатые колеса, рис. 5. К подгруппе в) относятся передачи с промежуточными телами качения, в которых передача движения от одного зубчатого колеса к другому передается посредством промежуточного тела, рис. 4.

На рис. 6 приведена схема, дающая представление о классификации механических передач с зацеплением посредством третьего тела. Данная классификация охватывает существующие передачи на основе зацепления посредством третьего тела, а также те, которые пока еще не имеют конструктивного воплощения.

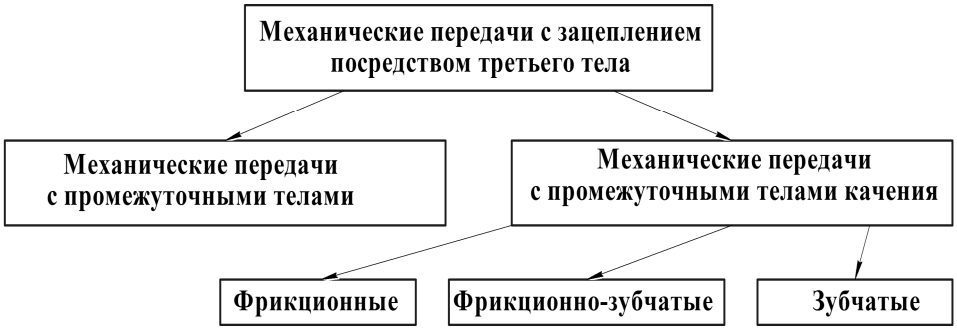


Рис. 5. Классификация механических передач с зацеплением посредством третьего тела

Предложенная классификация не претендует на совершенство и в порядке обсуждения и сопоставления различных взглядов должна помочь найти пути к решению вопроса о типизации механических передач с зацеплением посредством третьего тела.

Отметим также, что аналогичный подход к рассмотрению планетарных передач на основе зацепления посредством третьего тела позволяет классифицировать их по признакам аналогичным тем, что предложены в работе [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев А.Е. Механические передачи с промежуточными телами повышенной долговечности и точности. – Томск. Изд-во ТПИ, 1986. – 60 с.

2. Шибинский К.Г., Ефременков Е.А. Классификация передач с промежуточными телами качения // Современные проблемы машиностроения: Труды IV международной научно-технической конференции. – Томск, 2008 г. – С. 23 – 26

3. Янгулов В.С. Зубчатые передачи повышенной точности и долговечности. – Томск. Изд-во ТПУ, 2008. – 136 с.

4. Передачи со свободными телами качения, обзор патентной литературы // [Электронный ресурс]. URL: http://www.redbear.ru/file/spo.pdf (дата обращения 20.02.2013).

5. Чумакин Р.В., Черемнов А.В., Пашков Е.Н. Немного о передачах с промежуточными телами качения // Труды XVII международной научно практической конференции СТТ 2011, г. Томск, Т.1. С.

6. Geraless transmission: Pat. 3,227,005 US. Appl. No. 118,658. Fild June 21,1961. Patented Jan. 4,1966.

7. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. – М.: Машиностроение, 1966. – 308 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОРУНДО-ЦИРКОНИЕВОЙ НАНОКЕРАМИКИ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ И РЕНТГЕРНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

Чеповской А.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Бурно развивающаяся в настоящее время отрасль нанотехнологий захватывает все больше области науки и техники. Разработка высокоэффективных и перспективных нанотехнологий зачастую требуют

использование материалов с высокими физико-механическими, а также тепловыми свойствами. Одним из таких материалов может служить корундо-циркониевая (КЦ) нанокерамика. Перспективность использования данного материала обусловлена его высокими эксплуатационными характеристиками – износостойкость, твердость, прочность. Однако, все перечисленные характеристики и свойства присущи только лишь для наноструктурной керамики [1].

Для того чтобы получить нанокерамику необходимо выполнить три основных условия: 1) использование ультрадисперсных порошков с нанокристаллической структурой, 2) применение методов компактирования порошков, позволяющих получить компакты с плотностью, составляющей 0,7…0,9 от теоретической плотности материала, 3) спекание керамики в условия, максимально ограничивающих рекристаллизационный рост керамических зерен (активированное спекание) [2].

В данной работе представлены результаты структурных исследований методами рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии нанокерамики на основе Al2O3 – ZrO2.

Рентгеноструктурный анализ образцов КЦ нанокерамики проводился на дифрактометре XRD-3003 (Германия), излучение λ = 0,15405 нм (CuKα1), шаг съемки по 2θ был 0,02˚ в диапазоне 10…90˚. Средние размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) кристаллитов определялись по формуле Шерера из уширения профиля рефлексов дифрактограммы. Расчет параметров кристаллической структуры проводили при помощи программы PowderCell 2.4 с использованием стандартной базы данных ICSD. На рис. 1 представлена дифрактограмма КЦ керамики.

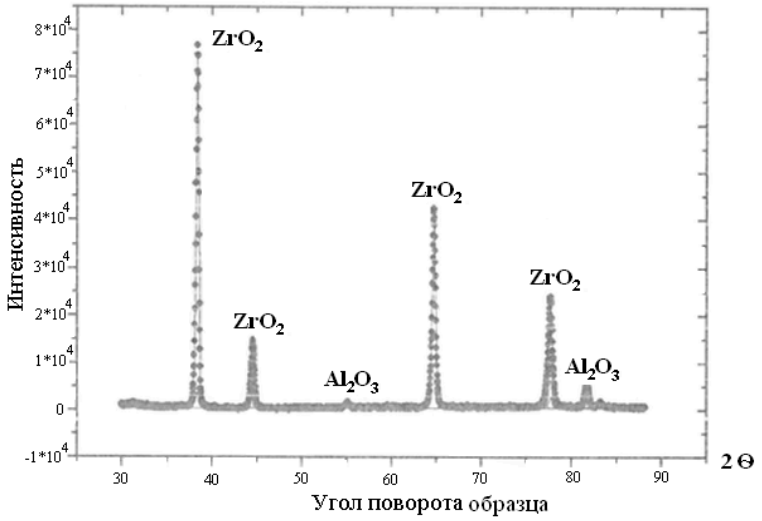


Рис. 1. Рентгенограмма КЦ керамики

Электронную микроскопию шлифов керамики проводили на микроскопе Hitachi S-800 (Германия). Обработку проводили с помощью программы ImageJ 1.38 по ГОСТ 21073.3 – 75.

На рис. 2 представлен один из обрабатываемых снимков, сделанных с помощью электронного микроскопа. Темные зерна представляют собой фазу корунда, а светлые – диоксида циркония.

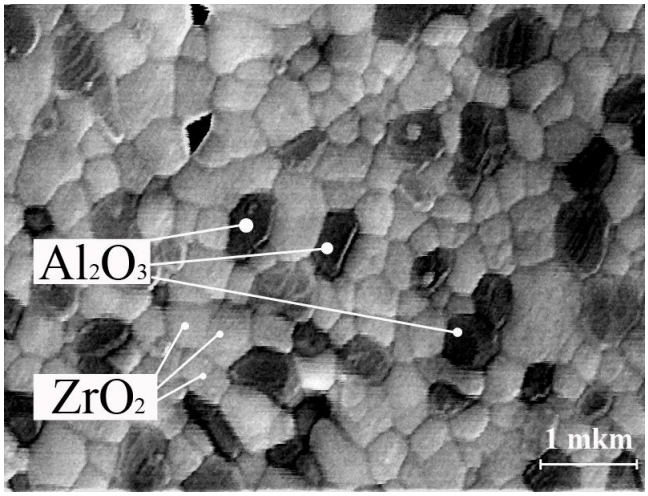


Рис. 2 Микрофотография КЦ керамики

Ниже, в таблице, представлены обобщенные экспериментальные данные по изучению структурных параметров КЦ керамики.

Таблица 1.

Результаты обработки электронномикроскопических снимков и дифрактограмм для керамики состава 80%ZrO2 – 20%Al2O3

Тсп, °С	Рентгеноструктурный анализ						Электронная микроскопия
	Тетрагональная модификация ZrO2			α – Al2O3			Средний размер зерна, нм
	ОКР, нм	Микро-напряжения	%-ое содержание фазы	ОКР, нм	Микро-напряжения	%-ое содержание фазы	
1200	59,69	0,6·10-3	87,9	61,68	0,5·10-3	12,1	108
1300	137,2	0,2·10-3	82,5	146,62	0,2·10-3	17,5	173
1400	54,34	0,5·10-3	90,2	54,55	0,5·10-3	9,8	246
1500	134,13	0,08·10-3	15,26	42,86	1·10-3	79,42	427
1600	100,41	0,4·10-3	22,28	276,52	0,16·10-3	77,72	623

Как видно из таблицы для данных, полученных по электронным снимкам, с увеличением температуры спекания величина среднего размера зерен увеличивается. При этом, начиная с температуры спекания 1400°С, явно заметно ускорение роста зерен, чем в области более низких температур. Это может быть объяснено с позиции протекания процесса рекристаллизации (рост зерен) и его активации при высоких температурах.

Анализируя данные полученные с помощью рентгеноструктурного анализа видно, что нет четкой закономерности изменения размера ОКР и микронапряжений. Согласно установленным положениям с увеличением температуры спекания размер ОКР должен расти (процесс рекристаллизации), в то время как микронапряжения должны снижаться (релаксация). Причиной такого несоответствия является большая погрешность при получении дифракторгамм.

Кроме того нами были проведены измерения плотности и микротвердости образцов КЦ керамики. Плотность была измерена с помощью гидростатического взвешивания. Кинетика уплотнения для образцов КЦ керамики представлена на рис. 3. Как может быть отмечено, характер изменения плотности от температуры спекания одинаков и имеет явный максимум при температуре 1400˚С. Этот эффект нами ожидаем и связан, прежде всего, с высокой начальной плотностью прессобразцов. Дальнейшее увеличение температуры спекания, приводящее к снижению плотности, по нашему мнению, связано с образованием микротрещин за счет процесса рекристаллизации. Для подтверждения данного суждения нами была проведена работа по оценке микротвердости (по методу Виккерса) образцов КЦ керамики (рис. 3).

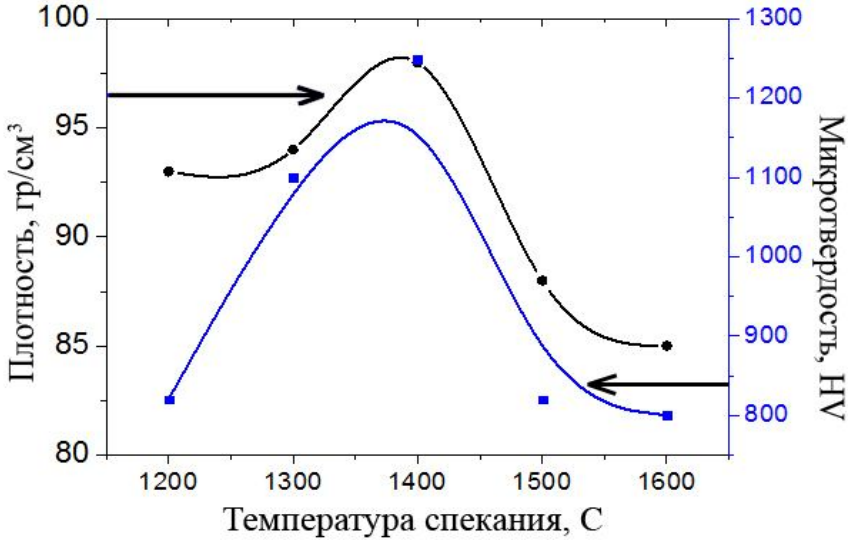


Рис.3. Влияние температуры спекания на плотность и микротвердость керамики состава 80%ZrO2 – 20%Al2O3

Как видно из данных рис. 3 максимальной твердостью обладают образцы керамики, спеченные при температуре 1400˚С. Низкие значения твердости при более низких и более высоких температурах спекания относительно 1400˚С, связано, в первом случае с еще недостаточно спеченной структурой, во втором - растрескивание образца за счет процесса рекристаллизации.

Таким образом, в данной работе представлены результаты исследований структурных параметров керамики состава Al2O3 – ZrO2 . На основании полученных данных было установлено, что результаты рентгеноструктурного анализа не позволяют делать какие либо заключения в силу большой погрешности при измерении. Анализ данных электронных снимков показал, что процесс роста зерна в КЦ керамики идет не по линейному закону, а имеется некоторая критическая температура (в нашем случае 1400˚С) после которой процесс рекристаллизации резко активируется. Этот эффект особенно важен при изготовлении нанокерамики, поскольку необходимо добиться получения плотной и полностью спеченной структуры уже при температурах более низких чем 1400˚С, обеспечивающих нанокристалличность керамической структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андриевский Р.А. Порошковое материаловедение. - М.: Металлургия, 1991. - 356 с.

2. Анненков Ю.М., Ивашутенко А.С. Разработка технологии получения оксидной нанокерамики методами высокоэнергетического воздействия // Сборник трудов 12-й международной конференции "Радиационная физика и химия неорганических материалов". -Томск. - 2003. - С. 131-141.

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ СВАРКЕ

Щербинина А.А., Соколов А.П.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

При сварке различных конструкций большое внимание уделяется установке одной детали относительно другой, и эта задача решается с помощью различных устройств.

В настоящее время для фиксации деталей при сварке применяются различные механические зажимные приспособления (рис.1) [1]. С их помощью можно легко расположить обрабатываемые элементы конструкции наиболее удобным образом. Но такие зажимы характеризуются ограниченным ходом и диапазоном фиксаций и позволяют перемещать свариваемые части лишь по поверхности сварочной плиты.



Рис. 1. Механический зажим

Стремятся достичь лучшего сочетания параметров: точность, скорость установки и усилия фиксации. С этой точки зрения оптимальным является применение магнитных угольников (рис.2) с фиксированными стандартными углами (30, 45, 60 и 90 градусов). Для расширения функциональных возможностей магнитные угольники оснащены приспособлениями для регулировки угла наклона фиксируемых поверхностей (рис. 3) [2]. Однако, это увеличивает время установки деталей. Кроме того, сварка конструкций, собираемых не на плоскости, а в пространстве требует уже большого количества магнитных угольников.



Рис. 2. Магнитный угольник с углом 90°



Рис. 3. Магнитный угольник с регулируемым углом

Данная статья посвящена разработке устройств, упрощающих соединение сложных по форме деталей в сложных пространственных положениях друг относительно друга.

Известна модульная система с разъемным магнитным каркасом, содержащая множество модульных блоков из немагнитного материала, подлежащих сборке для создания композиций [3]. Недостатком данной модульной системы является однозначное соответствие изображения форме модульных блоков. Это сужает возможности формообразования.

Также известно магнитное игровое устройство, содержащее вращающийся несущий каркас, образованный стержневым элементом, и установленные на нем с возможностью скольжения магнитные кольца [4]. Недостатком данного устройства является невозможность изменения формы каркаса, однозначное соответствие изображения форме стержневых элементов, ограниченность в получении пространственных конфигураций.

Нашей задачей являлось изобрести устройство, позволяющее получать трехмерные фигуры при помощи формообразующих объемных элементов.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому устройству является устройство для формирования объемного изображения [5]. Устройство содержит образующие изображение объемные элементы, выполненные в виде шнуров, снабженных по меньшей мере одним постоянным магнитом, предназначенным для закрепления указанных элементов на имеющем произвольную форму основании из ферромагнитного материала.

Недостатком данного устройства является невозможность образования объемных фигур вне основания из ферромагнитного материала.

Указанная задача в предлагаемом устройстве решается следующим образом [6].

На рис. 4 представлен общий вид объёмного элемента. На рис. 5 представлено осевое сечение участка объёмного элемента.

Устройство для формирования объемных фигур содержит образующие форму объемные элементы, каждый из которых снабжен постоянными магнитами 1. Магниты имеют сферическую форму 2 со сквозным отверстием 3 и нанизаны на тросик 4 вперемежку со втулками 5, имеющими на концах вогнутые сферические поверхности 6 и 7. На одном конце тросик имеет механизм натяжения 8.

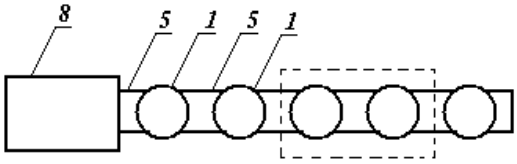


Рис. 4. Общий вид объёмного элемента

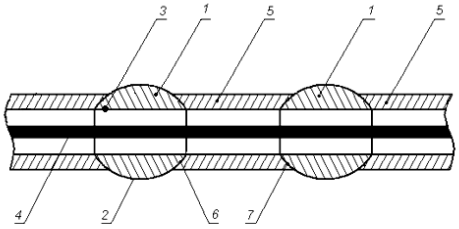


Рис. 5. Осевое сечение участка объёмного элемента

Данное устройство включает магнитные детали и детали с регулируемыми силами фиксации взаимного расположения.

Устройство работает следующим образом. При помощи механизма натяжения 8 натягивают тросик 4, на который нанизаны магниты 1 вперемежку со втулками 5. При этом объемный элемент принимает определенную пространственную форму, образуя пространственную кривую линию, если пренебречь толщиной объёмного элемента по сравнению с его длиной. Вследствие притяжения магнитов нескольких объемных элементов, кривые линии этих элементов образуют каркас трёхмерной фигуры.

На полученном каркасе объёмной фигуры за счёт притяжения к магнитам прочно удерживаются детали из конструкционной стали. Соединяя неразрывно (например, сваркой) эти детали между собой, можно получать разнообразные фигуры. В этом случае предлагаемое устройство служит каркасом для сварки. Ослабляя механизм натяжения троса каждого объёмного элемента, их удаляют из образованной фигуры.

Возможности предлагаемого устройства в реализации объёмных фигур определяются минимальным радиусом кривизны объёмного элемента. Этот радиус может быть рассчитан по следующей схеме (рис. 6).

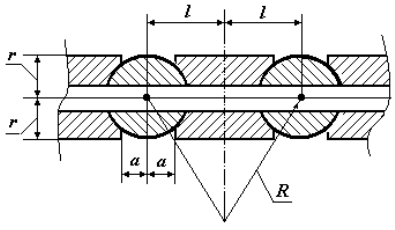


Рис. 6. Расчётная схема

Примем:

2l – расстояние между центрами двух соседних шаров-магнитов;

2a– расстояние между торцами двух соседних втулок;

2r– диаметр втулки

Тогда минимальный радиус R кривизны объёмного элемента по его средней линии определяется по формуле: $R = \frac{l}{a}\sqrt{r^2 + a^2}$

Описанное устройство может использоваться не только как базовая поверхность при изготовлении ажурных металлических манекенов или скульптур. Это устройство может быть напрямую использовано при натурном моделировании формы тел. В компьютерном проектировании создаваемые объекты принимают вид «чайника Юта». Они имеют свою эстетику, и находят своё воплощение в объектах экстерьера (рис.7). Моделирование объектов в таком стиле может быть осуществлено в натуре с помощью предлагаемого устройства быстрее и более художественно выразительно.



Рис. 7. Скульптура «Конь»

Устройства, сочетающие в себе магнитные детали и детали с регулируемыми силами фиксации взаимного расположения, наиболее перспективны применительно к монтажу ажурных металлических конструкций со сложной взаимной ориентацией соединяемых деталей. Наряду с тем, что устройство является вспомогательным оборудованием при сварке, оно также может служить 3D моделью при конструировании объектов сложной формы.

ЛИТЕРАТУРА

1.http://www.k97.ru/engine/glossary/mehanicheskie_zajimnye_prisposobleniya.html

2. http://www.k97.ru/engine/glossary/magnitnye_ugolniki.html

3. Пат.2367493 Российская федерация, МПК A63H33/26 (2006.01) Конструкционная модульная система с разъёмным модульным каркасом / Клаудио Виченталли; опубл. 10.06.2009.

4. Пат.2053829 Российская федерация, МПК A63H33/26 (2006.01) Магнитное игровое устройство / А.А. Лазарь; опубл. 10.02.1996.

5. Пат.2241259 Российская федерация, МПК A63H33/26 (2006.01) Устройство для формирования объёмного изображения / М.Г. Давыдов; опубл. 10.10.2004.

6. Пат.111011 Российская федерация, МПК A63H33/26 (2006.01) Устройство для формирования объёмных фигур / А.П. Соколов, А.А. Щербинина, М.С. Кухта; опубл. 10.12.2011.

СЕКЦИЯ 2.
ЭФФЕКТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

РИСК-МЕНЕДЖМЕНТ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В СИСТЕМЕ МЕНДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ОРГАНИЗАЦИИ

Солоникова Т.Г.
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск

Эффективность деятельности любой компании напрямую зависит от того, насколько успешно она управляет рисками. Существенное влияние на снижение рисков во многих сферах деятельности предприятий может оказать снижение энергоемкости функционирования предприятий.

В перспективе развития мировой промышленности на первый план выдвигается технологическая экономия энергии в мировом масштабе. Но в данном отношении успехи России пока недостаточны. В 2000 - 2008 годах за счет внедрения новых технологий при новом строительстве и модернизации энергоемкость валового внутреннего продукта снижалась в среднем только на 1 процент в год, или примерно так же, как и во многих развитых странах, что не позволило существенно сократить технологический разрыв с этими странами. Эффект от внедрения новых технологий частично перекрывался деградацией и падением эффективности старого изношенного оборудования и зданий [1].

Уровни энергоемкости производства важнейших отечественных промышленных продуктов выше среднемировых в 1,2 - 2 раза и выше лучших мировых образцов в 1,5 - 4 раза. Но высокая энергоемкость российского ВВП – это не «цена холода», а наследство плановой экономики, от которого за 17 лет так и не удалось избавиться. Кстати, в царской России эффективность использования энергии была в 3,5 раз выше, чем в Германии, в 3 раза выше, чем во Франции и Японии, в 4,4 выше, чем в Великобритании и США, и в 3,5 раза выше среднемировой» [2, с. 96].

Сейчас приблизиться к такому раскладу для России остается пока только заветной мечтой, однако, это не означает, что такой результат недостижим и не нужно предпринимать никаких действий. В 2008 г. Указом Президента «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» была поставлена задача снижения к 2020 году энергоёмкости ВВП России не менее чем на 40 процентов по сравнению с 2007 г.

На рис. 1 показана сравнительная динамика энергоемкости ВВП регионов мира с прогнозом до 2020 г. Прогноз для России рассчитан исходя из целевого показателя снижения энергоемкости ВВП к 2020 г. на 40% относительно уровня 2007 г. Для остальных регионов применялась экстраполяция с использованием среднегеометрического роста за период 1990-2006 гг. Как видно из рисунка, за 1990-2008 гг. энергоемкость ВВП России значительно снизилась, тем не менее, потенциал снижения ей еще достаточно большой.

Научно-технический прогресс делает ресурс повышения энергоэффективности возобновляемым. Полная реализация потенциала повышения эффективности использования электроэнергии позволит сократить ее потребление на 340 млрд. кВтч, или на 36% от уровня потребления 2005 г. Повышение эффективности использования тепловой энергии и сокращение ее потерь в сетях может дать экономию 844 млн. Гкал, или 53% от уровня потребления тепла в 2005 г. Высокая энергоемкость российской экономики таит в своих недрах самое большое месторождение газа. Потенциал снижения потребления природного газа составляет 240 млрд. м3, или 55% от уровня его потребления в 2005 г., и существенно превышает экспорт газа из России в 2005-2008 гг. [2, с. 112].

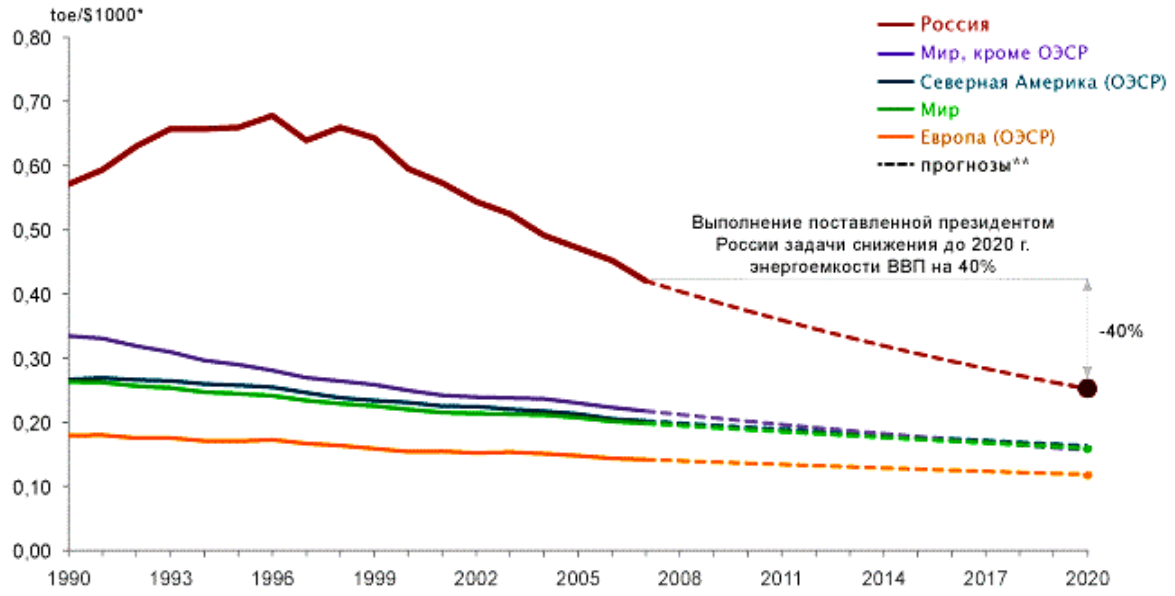


Рис.1. Динамика энергоемкости ВВП регионов мира с прогнозом до 2020 года [3]

Таким образом, существует достаточно большой потенциал развития энергоэффективности российских предприятий, но, к сожалению, пока данный потенциал реализуется на практике в недостаточных масштабах, что грозит серьезными рисками для предприятий.

Низкая энергетическая эффективность порождает низкую конкурентоспособность российской промышленности. При приближении внутренних цен на энергетические ресурсы к мировым, российская промышленность может выжить в конкурентной борьбе только при условии значительного повышения энергетической эффективности производства.

Кроме того, сохранение высокой энергоемкости российской экономики несет в себе очень высокие риски, среди которых:

- снижение энергетической безопасности России в целом и в частности, промышленных предприятий, а также торможение экономического роста;
- осложнение выполнения Россией геополитической роли гаранта надежных поставок энергоносителей на внешние рынки;
- сохранение низкой конкурентоспособности российской промышленности;
- ускорение инфляции.

Высокая энергоемкость при росте тарифов на энергоносители затрудняет борьбу с инфляцией. Рост тарифов на энергоносители необходим для обеспечения развития топливно-энергетического комплекса. Однако рост нагрузки по оплате энергоносителей, выходящий за пределы платежеспособности предприятий, значительно снижает финансовую стабильность.

Для снижения перечисленных ранее рисков посредством увеличения энергоэффективности производства можно предложить промышленным предприятиям внедрение системы управления рисками в рамках системы менеджмента качества организации. Систему риск-менеджмента на промышленном предприятии в общем виде можно представить как комплекс мероприятий и процедур для проектирования, мониторинга, анализа и постоянного улучшения риск-менеджмента на предприятии с целью снижения вероятности возникновения неблагоприятного результата и минимизации возможных потерь, вызванных его реализацией. В системе менеджмента качества предприятия риск-менеджмент играет одну из ключевых ролей вследствие того, что неопределенность зачастую возникает в различных сферах деятельности организации и напрямую связана с качеством продукции, процессов данной организации. В контексте менеджмента качества управление рисками регламентируется международным стандартом ИСО 31000:2009.

Риск-менеджмент можно применить к целой организации, к ее площадкам и уровням, также как и к определенным функциям, проектам и видам деятельности. Поэтому попробуем применить концепцию управления рисками в области качества к сфере энергосбережения предприятия. Внедрение системы риск-менеджмента предлагается начать с построения в организации эффективного процесса риск-менеджмента.

В качестве основы модели процесса риск-менеджмента целесообразно использовать модель процесса риск-менеджмента, установленную стандартом ИСО 31000:2009. [4]

Но для увеличения энергоэффективности организации необходима небольшая адаптация указанной модели. На рис. 2 приведена адаптированная модель процесса риск-менеджмента энергоэффективности.



Рис. 2. Процесс риск-менеджмента энергоэффективности

Коммуникации и консультации в сфере энергоэффективности с внешними и внутренними заинтересованными сторонами должны происходить на всех стадиях процесса управления рисками. Они должны обращаться к вопросам, касающимся рисков непосредственно, его причин и последствий, и мерам, которые были приняты с целью обработки такого риска. Устанавливая контекст энергоэффективности, организация ясно формулирует свои цели в области энергоэффективности и определяет внешние и внутренние параметры, которые будут приняты во внимание при управлении рисками. Следующим этапом является идентификация риска снижения энергоэффективности. Цель данного этапа – составить исчерпывающий список рисков снижения энергоэффективности, основанный на тех рисковых случаях, которые могут предотвратить, ухудшить или сократить возможность достижения целей

энергоэффективности. Анализ рисков включает в себя рассмотрение причин и источников риска, его последствий и вероятности возникновения. Определение степени риска включает в себя сравнение уровня обнаруженного в процессе анализа риска с критериями риска, определенными при установлении контекста. Необходимость обработки, которая включает в себя одну или более позиций модификации рисков, рассматривается на основании такого сравнения. Мониторинг и оценка должны быть спланированы в ходе процесса риск-менеджмента и должны подвергаться регулярной проверке и надзору.

Так, с помощью внедрения системы риск-менеджмента на основе модели процесса риск-менеджмента энергоэффективности, мы можем снизить энергоемкость предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа РФ «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» – [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://minenergo.gov.ru/activity/energoeffektivnost/documents/index.php?ELEMENT_ID=6730

2. Доклад о развитии человеческого потенциала в Российской Федерации 2009 – Энергетика и устойчивое развитие / Под общей редакцией С.Н. Бобылева /Дизайн-макет, допечатная подготовка, печать: ООО «Дизайн-проект «Самолет», 2010. – 180 с.

3. KEY WORLD ENERGY STATISTICS (IEA 2009) – [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://issuu.com/tomamik/docs/energystatistic

4. Международный Стандарт ISO 31000: «Риск Менеджмент – Принципы и руководства», 2009 – [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.pqm-online.com/assets/files/standards/iso_31000-2009(r).pdf

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Лысков И.А., Петров А.С., Гуляев А.В.
Вологодский государственный технический университет, г. Вологда

В нашем регионе существует огромный потенциал социально-экономического развития. Территория Вологодской области обладает большим потенциалом для развития фермерских, домашних хозяйств, животноводства, рыболовства. Любое создание хозяйства требует затрат электроэнергии, которая поставляется централизованно по электрическим

сетям. Расширение электрической сети требует больших материальных затрат. Зачастую становится затруднительным подключение домашнего хозяйства одного дома находящегося в электрифицированной деревне.

В последнее время актуальной стала задача использования альтернативных источников энергии, таких как энергия ветра. Конструкции ветроэнергетических установок постоянно совершенствуются. Особенно интересным для климатических условий Вологодской области являются тихоходные электрогенераторы, позволяющие производить электроэнергию с малых средних скоростей воздушного потока (3-3,5 м/с). Проведенные исследования свидетельствуют о возможности получения энергии при средней скорости воздушного потока 2,5-3,3 м/с, (такова средняя скорость ветра вблизи поверхности земли в Вологодской области). При такой скорости ветра скорость вращения пропеллера очень мала. Соответственно использование стандартного генератора для ветроэнергетических установок затруднительно.

С этой целью необходимо использовать тихоходный генератор с повышающим планетарным редуктором.

Изготовленная экспериментальная установка и модель тихоходного электрогенератора, способна производить до 1.0 кВт электроэнергии.

Главное преимущество предлагаемого тихоходного электрогенератора – возможность работать на номинальном режиме работы и вырабатывать электроэнергию при скоростях ветра до 3.0 м/с, (существующие образцы могут работать при средней скорости ветра 4.0-5.0 м/с). При этом так же сохраняется возможность работать в штатном режиме при скоростях ветра до 25 м/с.

Научная новизна решений основывается на применении семифазного статора и ротора на постоянных магнитах. Опыт работы проектирования электрогенераторов постоянного тока основывается на существующих наработках (рис. 1).

Оптимальные параметры обмоток генератора подобраны на основании теоретических расчетов и экспериментальных исследований.

Основным сегментом внедрения разработки являются частные домашние, охотничие и рыболовецкие хозяйства. В настоящее время отечественная промышленность производит электрогенераторы, но при этом все они рассчитаны на работу при средних годовых скоростях ветра 4-10 м/с, что не приемлемо для метеорологических условий Вологодской области, где средняя скорость ветра 2,8-3,0 м/с.



Рис. 1. Экспериментальная ветроэнергетическая установка с тихоходным электрогенератором

Опрос показал наличие существенной потребности в ветроэнергетических установках для хозяйственных нужд именно в тех местах, где экономически нецелесообразно подключение к централизованной сети энергоснабжения, в тоже время средняя скорость ветра в данных местах превышает 3,0 м/с.

На основании имеющегося опыта испытания электрогенераторов возможно оптимизировать характеристики выходной мощность за счет установки повышающего планетарного редуктора между осью пропеллера и электрогенератора.

Для этого необходимо изготовление планетарного редуктора для ветрогенератора, уменьшение затрат времени на изготовление ветрогенератора за счет применения шаблонов, готовых изделий, оптимизации технологии изготовления деталей.

На основании опыта, полученного при конструировании тихоходного электрогенератора планируется повысить надежность конструкции и ее стойкость к воздействию перепадов температур, конденсации влаги, воздействию осадков.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВ

Беккер А.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

Проблема рационального или эффективного использования ресурсов занимает важную роль в современных условиях. Поскольку речь идет не только об экономической части вопроса, но и об ограничении выброса вредных газов в атмосферу промышленными предприятиями, повышении производительности предприятий при неизменных затратах, экономии ресурсов в целом и т. д.

Энергоэффективность и энергосбережение входят в 5 стратегических направлений приоритетного технологического развития, обозначенных Д. А. Медведевым на заседании Консультативной рабочей группы Комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики России 18 июля 2011 года в учебно-лекторном корпусе МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Сравним основные показатели эффективности использования природных энергоносителей. Основными энергоносителями на сегодняшний день являются углеводороды трех групп, а именно уголь, нефть и газ. Применение каждого из них в качестве энергоносителя обладает своей определенной спецификой. Использование продуктов переработки нефти связано с применением в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания, газ также используется для этой цели, но в гораздо меньшей мере. Уголь и газ применяются для бытовых целей, а также для нужд теплоэнергетической промышленности. Исходя из всего выше сказанного, можно сделать вывод, что основным показателем эффективного использования является энергия, отнесенная на единицу стоимости.

В среднем, сжигание одного килограмма каменного угля позволяет получить 23-27 МДж (6,4-7,5 кВт*ч) энергии или, при КПД 30 % — 2,0 кВт·ч электричества. Средняя стоимость тонны угля в 2012 году составила $119 (3570-3689 рублей).

Сжигание одного кубометра природного газа дает около 30 МДж. Цена за 1000 метров кубических природного газа составляет порядка $400 (12000-12400 рублей).

При горении одного килограмма нефти, мы получаем 41 МДж энергии. Стоимость нефти на мировом рынке за 2012 год составила $117 за баррель нефти (158,7 литра)[1].

Простой подсчет позволяет определить, что для угля стоимость одного МДж энергии $0,0051-0,0044, для газа $0,013, для нефти $0,925.

Огромные запасы угля в мире, а также его низкая стоимость делает его с одной стороны наиболее привлекательным видом топлива, однако стоит учитывать экологический фактор. Основная проблема использования угля состоит в высоком содержании газообразных и твердых продуктов горения. Решение этой проблемы - использование фильтров для газообразных продуктов. Твердые продукты горения (зола) могут быть использованы в строительстве. Места добычи и складирования отходов, требуют рекультивации.

Добыча природного газа также наносит урон окружающей среде, воздух окружающих газоперерабатывающие заводы местностей загрязнен углеводородами, производство связано с загрязнением сточных вод, т.е. экологические проблемы в основном, связаны не с газом, а с сопутствующими его добыче процессами.

Сравнение показало, что наиболее экономически эффективным является уголь, но газ наносит меньший урон окружающей среде.

Учитывая специфику использования не только нефти, газа и угля, но и всего спектра продуктов получаемых из данного углеводородного сырья, невозможно однозначно судить о эффективности использования того или иного природного энергоносителя. Например, использование угля для двигателей внутреннего сгорания врядли подойдет, а использование нефти для отопительных систем не представляется возможным в массовом потреблении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курлов Д.О. СРАВНЕНИЕ УГЛЯ И ГАЗА В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ. // Материалы V Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум» URL:http://www.scienceforum.ru/2013/20/347/www.scienceforum.ru/2013/20/347/(дата обращения: 19.10.2013)

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА НЬЮТОНА ПРИ РАСЧЕТЕ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

Галиев Р.Ф.
Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань

В практических расчетах электроэнергетических систем нередко приходится рассчитывать схемы, содержащие несколько десятков сотен и даже тысяч узлов. Очевидно, что решать эти задачи вручную, без

применения автоматизированных программных комплексов очень проблематично, если вообще возможно, учитывая нелинейность и размерность системы уравнений установившегося режима.

Расчет установившегося режима является наиболее часто встречающейся самостоятельной задачей в области анализа электрических систем в практике проектирования и эксплуатации, а также входит составной частью или повторяющимся рабочим оператором в задачи расчета переходных процессов, устойчивости электрических систем, оптимизации режимов и т.п. В связи с этим выполнению этой задачи следует уделять большое внимание.

В программах расчета применимы: метод простой итерации, метод Гаусса, метод Зейделя, метод Ньютона и другие. В ходе исследования была разработана математическая модель, и проведены серии расчетов. Проанализировав существующие математические алгоритмы решения соответствующих задач, был сделан вывод, что наиболее оптимальным является итерационный метод Ньютона, либо его вариации. Он обеспечивает быструю и надежную сходимость (как правило не более 3-4 итераций) даже при довольно сильных отклонениях начальных приближений переменных. Проблемы сходимости могут возникнуть при большом количестве ветвей с нулевыми или отрицательными сопротивлениями, сильной нелинейности уравнений, либо при резко неверно выбранных начальных приближениях.

В рамках исследования в среде mathcad был реализован математический алгоритм итерационного метода Ньютона. Для простоты и наглядности в качестве тестовой была взята простейшая электрическая сеть, состоящая из двух узлов.

Теперь рассмотрим основные этапы расчета установившегося режима:

1) получение матрицы узловых проводимостей;

$$g = \mathbf{Re}(\mathbf{Y})$$

$$b = -\mathbf{Im}(\mathbf{Y})$$

g – активная проводимость;

b – реактивная проводимость;

2) задание начальных приближений напряжений узлов (искомых переменных) (в качестве первого приближения берутся номинальные напряжения узлов, которые в дальнейшем корректируются на последующих итерациях выбранного математического метода);

$$\delta = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \vdots \\ \delta_N \end{bmatrix}$$

Где U, δ – начальные приближения модулей и фаз напряжений узлов

N – количество узлов в схеме (включая балансирующий)

3) определение величины небалансов мощностей и формирование матрицы Якоби

$$\omega p_k \leftarrow P_k - U_k \cdot \left[\sum_{j=1}^{N} \left[U_j \cdot \left(g_{k,j} \cdot \cos(\delta_k - \delta_j) - b_{k,j} \cdot \sin(\delta_k - \delta_j) \right) \right] \right]$$

$$\omega q_k \leftarrow Q_k - U_k \cdot \sum_{j=1}^{N} \left[U_j \cdot \left(b_{k,j} \cdot \cos(\delta_k - \delta_j) + g_{k,j} \cdot \sin(\delta_k - \delta_j) \right) \right]$$

$$dWp_dU_{k,j} \leftarrow -U_k \cdot \left(g_{k,j} \cdot \cos(\delta_k - \delta_j) - b_{k,j} \cdot \sin(\delta_k - \delta_j) \right)$$

$$dWq_dU_{k,j} \leftarrow -U_k \cdot \left(b_{k,j} \cdot \cos(\delta_k - \delta_j) + g_{k,j} \cdot \sin(\delta_k - \delta_j) \right)$$

$$dWp_d\delta_{k,j} \leftarrow U_k \cdot U_j \cdot \left[g_{k,j} \cdot \sin(\delta_j - \delta_k) - b_{k,j} \cdot \left(\cos(\delta_j - \delta_k) \right) \right]$$

$$dWq_d\delta_{k,j} \leftarrow U_k \cdot U_j \cdot \left(g_{k,j} \cdot \cos(\delta_k - \delta_j) - b_{k,j} \cdot \sin(\delta_k - \delta_j) \right)$$

$$dWp_dU_{k,k} \leftarrow (-g)_{k,k} \cdot U_k - \left[\sum_{j=1}^{N} \left[U_j \cdot \left(-b_{k,j} \cdot \sin(\delta_k - \delta_j) + g_{k,j} \cdot \cos(\delta_k - \delta_j) \right) \right] \right]$$

$$dWq_dU_{k,k} \leftarrow (-b)_{k,k} \cdot U_k - \left[\sum_{j=1}^{N} \left[U_j \cdot \left(b_{k,j} \cdot \cos(\delta_k - \delta_j) + g_{k,j} \cdot \sin(\delta_k - \delta_j) \right) \right] \right]$$

$$dWp_d\delta_{k,k} \leftarrow -U_k \cdot U_k \cdot \left(b_{k,k} \right) + U_k \cdot \sum_{j=1}^{N} \left[U_j \cdot \left(b_{k,j} \cdot \cos(\delta_k - \delta_j) + g_{k,j} \cdot \sin(\delta_k - \delta_j) \right) \right]$$

$$dWq_d\delta_{k,k} \leftarrow U_k \cdot U_k \cdot \left(g_{k,k} \right) + U_k \cdot \sum_{j=1}^{N} \left[U_j \cdot \left(b_{k,j} \cdot \sin(\delta_k - \delta_j) - g_{k,j} \cdot \cos(\delta_k - \delta_j) \right) \right]$$

Рис. 1. Код для формирования матрицы небалансов и матрицы частных производных в mathcad

Индексы k, j – показывают номер узла, изменяются от 1 до N (количество узлов в схеме)

Знак нижнего подчеркивания заменяет дробь.

ωp, ωq – небалансы активной и реактивной мощности

Вектор небалансов и матрица частных производных получается совмещением небаланса реактивной мощности под небалансом активной мощности:

$$W = \begin{bmatrix} Wp \\ Wq \end{bmatrix}$$

$$dW = \begin{bmatrix} \frac{dWp}{dU} & \frac{dWp}{d\delta} \\ \frac{dWq}{dU} & \frac{dWq}{d\delta} \end{bmatrix}$$

Стоит отметить:

- при формировании вектора небалансов (W) из небалансов активной и реактивной мощностей необходимо предварительно удалить строки, соответствующие балансирующим узлам (балансируют по P, Q; базовые по U, δ).

- при формировании матрицы частных производных (dW) из матриц-клеток производных по модулям и фазам необходимо предварительно удалить строки и столбцы, соответствующие балансирующим узлам (балансируют по P, Q; базовые по U, δ).

В нашей схеме эти строки и столбцы соответствуют узлу 1.

4) решение системы линейных уравнений;

Далее можно перейти к нахождению поправок модулей и фаз напряжений путем решения линеаризованной системы алгебраических уравнений:

$$\begin{bmatrix}\Delta U\\ \Delta\delta\end{bmatrix} = -\begin{bmatrix}\frac{dWp}{dU} & \frac{dWp}{d\delta}\\ \frac{dWq}{dU} & \frac{dWq}{d\delta}\end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix}Wp\\ Wq\end{bmatrix}$$

На данном этапе получаем поправки модулей и фаз напряжений.

Важным является то, что в компоненты вектора поправок ΔU и Δδ следует добавить 0 в строки, соответствующие балансирующим узлам. Благодаря этому вектора начальных приближений напряжений и поправок напряжений становятся соразмерными (одинаковое количество строк).

5) определение новых значений напряжений и фазовых углов напряжений;

$$U = U + \Delta U$$
$$\delta = \delta + \Delta\delta$$

6) проверка условий окончания расчета .

```
(break)  if  iter > 20 ∨ |W| < 0.001·|Рнагр|
```

Рис. 2. Код для проверки окончания итерационного процесса

Критерием окончания итерационного процесса является малость корня из суммы квадратов компонент вектора небалансов. Итерационный процесс также следует прекратить, если количество итераций больше 20, это говорит о расхождении режима.

7) возврат к пункту 3 если ни одно из условий окончания итерационного процесса не было выполнено. Либо окончание итерационного процесса в противоположном случае.

Как правило для сходимости режима требуется не более 3 - 4 итераций. Метод Ньютона является наиболее быстрым и надежным способов решения нелинейных уравнений установившегося режима.

Очевидно, что современный программный комплекс расчета и анализа электроэнергетических систем и систем передачи электроэнергии должен базироваться на хорошо зарекомендовавшем себя методе Ньютона.

В работе была показана практическая реализация итерационного метода Ньютона для расчета режимов сложных электрических сетей. Полученный код позволяет рассчитать режим любой сложнозамкнутой электрической сети, не прибегая к продолжительным и громоздким ручным расчетам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие. – Ростов-н/Д.: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006. – 720 с.

2. Хачатрян В.С., Бадалян Н.П., Тамразян М.Г., Хачатрян К.В., Мнацакян М.А., Григорян С.Э., Гулян А.Г., Апроян С.А. // Изв. НАН РА и ГИУ Армении. Сер. ТН. – 2008. Т. LXI, №2

МЕТОД ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПУТЁМ ВЫРАВНИВАНИЯ НАГРУЗОК ФАЗ

Дашков В.М., Семин В.Е.
ФГБОУ ВПО Самарский Государственный технический университет,
г. Самара

Важной проблемой развития энергетики является снижение потерь электроэнергии (ЭЭ). К настоящему времени нормативными документами предлагаются множество мероприятий по экономии ЭЭ.

Одним из мероприятий, которые рекомендуются применять для экономии электроэнергии, является выравнивание нагрузок в фазах потребителей [1,2].

Действительно, характерной особенностью значительной части электрических сетей до 1 кВ большинства зданий медицинских учреждений, учебных заведений и т. п. является неравномерное значение токов в фазах. Часто данную особенность связывают с понятием «неравномерная нагрузка фаз» [2].

Неравномерная нагрузка фаз увеличивает потери ЭЭ в фазных проводах, так как $I_a^2 + I_b^2 + I_c^2 \geq 3 \cdot I_{\text{ср}}^2$.

Кроме этого возникают дополнительные потери электроэнергии за счет прохождения тока по нулевому проводу.

Для определения потерь ЭЭ согласно [2] определяется коэффициент увеличения потерь мощности кн.

$$к_{н} = 3 \cdot \frac{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2}{\left(I_a^2 + I_b^2 + I_c^2\right)^2} \cdot \left(1 + 1{,}5 \cdot \frac{R_0}{R_ф}\right) - 1{,}5 \cdot \frac{R_0}{R_ф},$$

где $\frac{R_0}{R_ф}$ – отношение сопротивление нулевого и фазного проводов.

По нашему мнению данное мероприятие для организаций бюджетной сферы, таких как школы, высшие учебные заведения, больницы, административные здания и т.п. является труднореализуемым и во многих случаях экономически нецелесообразным.

Для электрических сетей указанных объектов различие в величине токов фаз обусловлено тем, что основными потребителями электроэнергии являются однофазные электроприёмники (осветительные приборы, холодильники, кондиционеры, лабораторное оборудование, компьютеры и т.п.), которые включаются и отключаются независимо друг от друга хаотически.

Значения кн в разное время суток и даже для одного и того же момента времени разных дней недели различны.

Это подтверждено результатами инструментального обследования, проведённого в рамках энергоаудита нескольких объектов. Данные, полученные с помощью прибора Ресурс UF2, свидетельствуют о значительном отличии токов в разных фазах.

Анализ графиков фазных токов позволяет выделить несколько характерных точек, в которых происходят значительные изменения токов. Например, для сети учебного корпуса А одного из вузов г. Самары в периоды с 00:00 по 07:00 и с 19:00 до 00:00 токи имеют низкие значения, причём в этот период отличия между токами в фазах минимальны. С 08:00 до 14:00 наблюдается рост абсолютной величины токов, при этом разница между фазами может достигать 50-70%. Период с 14:00 до 18:00 характеризуется значительным изменением тока фазы А относительно других фаз; с 14:00 до 15:00 $I_a \approx I_c$ и на 30% меньше I_b, а с 15:00 до 18:00 $I_a \approx I_b$ и на 30% отличается от I_c. Характер непостоянства величины кн и неравномерность токов фаз близки для других подобных объектов.

Решить проблему обеспечения равенства токов фаз для указанных характерных зданий весьма сложно и даже практически невозможно ввиду резко неравномерного графика потребления, характерного для объектов бюджетной сферы. Применение специальных схем симметрирования в данном случае будет неэкономично.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдштейн В. Г. Кубарьков Ю.П. Молочников Е.А. Халилов Ф.Х. Снижение потерь электроэнергии в системах электроснабжения в свете пересмотра нормативов, инструкций и методик по их расчёту и обоснованию // Электроэнергетика глазами молодежи: научные труды третьей международной научно-технической конференции: сборник статей. В 2 т. Екатеринбург: УрФУ, 2012. Т. 2 С. 373-378.

2. Методические рекомендации по определению потерь электрической энергии в городских электрических сетях напряжением 10(6) - 0,4 кВ. Основные организационно-технические мероприятия по снижению потерь электрической энергии" (утв. Госстроем РФ 23.04.2001). М.: ЗАО "АСУ МОСОБЛЭЛЕКТРО", 2001

ELECTRICAL EROSION OF THE MAGNETOPLASMA ACCELERATOR CHANNEL

Sivkov A.A., Gerasimov D.Y., Tsibina A.S.
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Experimental research of accelerating channel electric erosion of a hybrid coaxial magneto plasma accelerator was carried out. The general rules of erosion distribution along the barrel were determined. It was calculated that the optimum barrel length is equal to the length of an external induction system solenoid, and up to 90% of eroded material mass located there is carried away by a hypervelocity stream. It is shown that the most important factor determining erosion is specific supplied energy (per volume unit of accelerating channel. Integral specific erosion me/W is directly proportional to the energy dissipated in the unit of barrel volume.

The characteristic feature of electro-dynamic accelerators with plasma piston is great electric erosion of electrodes surfaces in the accelerating channel. This phenomenon has a negative character for macro bodies accelerators. It prevents getting high kinetic parameters of launch and excludes any repeated barrel use. On the other side this phenomenon is the basis of technological use of accelerators. Such accelerators refer to the type of electro erosion impulse accelerators of dense low temperature plasma. They are used for getting powder like materials and marking functional metal and composite coatings on hard surfaces [1,2]. The hybrid coaxial magneto plasma accelerator (HCMPA) considered in the present paper refers to this type [3]. Under the condition of electrodischarge plasma acceleration the CMPA provides getting hypervelocity impulse plasma streams with the appearance and carrying away of some tenths of grams of eroded material. Great kinetic parameters of the HCMPA stream

allow to place different metal and composite functional coatings on hard surfaces with the resultant mutual mixture boundary of materials layer. As a consequence the research of electro erosion process of appearance and carrying away eroded mass from the acceleration channel is a very urgent task from the point of view of determining the most meaningful factors and character of their influence on the process as well as of searching possible opportunities of its reduction.

The construction and the operation principle of HCMPA under the condition of electrodischarge plasma acceleration are shown in work [4]. The research is carried out with the application of electrodes - barrels made of stainless steel, having the diameter of acceleration channel (16-24)mm. This material is the most appropriate for the channel of macro bodies' accelerator. The problem of locating corrosion-proof and strengthening coating of stainless steel on the surfaces of various metals.

at the moment of time t=0 the current i(t) starts flowing along the HCMPA. The current getting some level at the moment t1, the conductors electro explode. This moment is considered the start of the accelerator work. The discharge plasma obtains initial acceleration due to electro explosion. Then an electro thermal mechanism is switched on. The acceleration is provided due to the expansion of gaseous products thermal decomposition of a gas generating substance (industrial petrolatum). The further highly efficient acceleration of the circular plasma link happens under the influence of electro-dynamic power of Lorenz. The researches with the help of high-speed photography showed that, depending on the conditions, the time of the plasma material passing the acceleration channel doesn't exceed 100 micro seconds, and the speed at its front part on the barrel section exceeds 7.0 km/s. The erosion of the acceleration channel surface appears both due to its being heated and metals melting in the moving support spot of the plasma link, and to the. plasma material radiation. The eroded surface consists of numerous longitudinal tracks, it proves that the circular plasma link is not a continuous conducting disk, but a combination of discrete radial channels. The data of the high speed photography support this statement. That is, the track structure of the eroded surface is observed during a single passage of the plasma material along the acceleration channel and during a full working current impulse.

From the analysis becomes clear that the metal mass eroded and carried away from the surface of the acceleration channel grows, when the supplied energy W increases. The diameter increase leads to the erosion decrease even if W increases. The erosion character along the length of the acceleration channel has some common features. The high level at the initial stage is conditioned by the close location of the channel at the top of the central electrode, which serves as the source of the maximum energy dissipation. Then, at the passage

(40÷70)mm erosion decreases, as the central electrode becomes more distant. Erosion increases up to some maximum at a bigger distance, the energy W being proportional.

The position of the maximum shifts to the right when W and the acceleration channel diameter d increase, but it doesn't exceed 150mm, which corresponds to the position of the external system solenoid face. Erosion smoothly decreases at any further distance increase. Erosion is not observed, when the energy W=(40÷50)kJ is relatively low at the length of more than (100-180)mm, there is a coating of the previously eroded metal on the acceleration channel surface. When the energy W=(100÷150) kJ, erosion appears on the length (270÷280)mm. The most uniform deterioration of a barrel and coating (80÷90)% eroded mass are provided on length (160÷180)mm. It can be explained by the fact that at the passage influenced by the solenoid, the plasma material is very compact and has the maximum current density and temperature. The presence of the second erosion maximum can result from the braking influence of the face solenoid field, and from the oncoming shock wave process in the plasma stream.

The experimental researches made it possible. To determine the most significant factors influencing the electric erosion value of the HCMPA acceleration channel and to find out the patterns of its electro erosion wear.

REFERENCE

1. G.A. Lukjyanov, Hypervelocity plasma streams. L. Machine building, Leningrad department,1985. p-264.

2. P.M. Kolesnikov, Electrodynamic plasma acceleration. M. Atomizdat, 1971. p.-389

3. A. A. Sivkov, The applied mechanics and technical physics,T.42. № 1, p. 3-12. (2001).

4. A.A. Sivkov, L.V. Korolkov, A.S. Saigash, Electrical engineering, .№ 8, c.41-46. (2003)

СОЛНЕЧНЫЕ УСТАНОВКИ В 3Д ВАРИАНТАХ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Литвинов А.С., Майкова О.В., Юрченко А.В., Юрченко В.И.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

На мощном древе гелиоэнергетики появился новый «плод» - миниатюрные трехмерные солнечные элементы, кривизна поверхности

которых позволяет более эффективно улавливать энергию солнечных лучей. «Плод» еще зеленый, но перспективы имеет многообещающие - суммарный КПД трехмерных фотоэлектрических ячеек на сравнительную стоимость производства много интереснее, чем у стандартных солнечных панелей.

Специалисты из Массачусетского технологического института показали, что трёхмерные структуры из солнечных ячеек за день могут выработать в два, а то и в двадцать раз больше энергии, чем плоские батареи, занимающие на земле или крыше равную площадь.

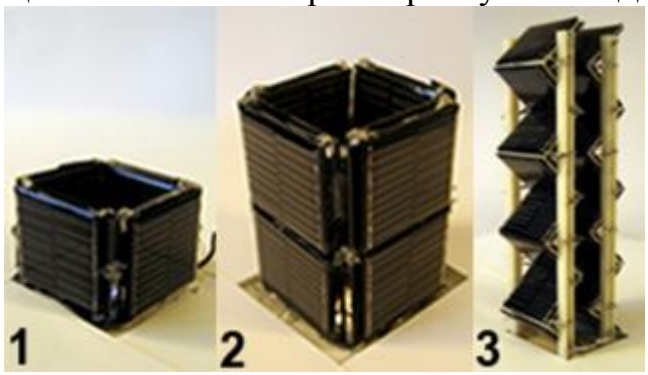


Рис. 1.

Исследователи построили три опытных варианта так называемой трёхмерной фотовольтаики (3DPV). Первая батарея представляет собой открытый сверху куб (фото 1 под заголовком), все наружные и внутренние стороны которого (включая дно) являются фотоэлектрическими преобразователями. Куб сделан из девяти кремниевых солнечных ячеек размером 3 х 3 сантиметра каждая.

Вторая модель – параллелипипед удвоенной (против куба) высоты (фото 2). Он собран из 17 солнечных панелей.

Третий вариант пространственной структуры авторы назвали «башней» (фото 3). Она состоит из 34 аналогичных ячеек, сложенных зигзагом. Здесь тоже солнечные батареи находятся и с наружной, и с внутренней стороны стен.

Если обычные солнечные батареи, не обладающие системой поворота вслед за Солнцем, показывают наибольшую эффективность лишь в полдень, когда свет падает на них под углом 90 градусов, а до и после полудня КПД батарей заметно снижается, то 3D Solar Cells ведут себя прямо противоположным образом. При падении света под углом 90 градусов их КПД оказался равным всего 3,5%, а вот в первой и во второй половинах дня их эффективность была выше (она доходила до 7% при угле падения лучей в 45 градусов). Таким образом, если нет возможности поворачивать солнечные панели вслед за Солнцем (например — они покрывают крышу здания), общая за день эффективность солнечных

батарей, построенных по принципу 3D Solar Cells, будет выше, чем у обычных. Созданные батареи лишь прототип и работа над оптимизацией как пропорций и геометрии башен, так и состава их покрытия.

13-летний житель Нью-Йорка Эйдан Дуайер (Aidan Dwyer) свёл воедино свои знания о деревьях и обнаружил, что эффективность солнечных электростанций можно повысить, если привлечь математику и скопировать достижения у природы.

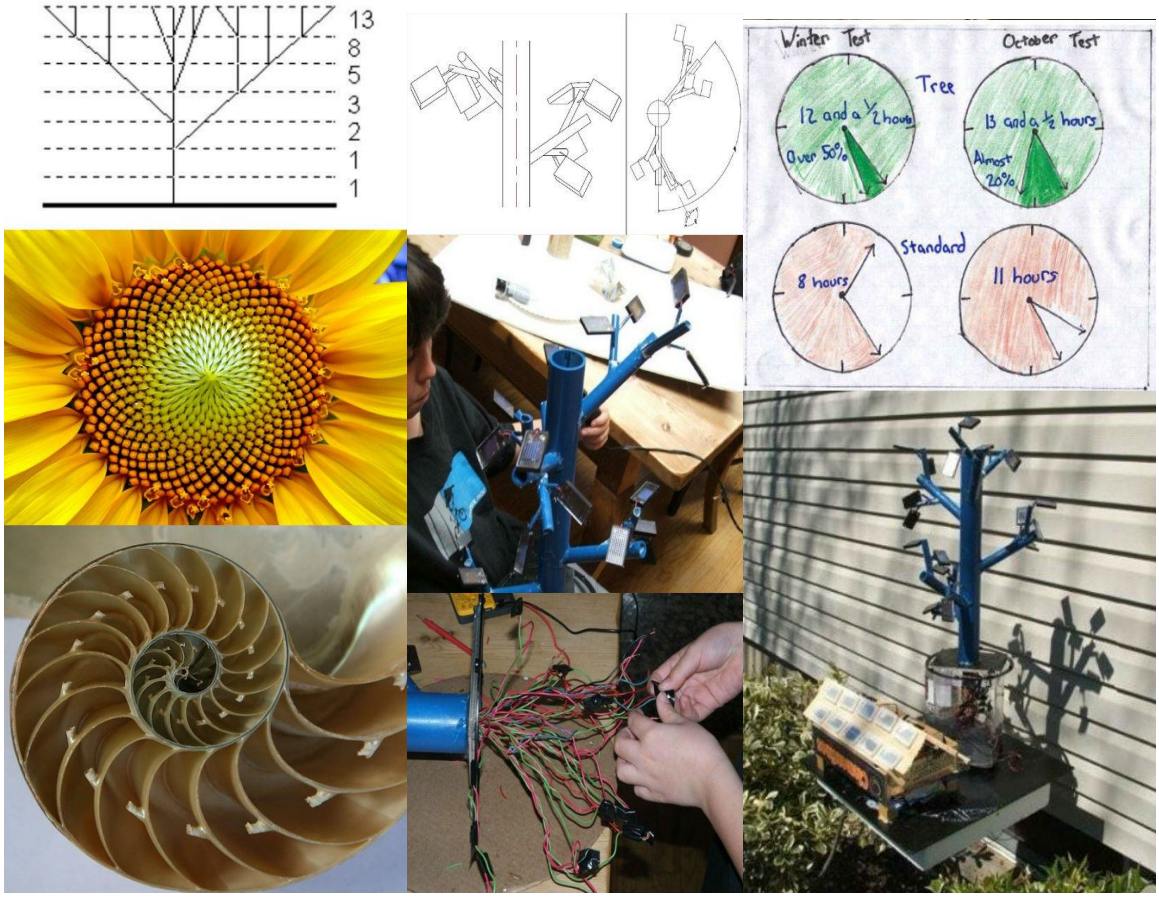


Рис. 2.

Ветки на деревьях располагаются согласно последовательности Фибоначчи, а листья осуществляют фотосинтез пребразуя энергию солнечного излучения. Необходимо проверить, не помогает ли такое положение ветвей собирать больше солнечного света. На случай если вы забыли, что такое последовательность Фибоначчи, напоминаем: это ряд чисел, начинающийся с 0 и 1 и продолжающийся числами, которые являются суммой двух предыдущих: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13… Эту последовательность биологи разглядели в спиральных ракушках, расположении семян подсолнечника, полёте сокола и движении галактик (иллюстрация с сайта mathschallenge.net, фото с сайта

onlineinvestingai.com). Эйдан построил на своём заднем дворе опытную установку с маленькими солнечными батареями вместо листьев и проверил её в действии. Оказалось, что в сравнении с обычной плоской солнечной панелью его «дерево» собирает на 20% больше энергии и на 2,5 часа дольше эффективно работает. Такая установка занимает меньше места, чем плоская панель, собирает на 50% больше солнца зимой даже там, где она не смотрит на юг, да и снег в том количестве она не накапливает. Кроме того, дизайн в виде дерева гораздо больше подходит для городского пейзажа" Эйдана признали одним из лучших молодых естествоиспытателей 2011 года. Конкурс «2011 Young Naturalist» проводил музей естествознания Нью-Йорка. А ещё Эйдан подал предварительную заявку на патент своего изобретения (фото AMNH). Впрочем, люди, занимающиеся солнечной энергетикой, поспешили выразить сомнение в верности проведённых замеров и, как следствие, выводов, сделанных школьником.

Японская фирма Kyosemi разрабатывает высокоэффективные солнечные батареи, которые имеют сферическую форму. Разработка под названием Sphelar благодаря своей сферической форме позволяет добиться более высокой эффективности преобразования солнечной энергии и более гибкого применения в различных областях в сравнении с обычными – плоскими батареями. Имея диаметр от 1-1,5 мм, Sphelar могут быть скомпонованы в разных наиболее энергетически выгодных конфигурациях произвольной формы. Между собой они могут быть связаны как параллельным, так и последовательным соединением. Отсутствие необходимости направлять на Солнце панели, составленные из сферических элементов, позволяет не закрывать собой ландшафт местности. Батареи Sphelar можно встраивать в стекла зданий или покрывать ими массивные конструкции, снижая тем самым стоимость содержания здания. Sphelar изготовляются методом свободного падения капель расплавленного кремния. Вследствие чего, сферическая форма образуется естественным путём благодаря гравитации. В результате, производственный процесс отличается очень низким уровнем потерь исходного материала, что позволяет экономить ценный кремний. Специалисты считают, что “круглые” солнечные батареи могут в ближайшем будущем полностью вытеснить традиционные плоские солнечные панели, которые почти в два раза дороже Sphelar. К тому же, эти батареи более экологически чистые как в производстве, так и в использовании.

Одна из последних разработок компании Solaleya, занимающейся экостроительством и биоархитектурой, – вращающиеся эко-дома сферической формы, напоминающие по форме НЛО. Крыша этих

сооружений вращается в течение дня и солнечный свет всегда попадает в окна. 90 % материалов конструкции – дерево, что не мешает постройкам выдерживать ураганы пятой категории и землетрясения восьмой категории. На поворот дома на 360 оС уходит количество энергии, равное работе пылесоса. Уникальная вращающая конструкция дома полностью окупает себя: в доме всегда светло в течение светового дня (нет необходимости использовать электричество в это время суток) и на крыше дома расположены солнечные панели, которые благодаря вращению всегда находятся под прямым воздействиям солнечных лучей.

Ученые решили использовать принцип действия крыла бабочки для повышения эффективности солнечных батарей и увеличения объема солнечной энергии, которую солнечные элементы способны уловить. Крылья бабочки – миниатюрные солнечные коллекторы. Исследователи из Китая и Японии разработали эффективные, покрытые специальным чувствительным к свету красителем, солнечные батареи, которые будут работать по принципу крыльев бабочки.

Опыты увенчались успехом, лабораторные исследования показали, что фотоаноды по принципу крыльев бабочек, действительно повышают уровень абсорбции солнечной энергии.

Заключение

1. Показаны пути улучшения характеристик СБ от положения на поверхности Земли .

2. На основании проведенных исследований могут быть сформированы рекомендации по проектированию СБ и оптимизации их характеристик.

ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Альдиев А.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Передача и распределение электроэнергии от трансформаторных подстанций к электроприемникам в цехе осуществляется кабелями, проводами, шинопроводами. Применяются магистральные, радиальные, смешанные схемы электроснабжения [1 - 3]. Сопротивления и проводимости этих элементов, при расчетах потерь должны входить в схему замещения цеховой сети.

В схеме замещения следует учитывать сопротивления трансформаторов цеховой трансформаторной подстанций, трансформаторов преобразовательных агрегатов, трансформаторов электрических печей. Надо учитывать потери активной мощности в активных сопротивлениях и проводимостях и потери реактивной мощности в реактивных сопротивлениях и проводимостях.

В сопротивлениях потери мощности, зависят от квадрата протекающего тока, в проводимостях – от квадрата приложенного напряжения.

Расчет параметров схем замещения цеховой сети приводятся на основе паспортных данных элементов сети: погонных сопротивлений и проводимости линий электропередач, параметров короткого замыкания и опытов холостого хода трансформаторов различных типов.

Значения токов в ветвях и напряжения в узлах зависят от задающих токов в точках подключения приемников, которые в свою очередь, зависят от режима работы электроприемников.

Активное сопротивления проводов и кабелей выявляется материалом проводников и площадью их сечения. Сопротивление провода может варьироваться в зависимости от эго температуры

$$r_{0.t} = r_0[1 + \alpha_t(t - 20^0)],$$

где r_0 - погонное активное сопротивление, Ом/м; α_t - температурный коэффициент изменения сопротивления.

По способу прокладки кабеля в [4] сопротивления определяется

$$R_0 = \rho_{20} C_\vartheta C_c C_{пз} 10^3 / F = \rho_\vartheta C_c C_{пз} 10^3 / F,$$

где ρ_{20}, ρ_ϑ - активное удельное сопротивление проводника постоянному току при температуре соответственно 20о С и ϑ^0С, Ом $мм^2$/м; C_ϑ - температурный коэффициент, учитывающий изменение активного удельного сопротивление проводника при его температуре ϑ, отличной от 20о С; C_c - коэффициент скрутки, учитывающий увеличение активного сопротивления многопроволочных жил вследствие увеличения фактической длины отдельных проволок жилы; $C_{пз}$ - коэффициент поверхностного эффекта, учитывающий увеличение ρ_{20} и ρ_ϑ при переменном токе 50 Гц.

Активная проводимость кабелей обусловлена только наличием активных потерь $\Delta P_{каб}$ и рассчитывается по выражению

$$g_0 = \Delta P_{каб} / U_ф^2.$$

Погонные потери активной мощности (кВт/км) для одной фазы равны

$$\Delta P_{каб} = U_{ф}^2 \omega C_{0.каб} tg\varphi,$$

где $U_{ф}$ – фазное напряжение; $C_{0.каб}$ - погонная емкость кабеля (Ф/км); $tg\varphi$ - тангенс угла диэлектрических потерь.

Активная проводимость кабельной линии, См, равна $G = g_0 l$ для сетей промышленных предприятий, имеющих небольшую протяженность.

Потери мощности в сети (для одной фазы) записываются в матричном виде:

$$\|\Delta P\| = \|J\|_t \|R\| * \|J\|, \quad \|\Delta Q\| = \|J\|_t \|X\| * \|J\| \qquad (1)$$

где знаком * отмечен сопряженный вектор.

Задающие токи в узлах J связаны с мощностью соотношением

$$\|J\|_t = \|S\|_t \|U\|^{-1}_д ; \|J\| = \|\dot{U}\|^{-1}_д \|\dot{S}\|. \qquad (2)$$

Индексом «д» отмечен вектор U-1, где U- вектор напряжений ветвей, записанный в матричной диагональной форме.

Подставляя (1) в (2), получаем:

$$\|\Delta P\| = \|S\|_t \|U\|^{-1}_д * \|R\| * \|\dot{U}\|^{-1}_д * \|\dot{S}\|,$$
$$\|\Delta Q\| = \|S\|_t \|\dot{U}\|^{-1}_д * \|X\| * \|\dot{U}\|^{-1}_д * \|\dot{S}\|.$$

Потери мощности определяют средним номинальным значением Uy:

$$\|\Delta P\| = (1/U_y^2) \|S\|_t * \|R\| * \|\dot{S}\|.$$
$$\|\Delta Q\| = (1/U_y^2) \|S\|_t * \|X\| * \|\dot{S}\|.$$

Потери электроэнергии за время T составляют

$$\Delta W = \int_0^T \Delta P(t) dt = \int_0^T S_t(t) U_y^{-1}(t) R(U_д *)^{-1}(t) S * (t) dt.$$

При заданном напряжении в узле баланса UБ напряжения в узлах определяют по формуле

$$\|U\| = n * U_Б - \|Z\| * \|I\|.$$

Так как искомые напряжения входят в обе части уравнения, их определяют с помощью итерационного процесса расчета. При расчете режимов цеховой сети и определения потерь энергии и мощности, по большому счету неизвестны функции $P(t), \Delta P(t), Q(t), \Delta Q(t)$.

В зависимости от исходных данных о нагрузках элементов сети для расчетов нагрузочных потерь энергии могут использоваться следующие методы:

1. Методы поэлементных расчетов, применяют формулу

$$\Delta W = 3\Delta t \sum_{i=1}^{k} R_i \sum_{i=1}^{T/\Delta/} I_{ij}^2,$$

где Δt - периодичность опроса датчиков; k - число элементов сети; I_{ij} - токовая нагрузка i-го элемента сопротивлением R_i - в момент времени j.

2. Методы характерных режимов, применяют формулу:

$$\Delta W_H = \sum_{i=1}^{n} \Delta P_i t_i.$$

где n - число режимов; ΔP_i – нагрузочные потери мощности в сети в i -м режиме продолжительностью t_i часов.

3. Методы средних нагрузок, применяют формулу

$$\Delta W_H = \Delta P_{cp} к_ф^2 Т,$$

где $к_ф$ - коэффициент формы графика; ΔP_{cp} - потери мощности в сети при средних нагрузках узлов за время Т.

4. Статистические методы. Данные методы используют зависимости потерь электроэнергии от режимов электрических сетей и характеристик схем.

5. Методы числа часов наибольших потерь τ, применяют формулу

$$\Delta W_H = \Delta P_{max} \tau,$$

где ΔP_{max} - потери мощности в режиме максимальной нагрузки сети.

Данные методы применимы для оценочных расчетов потерь по объекту в целом при принятии основных проектных решений. Для разработки мероприятий по энергосбережению в цехе, в частности оптимизации компенсации реактивной мощности, необходима более детальная информация по параметрам режима сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волобринский С.Д., Каялов Г.М., Клейн П.Н., Мешель Б.С. Электрические нагрузки промышленных предприятий. – Л.: Энергия, 1971. – 264с.

2. Барыбина Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 546с.

3. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1979. – 408с.

4. Сибикин Ю.Д., Барэмбо К.Н., Селятенко И.Т. Эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий. – М.: Машиностроение, 1971. – 423с.

5. Железко Ю.С. Погрешности определения потерь электроэнергии в электрических сетях. – М.: Электричество, 1975.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В МЕТАЛЛУРГИИ

Видяев И.Г.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск

Сегодня направление повышение энергосбережения в деятельности российских предприятий приобретает все большее значение в жизни. Эта тенденция обуславливается ситуацией, сложившейся на российском рынке после вступления в ВТО. Снятие экономических «границ» позволило нашему производству напрямую столкнуться с иностранными предприятиями – грандами. Большинство этих компаний имеют показатели энергоэффективности в несколько раз меньше, чем у отечественных предприятий. Основной причиной этого является многолетняя практика, существующая на отечественных предприятиях, где во главу угла ставилось постоянное увеличение производительности, не зависимо от вкладываемых ресурсов в этот процесс, в т.ч. и энергетических. И как результат огромные непроизводительным потерям топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и связанным с этим неоправданно завышенным платежам за покупные энергоносители.

Выход из данной ситуации возможен через формирование на предприятиях системы энергетического аудита современных производственных систем, направленной на устранение неоправданных потерь и неэффективного использования ТЭР, а также на разработку мер по их устранению или минимизации.

Энергоаудит металлургического предприятия включает в себя как комплексное обследование энергетического хозяйства, так и локальные обследования отдельных заводских систем энергообеспечения по видам энергии, а также наиболее энергоемких производственных подразделений и технологических установок.

Система энергоаудита представляет собой совокупность элементов системы, направленных на обеспечении проведение постоянных измерений установленных и фактических показателей энергопотребления предприятия, разработки документов, регламентирующих этот процесс, а также комплекса мероприятий, обеспечивающих снижение энергопотребления на предприятии в будущем. Говоря другими словами, систему энергоаудита формируют три элемента энергомониторинг (постоянное энерготехнологическое обследование объекта), разработка «Энергопаспорта» и программы «Энергосбережения».

1. Энерготехнологическое обследование [1]

- Проверка условий договоров энергоснабжения.
- Проверка правильности учёта и планирования энергопотребления.

- Проверка технического состояния и ремонтов оборудования.
- Проверка эффективности эксплуатации по загрузке.
- Проверка эффективности планируемых инноваций.
- Выявление потерь и определение их величины.
- Сбор данных для заполнения паспорта.
- Определение приоритетных направлений энергосбережения.
- Оформление отчёта

2. Разработка мероприятий и Энергетического паспорта [1]

- Обследование установок и систем по согласованным направлениям.
- Подбор технических решений и проектных сведений по ним.
- Проверка технической возможности реализовать мероприятия.
- Согласование мероприятий со специалистами предприятия.
- Технико-экономическое обоснование мероприятий.
- Проведение измерений.
- Проверка, дополнение и обработка данных для паспорта.
- Оформление паспорта и сдача в СРО на экспертизу и регистрацию.
- Оформление отчётов с мероприятиями и РПЗ паспорта.
- Отчёт с мероприятиями и пояснениями к паспорту» «Энергетический паспорт»

3. Составление Программы энергосбережения [1]

- Согласование критериев и приоритетов формирования Программы.
- Согласование концептуальных положений Программы.
- Проверка принципиальных ограничений по реализации мероприятий и согласованности с планами развития производства.
- Согласование методик и расчёты эффективности.
- Согласование формы и составление редакционной версии Программы и её согласование.
- Оформление и передача проекта Программы энергосбережения заказчику.

Энергоаудит (энергообследования) обосновывает свою целесообразность возможностью снижения энергозатрат, используемых предприятием - до 20-25 % стоимости ТЭР.

Комплексный энергоаудит - это большая и трудоемкая работа. Он должен проводиться силами узкогопрофильных специалистов , имеющих практический опыт и обладающих глубокими знаниями в сфере проводимых исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ»

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА

Петров А.С., Лысков И.А., Гуляев А.В.
Вологодский государственный технический университет, Россия,
г. Вологда

Из опыта эксплуатации известно, что частый запуск двигателя в условиях низких температур приводит к ускоренному износу двигателя, образованию повышенного нагара на поверхностях камеры сгорания, деталях ГРМ и выпускной системы, увеличению расхода топлива. Конечно, чем дольше двигатель остывает, тем меньше его необходимо прогревать при последующем запуске.

Нами проведены исследования, включающие в себя определение мест утечек тепла на автомобиле с помощью инфракрасного тепловизора.

Тепловизор – это устройство для наблюдения за распределением температуры исследуемой поверхности. С помощью термограмм он позволяет определить перегретые и переохлаждённые места. Распределение температуры отображается на дисплее тепловизора как цветовое поле, где определённой температуре соответствует определённый цвет.

В исследовании основных мест утечек тепла из моторного отсека использовался переносной инфракрасный тепловизор «Testo875».

Так как инфракрасное излучение испускается всеми объектами, имеющими температуру, термография позволяет «видеть» окружающую среду и без видимого света. Величина излучения, испускаемого объектом, увеличивается с повышением его температуры, поэтому на термограмме видны различия в температуре.

Были получены цветные фотографии – термограммы (рис. 1), на которых отчетливо видны места наибольших теплопотерь, а также представлена температурная шкала с минимальной и максимальной температурой.

В качестве средств и материалов, с помощью которых проводилось утепление, было использовано теплоизолирующее одеяло, сшитое из муллитокремнеземистого волокна МКРР-130 [ГОСТ 23619-79] и стеклоткани, а также промышленная фольгированная теплоизоляция перед радиатором и снизу моторного отсека.

Во время проведения испытаний, климатические условия по возможности выбирались одинаковыми для получения более реальных и наглядных результатов. Из-за неустойчивости температуры окружающего воздуха и скоростей ветра, даже в течение дня, сложно оценить реальный эффект от проведенных работ по утеплению. Идеальным в этом случае представляется закрытый бокс с постоянной температурой внутри и, что не менее важно, отсутствием ветра. Измерения проводились в ночное время при влиянии климатических факторов, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Параметры микроклимата в процессе испытаний

Показатель	26-27.02.13	06-07.03.13	25.03.13	29-30.03.13
Средняя температура воздуха, °С	0	-3	-8	-4
Скорость ветра, м/с	5	3	7	0
Влажность воздуха, %	93	96	52	92



Рис. 1. Места утечек тепла из моторного отсека

Анализ полученных теплограмм (рис.1) позволил установить места наибольшей утечки тепла, ими являются: щели по краю капота, сам капот, фары и решетка радиатора. Также значительны потери тепла через колесные ниши.

В целом можно сделать вывод, что для увеличения времени остывания двигателя можно значительно сократить потери тепла применив теплоизоляцию моторного отсека.

Время остывания является одним из основных показателей, характеризующих утечки тепла из моторного отсека автомобиля. Цель данного экспериментального исследования - установление этого параметра.

Для фиксирования переменных значений температуры охлаждающей жидкости во время прогрева и остывания применялся диагностический сканер «Сканматик-2». Он имеет встроенный беспроводной модуль связи «bluetooth», который позволяет производить запись диагностических параметров на персональный компьютер (рис. 2) Данный прибор также используется для диагностики электронных систем и блоков управления (ЭБУ) автомобилей, для проведения технического обслуживания и ремонта автомобилей на станциях технического обслуживания и автосервисах.



Рис. 2. Замер измерения температуры с помощью программы «Сканматик»

Сложность подготовки автомобиля состоит в том, что процесс прогрева двигателя, т.е. нагревание двигателя и других элементов моторного отсека происходит неравномерно. Тепло постепенно распределяется по узлам и агрегатам за счет конвективного и лучистого теплообмена. Сначала повышается температура головки блока цилиндров. Конвективным теплообменом тепло передается блоку цилиндров, коробке передач и навесным агрегатам. Лучистым теплообменом тепло может передаваться стенкам моторного отсека, аккумуляторной батарее и другим элементам. Стабилизация процесса теплообмена наступает гораздо позже после прогрева самого двигателя. При подготовке к испытаниям для учета этого фактора двигатель должен проработать не менее 15 минут после достижения рабочей температуры.

Испытания по остыванию двигателя

Во всех проведенных испытаниях ручка управления отопителем автомобиля находилась в положение «выкл.», все электропотребители также были отключены.

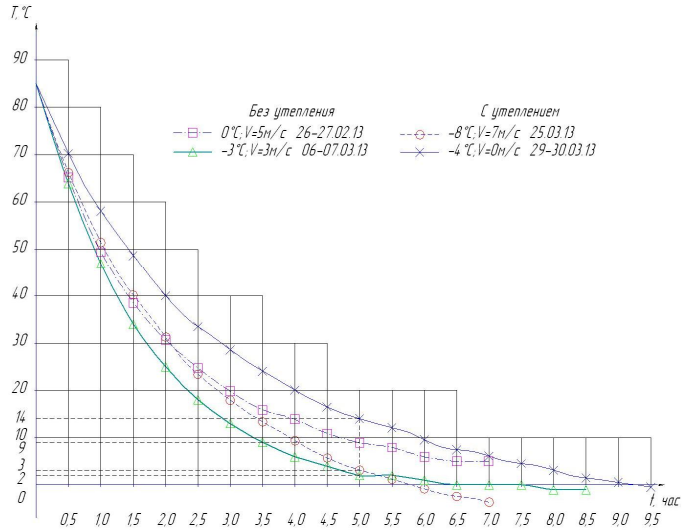


Рис. 3. Интенсивность остывания двигателя

С помощью диагностического сканера «Сканматик 2» по беспроводному протоколу связи «bluetooth» производилась запись диагностических параметров, а именно температуры охлаждающей жидкости, на персональный компьютер с частотой 5-6 значений в секунду.

После необходимых подготовительных действий, было проведено 4 испытания по остыванию двигателя (рис. 3). Из-за сложности и отсутствия необходимости использования большого количества данных, для построения графических зависимостей, были взяты значения температуры с интервалом в 30 минут.

Для удобства дальнейшей обработки данных, начальная температура охлаждающей жидкости была приведена к одинаковому значению, а именно к +85°C.

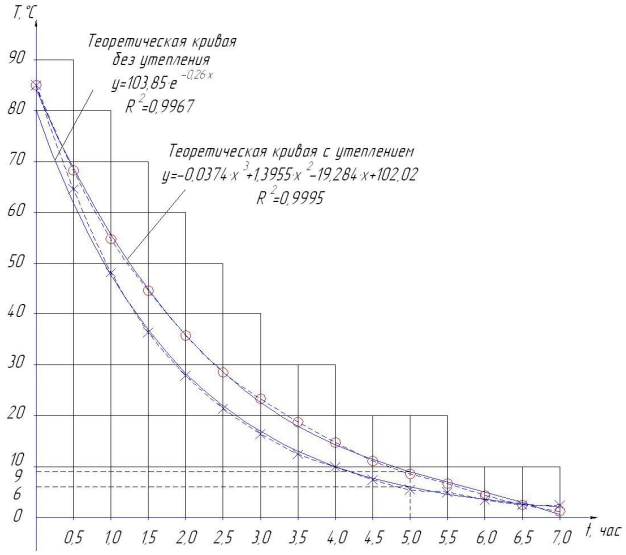


Рис. 4. Результаты обработки измерений

Для построения теоретических кривых (линии тренда) было проведено усреднение значений температуры по графикам без утепления и с утеплением моторного отсека. В первом случае, зависимость похожа на экспоненциальную, во втором на полиномиальную третьей степени (рис. 4).

Вид математического распределения подбирался в редакторе Microsoft Excel. О точности подбора можно судить по коэффициенту детерминации тренда R2, который принимает значения в диапазоне от нуля до единицы и чем он больше, тем лучше уравнение описывает исходные данные. При отсутствии зависимости между (y) и (x) коэффициент детерминации будет близок к нулю.

В нашем случае R2=0,9967 и R2=0,9995. Это свидетельствует о том, что модель объясняет почти всю изменчивость соответствующих переменных.

На графиках по усредненному значению температуры, явно заметен эффект от мероприятий по утеплению моторного отсека. Так на пятом часе остывания разница в температуре составляет 3°С притом, что во время испытаний с утеплением погодные условия были несколько суровее, чем при замерах без утепления: средняя температура -6°С и скорость ветра 3,5м/с против -1,5 °С и 4 м/с.

Также в условиях низких температур не менее важным является время прогрева двигателя.

Запись данных по температуре охлаждающей жидкости, как и в испытаниях по остыванию, проводилась с помощью диагностического сканера «Сканматик 2» по беспроводному протоколу связи «bluetooth». Для построения графических зависимостей, значения принимались с интервалом в 1 минуту.

Было проведено 2 испытания по прогреву двигателя до рабочей температуры, по которым построены экспериментальные и теоретические кривые, которые представлены на рис. 5.

Графическая зависимость без утепления похожа на полиномиальную второй степени; с утеплением на полиномиальную третьей степени.

Если анализировать графики прогрева двигателя видно, что после утепления моторного отсека возрастает скорость прогрева охлаждающей жидкости двигателя: после 5 минут прогрева разница в температуре составляет 7°С; после 10 минут - 6°С. Это дает снижение общей токсичности отработавших газов, ускорение прогрева, а следовательно сокращение расхода топлива и уменьшение негативных факторов, влияющих ресурс двигателя.

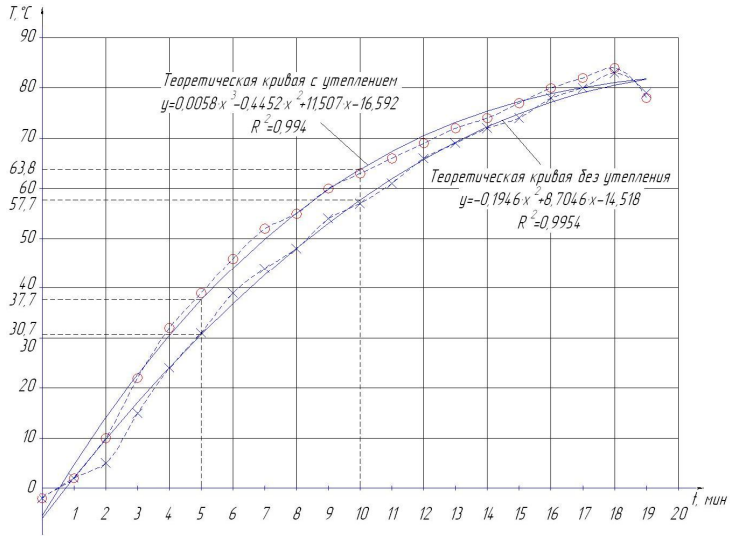


Рис. 5. Графики прогрева двигателя

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 24026-80. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. – Введ. 01.01.81. – М.: Гос. Стандарт союза ССР, 1980. – 11 с.

2. Руководство по эксплуатации инфракрасного тепловизорора Testo875: Гамбург. - 2010 г. – 230 с.

ОБЗОР ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Малкова А.О., Здвижкова Н.А., Третьякова Е.И.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Излучение от Солнца – это главный источник энергии на Земле. Мощность Солнца описывается солнечной постоянной, которая представляет собой количество энергии, проходящей через площадку единичной площади, перпендикулярно солнечным лучам. Эта постоянная численно равна приблизительно 1.37 кВт/м2[1]. Но не стоит забывать о том, что атмосфера Земли пропускает далеко не всё солнечное излечение, и поэтому до поверхности доходит только часть, которая равна 1020 Вт/м2[1]. Люди научились использовать эту энергии для различных целей, например для производства электроэнергии с помощью фотоэлементов. И из-за истощения невозобновляемых источников энергии, альтернативная энергетика становиться более актуальной. В связи с этим, перед нами становиться задача о максимальном использовании излучений для выработки как можно большей электроэнергии. И так как способы по

увеличению мощности Солнца пока неизвестны, можно изменять геометрические структуры солнечных панелей.

Солнечная панель (батарея) —несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) — полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток.

В последнее время производство фотоэлементов и солнечных коллекторов растет быстрыми темпами в различных направлениях. Фотоэлектрические солнечные панели бывают самых различных размеров: от встраиваемых в микрокалькуляторы до занимающих крыши автомобилей и зданий. Но, к сожалению, у солнечной энергетики есть и ряд недостатков, одним из самых важных является ущерб, наносимый окружающей среде при производстве и утилизации солнечных модулей. Поскольку отсутствует единая система приемки отработанных солнечных панелей на завод-изготовитель, развитие рынка переработки только начинается.

В зависимости от того, каким образом организованы атомы кремния в кристалле, солнечные элементы делятся на виды:

Солнечные элементы из монокристаллического кремния

Солнечные элементы из поликристаллического кремния

Солнечные элементы из аморфного кремния

Солнечные панели из монокристаллических фотоэлектрических элементов более эффективны, но и более дороги в пересчете на ватт мощности. Их КПД составляет 14-16%. Примерная цена монокристаллической панели на 300 Вт, 24 В равна 19 000 руб.[7].

Солнечные панели из поликристаллических фотоэлектрических элементов наиболее распространены ввиду оптимального соотношения цены и КПД среди всех разновидностей панелей. Их КПД составляет 12-14%. Примерная цена поликристаллической панели на 270 Вт, 24 В равна 16000руб.[6].

Солнечные панели из аморфного кремния обладают одним из самых низки КПД. Обычно его значения в пределах 6-8%. Однако среди всех кремниевых технологий фотоэлектрических преобразователей они вырабатывают самую дешевую электроэнергию. Примерная цена панели из аморфного кремния 24 В равна 12000 руб.[6].

Одним из подходов, позволяющих повысить выработку электроэнергии при минимальных размерах занимаемой площади солнечных батарей, является придание им искривленной формы, которая помогает собрать больше солнечных лучей.

Для того, чтобы увеличить эффективность работы батареи, нужно, чтобы солнечный свет падал на нее под углом 90 градусов. Но из-за того,

что Солнце постоянно в движении создать необходимые условия для того чтобы данная конструкция работал весь день весьма проблематично. У привычных нам обычных батарей плоская форма и есть только одно положение, когда они работают в полную силу. Но прогресс не стоит на месте и на сегодняшний день зарубежные фирмы могут предложить на разнообразные формы солнечных батарей, повышающих эффективность использования энергии солнца.

Японская фирма Kyosemi на данный момент уже разрабатывает высокоэффективные солнечные батареи, которые имеют форму сферы. Свою разработку они называют Sphelar – от английских слов "сфера" (sphere) и "солнечный" (solar). Данная форма такой батареи позволяет добиться более высокой эффективности преобразования солнечной энергии. Из-за такой формы, батарея лучше «следит» за солнечным излучением в разные времена года под разными углами. Такая батарея захватывает свет с различных направлений, а так же может улавливать отраженный свет от предметов и рассеянный свет в атмосфере [9].

Ученые из Северо-западного университета создали новый проект органических солнечных батарей, который способен усовершенствовать процесс добычи электроэнергии из энергии солнца. Они решили изменить модель рассеивающего слоя, чтобы максимально увеличить время, в течение которого свет остается внутри батареи[3].

Английские ученые решили создавать солнечные панели с алюминиевыми цилиндрами в форме конструктора «Lego», с помощью которых увеличится количество улавливаемого света. Таким образом, они повышают эффективность работы тонкопленочных солнечных панелей[4].

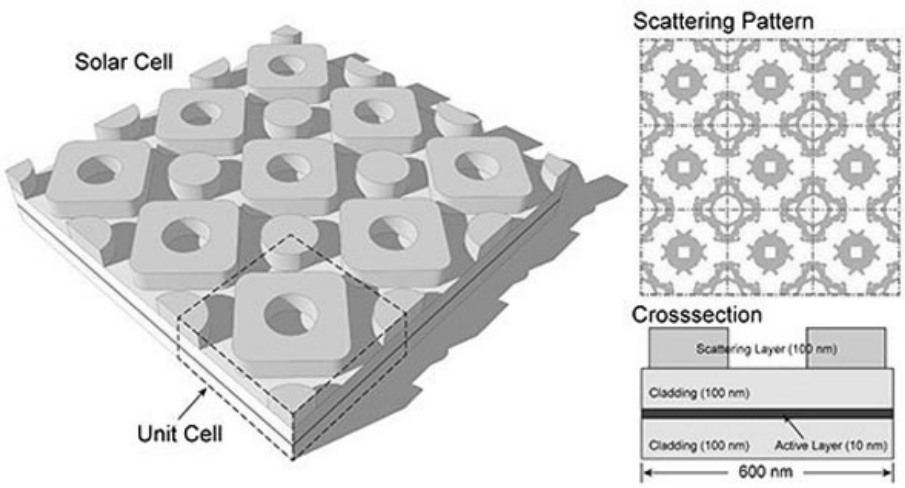


Рис. 1. Модель рассеивающего слоя

Панели под названием Sentinel, компании Solarphasec, не просто эффективно вырабатывают электричество, но и украшают город. Такие панели имеют довольно необычную конструкцию виде конуса. Такая конструкция позволяет существенно экономить место и максимально поглощает количество солнечного света. Из-за своей интересной формы они не затеняют друг друга и могут позволить создать энергостанцию с большой площадью солнечных ячеек на небольшом участке земли[5].

Израильские ученые разработали солнечные панели виде пчелиных сот и назвали их BeeHive PH. Такие панели предназначены для установки в фасад зданий и оконные проемы. Таким образом, данные панели смогут генерировать электроэнергию на нужды здания. Конструкция представляет собой панель из сотен небольших призм. В основе панели – прочный акрил, и они могут использоваться даже в качестве изоляции стен[8].

Исследователи, под руководством Ральфа Нуццо из университета Иллинойса, научились делать миниатюрные кремниевые ячейки, которые абсолютно самостоятельно могут менять форму[2].

Проведенный обзор новых технологий в области солнечной энергетики наглядно демонстрирует потенциал развития и перспективы к расширению области применения фотоэлектрических преобразователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К., Солнечная энергетика. Учебное пособие для вузов/ Под ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - 320 с.

2. http://www.chemistry.illinois.edu/faculty/Ralph_Nuzzo.html

3. http://newenergyandfuel.com/http:/newenergyandfuel/com/2013/01/29/natural-geometry-makes-more-efficient-solar-cells/

4. http://www.expertpost.ru

5. http://v3solar.com/

6. http://energysafe.ru/

7. http://www.helios-house.ru/monokristallicheskie-solnechnye-batarei/

8. http://pronedra.ru/alternative/

9. http://aenergy.ru/

ПРИМЕНЕНИЕ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Полунина Н.Ю.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

Энергосбережение в теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях неразрывно связано с процессами теплообмена. Одним из направлений решения задач энергосбережения на объектах энергетики является применение высокоэффективной тепловой изоляции. В энергетике тепловая изоляция применяется на паровых котлах, паровых и газовых турбинах, теплообменниках, баках-аккумуляторах горячей воды, дымовых трубах, на трубопроводах тепловых сетей.

Тепловая изоляция позволяет создать безопасные условия труда при проведении технологических процессов при заданных параметрах, снижает потери, обеспечивает изотермическое хранение различных веществ и топлив.

Теплотехническая эффективность тепловой изоляции определяется его теплофизическими свойствами (ТФС) (теплопроводностью, удельная теплоёмкостью и плотностью).

Исследование ТФС теплоизоляционных материалов возможно с применением разработанной информационно-измерительной системы (ИИС). ИИС позволяет определять ТФС материалов с теплопроводностью 0,03…0,5 Вт/(м·К) на образцах в виде диска диаметром 120…160 мм, толщиной 6…20 мм.

ИИС структурно состоит из трёх функциональных групп. В первую группу входят датчики температуры и термоэлектрические преобразователи. Вторая группа – это аппаратные средства, обеспечивающие преобразование аналоговых сигналов в цифровые, а также управление ИИС. Третью группу составляют математическое, алгоритмическое и программное обеспечения системы. ИИС реализует разработанный многомодельный метод определения ТФС материалов, позволяющий в одном эксперименте определить комплекс ТФС [1].

Тепловая модель ячейки показана на рис. 1. В ней в качестве главных функциональных элементов выступают: образцы исследуемого материала II, которые охлаждаются циркулирующей в альфа-блоках I жидкостью; в ядре III ТИЯ расположен электрический нагреватель IV, обеспечивающий симметричный нагрев образцов.

Датчиками температуры являются две дифференциальные термопары (ДТ1, ДТ2), предназначенные для измерения перепада температуры на обоих образцах. Спаи каждой термопары расположены

соответственно на поверхностях образцов со стороны нагревателя (Т2, Т3) и со стороны альфа-блоков (Т1, Т4). Свободные спаи дифференциальных термопар помещаются в блок холодных спаев (БХС).

В основу работы ИИС положен многомодельный метод определения ТФС, который позволяет определить значения ТФС из одного эксперимента на стадиях: нестационарного нагрева, стационарной стадии нагрева и нестационарного остывания. Теоретическую основу многомодельного метода составляют аналитические решения краевых задач теплопроводности в системе двух тел на трёх стадиях [1].

В ходе эксперимента фиксируется термограмма – зависимость показаний дифференциальной термопары (ДТ1 и ДТ2) от времени $\Delta T = f(\tau)$. На полученной термограмме выделяются рабочие участки, на которых методом нелинейного регрессионного анализа определяются параметры математических моделей. По расчётным выражениям, полученным при решении краевых задач теплопроводности, определяются ТФС исследуемого материала.

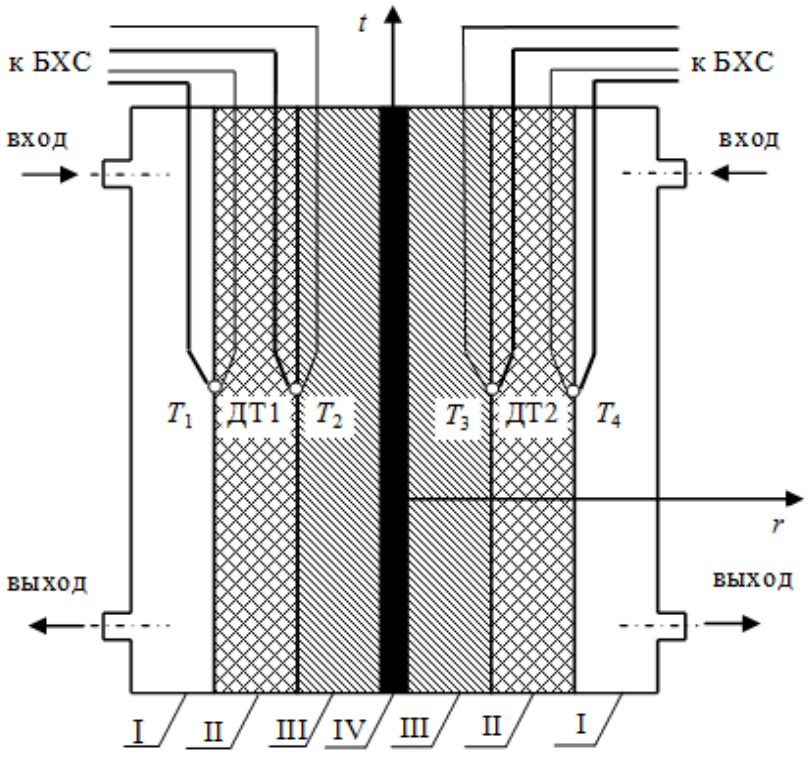


Рис. 1. Тепловая модель ТИЯ:
I – альфа-блок; II – образец испытуемый; III – ядро; IV – нагреватель электрический

Расчётные выражения для определения комплекса ТФС на стадиях нагрева и остывания имеют вид:

объемная теплоёмкость

$$c\rho = -\frac{2b_0 b_1 c_{\text{п}} + q + \sqrt{-2b_0^2 b_1^2 c_{\text{п}}^2 - 2b_0 b_1 c_{\text{п}} q + q^2}}{b_0 b_1 h},$$

теплопроводность

$$\lambda = -\frac{b_1 h(c\rho + 3c_{\text{п}})}{3},$$

температуропроводность

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}.$$

Здесь: $q = Q/2F$ – удельный тепловой поток, проходящий через половину двухслойной симметричной системы, Вт/м2; Q – мощность нагревателя, Вт; F – площадь поверхности ядра, м2; $\sigma = c_1\rho_1 h_1 / 2c\rho h$ – относительная теплоемкость материала ядра; λ, c, ρ, a – теплопроводность, Вт/(м·К), удельная теплоёмкость, Дж/(кг·К), плотность, кг/м3, температуропроводность, м2/с, образца; c1, ρ1 – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К) и плотность, кг/м3, материала ядра; h, h1 – значения толщины образца и ядра, м; τ – время, с; $b_0 = 2\frac{qh}{\lambda}\cdot\frac{(1+3\sigma)^2}{3(1+4\sigma+6\sigma^2)}$, $b_1 = -\frac{3}{1+3\sigma}\cdot\frac{a}{h^2}$ – параметры моделей, описывающих термограмму на рабочих участках, значения которых определяются по методу наименьших квадратов.

На стационарной стадии нагрева определяется теплопроводность испытуемого материала:

$$\lambda = \frac{qh}{\Delta T_{\text{ст}}}.$$

Представленная ИИС реализует в полном объёме, включая аппаратные составляющие, средств измерения и автоматизации, вычислительные средства, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение, многомодельный метод определения ТФС материалов. Использование двух идентичных образцов в конструкции ТИЯ позволяет получить более достоверную измерительную информацию благодаря усреднению результатов испытания.

Многомодельный подход обеспечивает оперативность, надёжность и достаточную точность определения комплекса ТФС за счёт использования нескольких рабочих участков экспериментальной термограммы, зафиксированной при нагреве, на стационарной стадии и при остывании испытуемых образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рогов И.В., Полунина (Тужилина) Н.Ю., Полунин Е.П., Майникова Н.Ф. Измерительная система на базе бикалориметра, реализующая многомодельный метод определения теплофизических свойств // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2011. – Т. 77. – № 8. – С. 36 – 39.

2. Полунина Н.Ю. Информационно-измерительная система автоматического определения теплофизических свойств / Н.Ю. Полунина // Новый университет. – Йошкар-Ола: ООО «Коллоквиум» – 2012. – № 1(7). – С. 62 – 64.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ле Ван Туан
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Чтобы определить, сколько энергии использовал каждый потребитель, ее требуется учесть, для чего используются соответствующие приборы учета - счетчики электрической энергии. Внедрение новейших технологий учета энергоресурсов, в том числе автоматизированных, позволяет повысить точность и объективность учета электро-энергии, а также произвести оценку качества электрической энергии и коэффициента мощности предприятия.



Рис. 1. Прибор EDL175XR

Задачей исследования являлось определение реальных параметров энергопотребления электрических вводов карамельного цеха кондитерской фабрики «Красная звезда», а также оценка качества поставляемой электроэнергии и $\cos\varphi$ цеха. Обследование нагрузок выполнено в период с 1.03.11 (12 час. 16 мин.) по 2.03.11 (15 час. 22 мин.) Для измерения параметров режима использован анализатор количества и качества электрической энергии типа EDL 175XR производства фирмы «SATEC». Приборы этой серии соответствуют требованиям российских и международных стандартов. Данный прибор включен в Государственный реестр средств измерения РФ и имеет соответствующий сертификат. Учет потребленной цехом электроэнергии осуществляется счетчиком электрической энергии типа СЕ 303. Подключение прибора осуществлялось по схеме, приведенной на рис. 2.

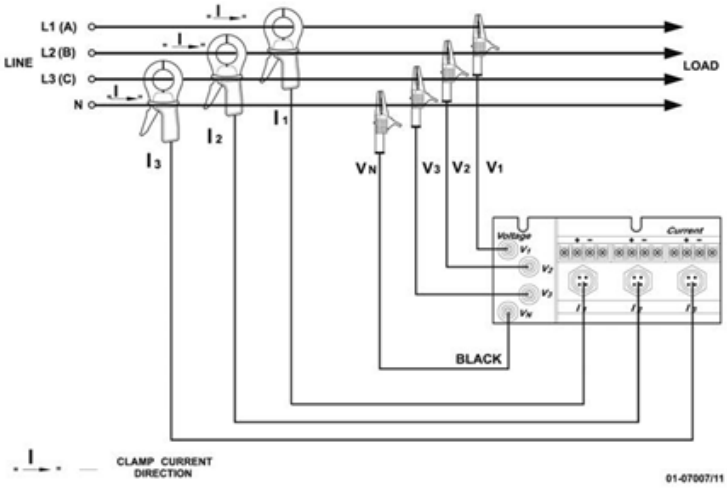


Рис. 2. Четырех-проводное соединение звездой

Прибор EDL175XR израильской фирмы SATEC является переносным, многофункциональным, трёхфазным измерителем и анализатором качества энергии переменного тока [1,2]. Этот прибор предназначен для прямого измерения напряжений до 660 В и токов до 3000А. Данный прибор позволяет осуществлять трехфазные измерения напряжения, тока, частоты, мощности и $\cos\varphi$, осуществляет интегрирование мощности и энергии, а также оценивает несинусоидальность (в том числе по отдельным гармоникам до 40-й), т.е. может использоваться как анализатор качества и как трехфазный счетчик активной, реактивной и полной энергии. [4]

Все настройки прибора производятся непосредственно через панель дисплея либо через порты связи с помощью программы PAS. Эта программа устанавливается на компьютере пользователя и обеспечивает

множество полезных функций: дистанционное управление прибором, накопление и обработку получаемых данных и др.

Для определения реальных параметров энергопотребления электрических вводов цеха были сняты следующие параметры энергопитания, которые фиксировались с частотой выборки 1 раз в минуту: линейные и фазные напряжения; токи по фазам; ток в нулевом проводе; $\cos\varphi$ по фазам; активная и реактивная мощности, потребляемые по фазам; полная активная и реактивная мощность; частота сети.

Для проверки правильности работы счетчика электрической энергии параллельно с ними подключался контрольный прибор. Затем проводилось сравнение показаний счетчика электрической энергии и контрольного прибора. С помощью программы PAS были определены минимальные, максимальные и средние действующие значения измеренных величин. Можно отметить, что резких изменений нагрузки, т.е. частых включений и отключений нагрузок с большой мощностью в карамельном цехе нет. Активная мощность изменяется в пределах 44-50 кВт, реактивная – от 60 до 68 кВар. Такие соотношения активной и реактивной мощности дали основания, для вывода о том, что коэффициент мощности данного цеха очень низок и явно не соответствует стандарту.

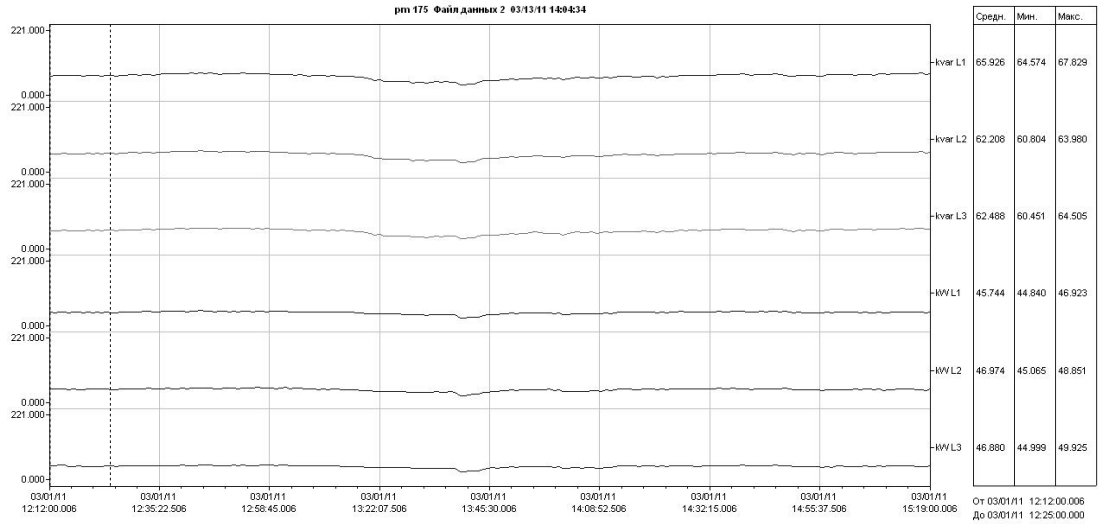


Рис. 3. Графики реактивной и активной мощности по фазам (время томское)

Для анализа качества электрической энергии в программе PAS были рассчитаны значения отклонения напряжения в режиме наибольших и наименьших нагрузок, а также установившиеся отклонение за сутки. Также рассчитан коэффициент искажения синусоидальности напряжения (THD); коэфициент несимметрии напряжений по обратной

последовательности; коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения; размах изменения напряжения; длительность провала напряжения. Все рассчитанные величины (в процентах) соответствуют требованиям ГОСТ 13109-97 [3]. Так, например, нормально допустимое значение THD для напряжений до 380 В – 8%, максимальный THD по прибору – 2,4 %, т.е. качество поставляемого напряжения удовлетворительное.

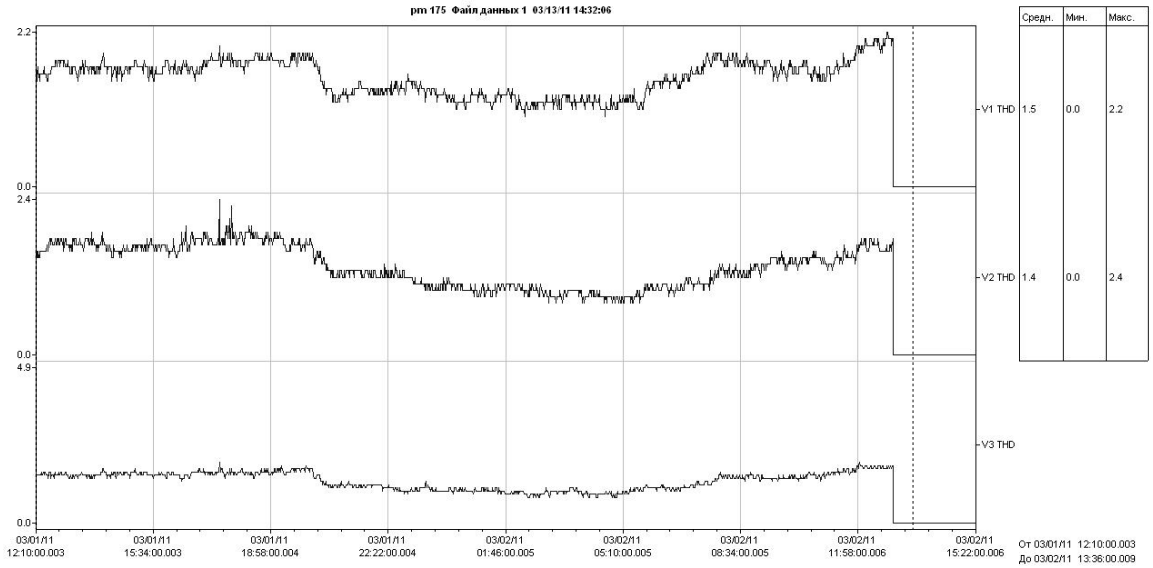


Рис. 4. Графики THD для фазных напряжений

Проведенные измерения показали правильность работы приборов коммерческого учета электроэнергии. По снятым данным можно сделать вывод, что реактивная нагрузка на вводе карамельного цеха имеет индуктивный характер и величина $\cos\varphi$ ввода = 0,5-0,8. Мощность потребления электрической энергии Pср = 46 кВт. Величина не скомпенсированной реактивной мощности ввода примерно 60 кВар. Качество электрической энергии удовлетворяет требованиям ГОСТ. Для повышения коэффициента мощности можно рекомендовать установку в электрощитовой на вводе карамельного цеха конденсаторной батареи до 60 кВАр, а также установку автоматических регуляторов степени компенсации реактивной мощности с целью снижения потерь активной энергии и разгрузки оборудования от реактивных токов.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.hte.com.ua/news/24.html
2. http://www.energometrika.ru/catalog/511/

3. ГОСТ 13109-97 “Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения”.

4. Гаврилин А.Н., Косяков С.А. и др. Введение в энергосбережение. Томск: Издательский дом «Курсив», 2001г. 217 с.

ВНЕДРЕНИЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Беккер А. В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Использование ресурсоэффективных технологий означает повсеместное снижение потерь энергоресурсов на всех этапах его использования, от добычи из недр земли, транспортировки и переработки, до конечного потребителя.

Каждый этап характеризуется потерями и нерациональным использованием ресурсов. Проблема эффективного использования не стояла бы настоль остро, если бы мы говорили о неисчерпаемости природных топлив. Оценки экспертов неутешительны: нефть и газ при нынешнем уровне добычи, могут закончиться в обозримом будущем.

Рационально использовать природные ресурсы, одна из наиболее значимых задач на сегодняшний день. Эта задача подразумевает под собой максимально эффективное использование природных ресурсов и уменьшение вреда, наносимого окружающей среде.

Получение природного газа возможно не только из газовых, газоконденсатных и газогидратных месторождений, но и как попутный продукт при получении нефти. Однако, запасы газа в нашей стране столь велики, что производители нефти не считают нужным рационально использовать попутный нефтяной газ, а просто его сжигают на факельных установках.

Важную роль в масштабном сжигании НПГ сыграла его низкая стоимость, которая формировалась на основе издержек добычи сеноманского газа месторождений Тюменской области, т.к. они были заметно ниже затрат на проекты по использованию НПГ. Значительное влияние оказали также низкие нормативы платы за выбросы веществ, образующихся в результате горения НПГ. Лишь Постановлением Правительства РФ № 410 от 1 июля 2005 года «О внесении изменений в Приложение №1 к Постановлению Правительства РФ от 12 июня 2003 г. № 344» («О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух

загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления») норматив платы за выбросы метана в составе НПГ, сжигаемого факельными установками был увеличен в 1000 раз – с 0,05 до 50 руб (в пределах допустимых нормативов выбросов) и с 0,2 до 250 рублей (в пределах лимитов выбросов) за выброс 1 тонны загрязняющего вещества.

Основными направлениями использования НПГ согласно российскому и зарубежному опыту может быть:

1. использование газа и продуктов его переработки в районах добычи на технологические нужды промыслов и для местных потребностей в энергоресурсах;

2. сбор и переработка на газоперерабатывающих заводах с получением сухого отбензиненного газа (СОГ) для поставки в ГТС и получением газохимической продукции;

3. закачка НПГ в продуктивные нефтяные пласты для повышения пластового давления и нефтеотдачи;

4. поставка НПГ отдаленным потребителям, например, для производства тепловой и электрической энергии, либо по трубопроводам, либо в сжиженном виде автомобильным или иным доступным транспортом.

Одной и важнейших задач является определение экономически целесообразного варианта использовании НПГ в условиях конкретного месторождения на стадии экспертизы и утверждения проектов.

Проблема использования НПГ, присущая всем нефтедобывающим странам, в России давно уже стала особенно острой ввиду мирового лидерства по объему сжигания НПГ и целого ряда исторически сложившихся причин (отсутствие инфраструктуры, доступ к рынкам сбыта, необъективная цена на НПГ и др.), не позволяющих простыми, односторонними и быстрыми способами ее решить. Эффективное использование НПГ, в частности доведение до установленного Правительством 95% уровня утилизации НПГ, начиная с 2012 года, может быть достигнуто путем комплексного подхода, взаимовыгодного и эффективного сотрудничества всех заинтересованных сторон: правительства, бизнеса и общественности. Активная деятельность со стороны всех участников, в том числе общественности, и решение таких важных задач, как совершенствование нормативно-правовой базы, позволят достигнуть установленного 95% уровня использования НПГ к 2013 году[1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутепова Е.А., Книжников А.Ю., Кочи К.В. Проблемы и перспективы использования попутного нефтяного газа в России: ежегодный обзор. Вып. 3. М.: WWF России-KPMG, 2011. 43 с.

ОЦЕНИВАНИЕ СОСТОЯНИЕ ЕЭС РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН С ПОМОЩЬЮ SCADA и PMU

Смагулов С.Б., Акимжанов Т.Б.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Оценивание состояния (ОС) – важнейшая процедура, обеспечивающая управление электроэнергетической системой (ЭЭС) надежной и качественной информацией [1]. Результатом ОС является расчет установившегося режима (текущего состояния) ЭЭС на основе измерений параметров режима и данных о состоянии топологии схемы. При ОС до недавнего времени в качестве измерений использовались в основном телеизмерения (ТИ) и телесигналы (ТС), получаемые от системы SCADA.

Процедура ОС включает в себя решение следующих основных задач [1]:

- формирование текущей расчетной схемы по данным ТС;
- анализ наблюдаемости;
- выявление грубых ошибок в ТИ или обнаружение плохих данных (ОПД);
- фильтрация случайных погрешностей ТИ, т.е. получение их оценок;
- дорасчет неизмеренных параметров режима.

Основные проблемы, возникающие при ОС, связаны с недостаточным объемом и низким качеством информации, поступающей от системы SCADA. Кроме того, из-за последовательного сканирования измерений в SCADA-системах невозможна абсолютная синхронизация данных. Это приводит к ошибкам при формировании расчетной схемы, появлению ненаблюдаемых районов, критических измерений и критических групп [2], в которых невозможно обнаружить плохие данные, и, как следствие, к искажению результатов ОС и низкой точности получаемых оценок.

Уровень наблюдаемости и управляемости в ЭЭС существенно повышается внедрением технологии WAMS (Wide-Area Measurement

Systems). Ее создание стало возможно с появлением системы GPS (Global Positioning System) в 80-х годах прошлого века. Основным измерительным оборудованием систем WAMS, позволяющим контролировать состояние ЭЭС синхронно и с высокой точностью, являются приборы для измерения комплексных электрических величин - PMU (Phasor Measurements Units)[3]. По сравнению со стандартным набором ТИ, получаемым от системы SCADA, PMU, установленные в узлах, могут обеспечить точное (погрешность 0,2-0,5%) измерение модуля и фазы напряжения в этом узле, а также модулей и фаз токов в смежных с этим узлом ветвях.

Совместное использование ТИ SCADA и PMU-измерений в электроэнергетических системах Казахстана ведет к необходимости развития существующих методов ОС на основе интеграции данных SCADA и PMU.

ЕЭС Казахстана представляет собой комплекс электростанций и электрических сетей, объединенных общим технологическим режимом производства, передачи и распределения электроэнергии с единым централизованным оперативно - диспетчерским управлением. Централизованное оперативно-диспетчерское управление осуществляется по иерархической схеме и состоит из оперативного персонала субъектов оптового рынка, региональных диспетчерских центров (РДЦ) и центрального диспетчерского центра (ЦДУ).

Энергетическая система Республики Казахстан (рис.1) условно разделена на три зоны: Северную, Южную и Западную. Линии электропередачи, связывающие с Западной зоной Северную зону, пролегают по территории Российской Федерации. В связи с чем, в настоящее время не представляется возможным осуществить поставки электроэнергии из Северной зоны в Западную зону. Северная зона имеет электрические связи с Южной зоной по линиям электропередачи, напряжением 500-220 кВ.

Система WAMS представляет собой комплекс устройств PMU, распределенных по объектам энергосистемы (подстанции, крупные узлы) и связанных Internet-каналами передачи данных с пунктами сбора информации в региональных диспетчерских центрах – Phasor Data Concentrator (PDC) (уровень «РДЦ СО»), – в свою очередь, передающих ее в национальный диспетчерский центр («НДЦ СО»). Самым важным из приложений WAMS-платформы является мониторинг ЭЭС, открывающий новые возможности управления ЭЭС, в частности в тех областях, которые функционируют под разными SCADA/EMS-системами внутри взаимодействующих ЭЭС.

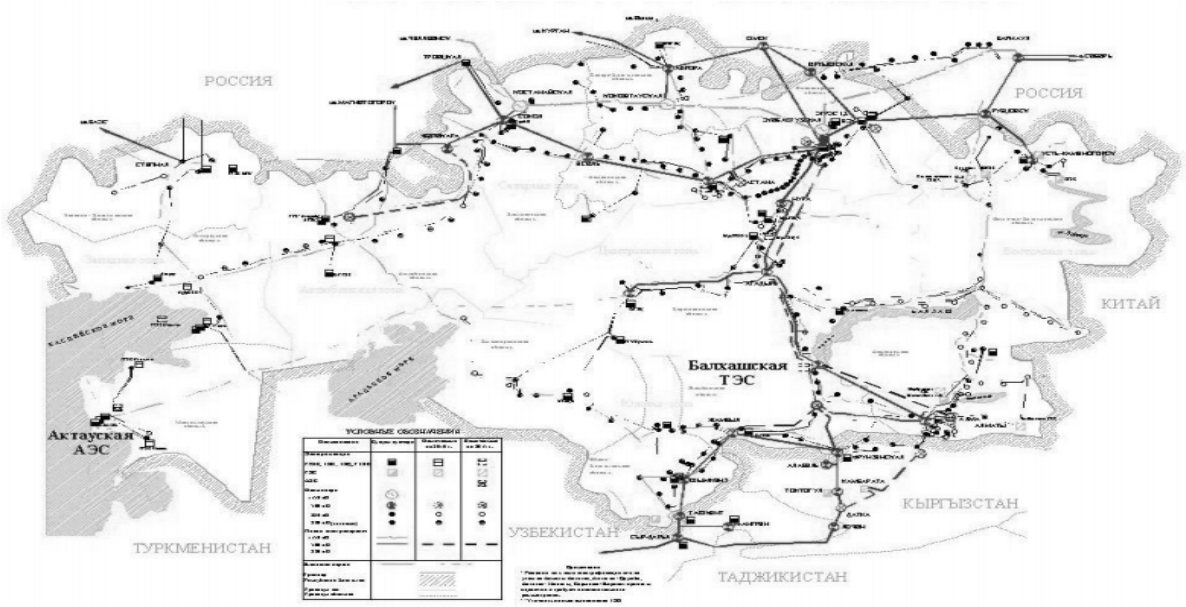


Рис. 1. Схема основной электрической сети Республики Казахстан

SMART-WAMS (российский аналог PMU, используемая так же в Казахстане) позволяет производить точную синхронную регистрацию фаз и амплитуд токов и напряжений в ЭЭС с периодом 20 мс, присвоение каждому измерению метки времени с дискретностью 1 мс. В таблице 1 [4] представлено сравнение точностей измерений, получаемых от PMU разных производителей.

Таблица 1.

Точности измерений устройств PMU

Измеряемая величина	SMART-WAMS (Россия)	BEN6000 (Бельгия)	SEL 421 (США)	RES 521 (Швеция)	Arbiter (США)
U, кВ	±(0,3-0,5)%	±0,1%	±0,1%	±0,1%	±0,02 %
Фазовый угол δ	±0,10	±0,10	±0,20	±0,10	±0,30
Iij, А	±(0,3-0,5)%	±0,2%	±0,2%	±0,1%	±0,03 %
Угол Фij между Iij и Ui	±0,10	±0,10	±0,20	±0,10	±0,10
Частота, Гц	±0,001	±0,002	±0,01	±0,002	±0,005
Погрешность tСИНХ от GPS	20 мкс	50 мкс	5 мкс	5 мкс	1 мкс

Как показывают исследования авторов [4], нет необходимости устанавливать PMU во всех узлах схемы, достаточно установить их примерно в 1/3 узлов. Вектор измерений выглядит следующим образом (1):

$$\bar{y} = \{\delta_i, U_i, I_{ij}, \varphi_{ji}\} \quad (1)$$

где: Iij– модуль тока в ветви, смежной узлу i;

φij– угол между током в этой ветви и напряжением в узле L.

В этом случае часть компонент вектора состояния оказывается измеренной, а оставшиеся компоненты можно вычислить через измеренные токи. Задача получения оценок вектора состояния становится линейной и решается за одну итерацию. Помимо простоты вычислений, достоинством такого подхода является повышение точности оценок за счет существенного улучшения точности измерений от PMU по сравнению с обычными ТИ. Кроме того, использование при ОС только данных от PMU не требует дополнительной синхронизации данных PMU и SCADA.

Таким образом с помощью PMU и SCADA, предназначенных для обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга и управления можно эффективно и реалистично оценить состояние как отдельных элементов ЭЭС, так и ЕЭС в целом.

Интеграции стран на пути к решению общих проблем, связанная с острым дефицитом исчерпаемых ресурсов и с увелечением стоимости их добычи с каждым годом требуют эффективную ведение энергоменеджмента и постепенного перехода к концепции Smart Grid. Оценивая состояние электроэнергетических систем мы не только обеспечиваем энергетическую безопасность страны, но и приближаемся к новой заре ресурсоэффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гамм А.З., Герасимов Л.Н., Голуб И.И. Оценивание состояния в электроэнергетике – М.: Наука, 1983. – 302 с.

2. Гамм А.З., Голуб И.И. Наблюдаемость электроэнергетических систем. – М.: Наука, 1990. – 200 с.

3. Phadke A. G.Synchronized Phasor Measurements. A Historical Overview. – IEEE/PES Transmission and Distribution Conference, 2002, vol. 1, P. 476–479.

4. Гамм А.З., Колосок И.Н., Глазунова А.М., Гришин Ю.А., Коркина Е.С. Развитие методов оценивания состояния ЭЭС на основе новых источников данных, технологий распределенных вычислений и методов искусственного интелекта//Оперативное управление в электроэнергетике – 2011. – №2. – С 41-48.

ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ АКСИАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА И ПОЛЯРНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ В КОАКСИАЛЬНОМ МАГНИТОПЛАЗМЕННОМ УСКОРИТЕЛЕ НА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЙ ИЗНОС ПОВЕРХНОСТИ УСКОРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА

Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Рассматриваемый в настоящей работе коаксиальный магнитоплазменный ускоритель (КМПУ) [1] относится к типу эрозионных ускорителей плазмы и является основой разрабатываемой технологии нанесения функциональных покрытий [2], посредством воздействия на поверхность подложки гиперзвуковой струи плотной электроэрозионной плазмы.

Эрозионные явления на электродах, вызываемые воздействием дугового разряда, определяются не только теплофизическими свойствами материала электродов и электрическими параметрами разряда, но и в значительной мере условиями концентрации тепловой мощности, передаваемой электродам, стягиванием канала разряда в опорных пятнах, взаимодействию между отдельными ветвями, приводящим к перемещению канала разряда по поверхности электродов и т.д. А на эти процессы оказывают влияние действие электрических и магнитных полей [3]. Таким образом, направление аксиального внешнего магнитного поля (ВМП) соленоида и полярность электродов, по-видимому, будут оказывать влияние не только на динамические характеристики, но и на электроэрозионный износ поверхности ускорительного канала (УК).

Для проведения исследований влияния направления аксиального магнитного поля соленоида и полярности электродов КМПУ на электроэрозионный процесс были изготовлены два идентичных индуктора отличающиеся только направлением намотки витков соленоида. Это дало возможность изменять направление аксиального магнитного поля в УК с сохранением полярности электродов, а так же изменять полярность с сохранением направления аксиального поля. Таким образом, одна серия экспериментов при реализации четырех возможных комбинаций должна дать полную информацию о влиянии этих факторов на динамику струйного течения и электроэрозионный износ поверхности УК.

Исследования проводились в процессе отработки технологии нанесения покрытия состава нержавеющей стали. В экспериментах использовались стволы из нержавеющей стали с внешним и внутренним диаметрами Dxd = 25x19,7 мм и длиной ℓук = 250 мм при одинаковых

условиях электропитания: Uзар=3,0 кВ; С=24 мФ; Wс=108 кДж; и при нормальном атмосферном давлении. Основные экспериментальные и расчетные данные приведены в таблице.

Как и следовало ожидать, при изменении направления ВМП за счет использования индукторов с разной намоткой витков соленоида, меняется направление вращения плазмы в УК, как это видно из фотографий поверхности развернутых УК (рис.1). Треки плазменно-эрозионных следов наклонены в разные стороны, соответствующие направлениям намотки соленоида. Именно этим обусловлено направление вращения плазмы, так как оно меняется и при сохранении направления Hz ВМП, но при изменении полярности электродов, производимом так же заменой направления намотки.

Таблица 1.

Экспериментальные данные по влиянию полярности электродов и направлению аксиального магнитного поля на электроэрозионный износ УК

Параметры / № опыта	Ед. изм.	1	2	3	4
Полярность ствола-электрода	-	анод	катод	анод	катод
Направление ВМП	-	встречно	встречно	согласно	согласно
Подведенная энергия, W	кДж	79,0	83,5	77,1	79,4
Эродированная масса, m	г	8,36	7,78	5,97	6,22
Объем ускорительного канала, Vук	см3	77,38	76,92	76,65	75,74
Удельная эродированная масса, m/W	г/кДж	0,105	0,093	0,077	0,078
Удельная подведенная энергия,W/Vук	кДж/см3	1,021	1,086	1,005	1,050
Время ускорения головной части, Δt1-2	мкс	70,7	66,0	66,0	63,4
Скорость на срезе стволе, υс	км/с	3,65	3,56	3,69	3,67

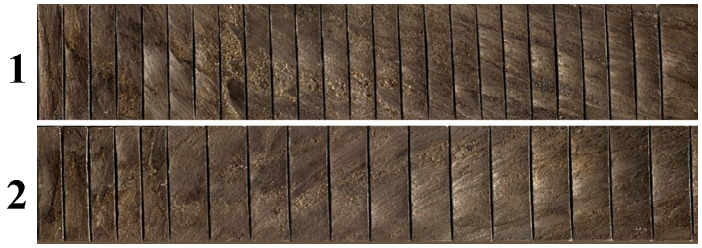


Рис. 1. Фотографии плазменно-эрозионных следов на поверхности УК. Номера соответствуют опытам в таблице

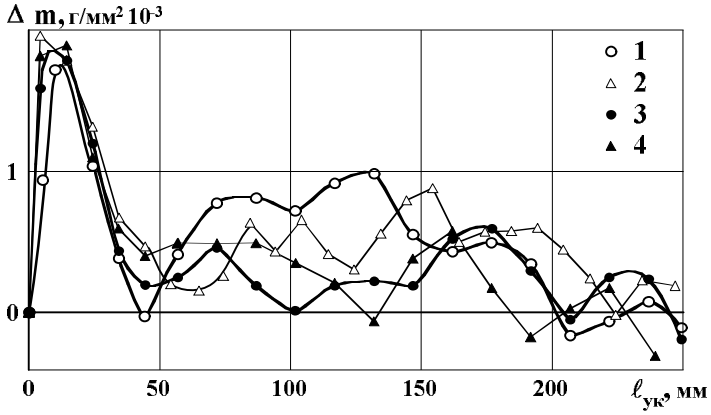


Рис. 2. Эпюры удельного дифференциального электроэрозионного износа по длине УК. Номера эпюр соответствуют опытам в таблице

На рис.2 приведены эпюры дифференциального электроэрозионного износа по длине УК Δm(ℓук) полученные в сравниваемых экспериментах. Номера эпюр соответствуют номерам экспериментов в таблице. Сравнительный анализ представленных данных показывает, что при одинаковом согласном направлениях $\bar{I}_z$ ВМП электроэрозионный износ поверхности УК остается практически постоянным при разных полярностях электрода-ствола. Некоторое незначительное увеличение эрозии имеет место при положительной его полярности, но при встречном направлении $\bar{I}_z$ ВМП. Таким образом, можно констатировать, что полярность ствола-электрода слабо влияет на величину электроэрозионного износа с незначительным его увеличением при положительной полярности и встречном направлении $\bar{I}_z$. Это вполне согласуется с известными закономерностями для искрового и дугового газовых разрядов [4]. Анализ тех же данных относительно влияния направления $\bar{I}_z$ ВМП на величину эрозии показывает, что дифференциальный Δm и интегральный электроэрозионный износ m, а так же удельная эродированная масса m/W существенно возрастают при встречном направлении $\bar{I}_z$ и сохранении общего характера колебаний Δm

по длине УК [5], как это видно из анализа приведенных эпюр. Первый пик Δm на начальном участке Ук практически одинаков во всех случаях. Однако средняя часть УК от 50 мм до 150 мм его длины эродирует намного больше при встречном $\vec{I}_z$, что и определяет увеличение интегрального износа m и m/W (рис.3).

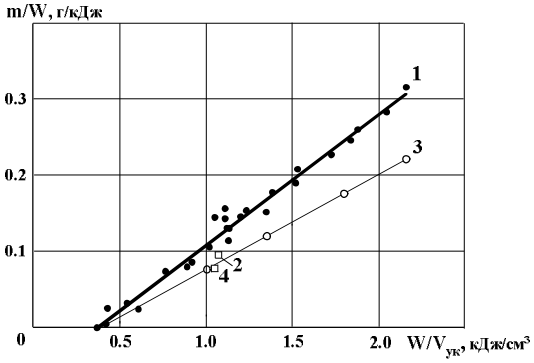


Рис. 3. Зависимость удельного интегрального электроэрозионного износа . от удельной подведенной энергии для стволов из нержавеющей стали 12Х18Н9Т: 1-встречное ВМП, положительная полярность ствола; 2-встречное ВМП, отрицательная полярность; 3-согласное ВМП, положительная полярность; 4-согласное ВМП, отрицательная полярность

Исходя из представленных выше закономерностей можно предположить, что встречное поле оказывает тормозящее действие в центральной области УК, что и является причиной усиления теплового потока на стенку УК и повышения эрозии. Однако исследования динамики струи в свободном пространстве показали, что во всех рассматриваемых вариантах скорость струи на срезе ствола практически одинакова (рис.4). Это не противоречит предложенному в данной работе предположению, так как характер течения в УК может сильно различаться, а скорость на срезе быть одинаковой.

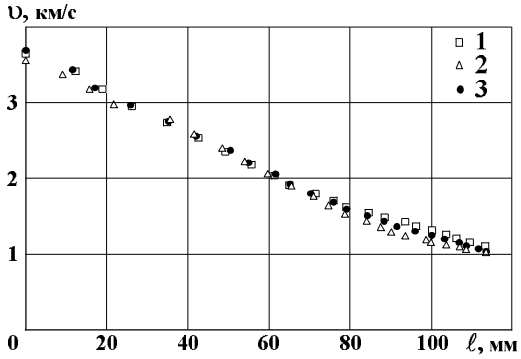


Рис. 4. Кривые скорости струи на срезе ствола, при разных направлениях ВМП и полярностях электрода-ствола. Кривые соответствуют опытам в таблице

Полученные результаты имеют большое практическое значение, так как позволяют оптимизировать систему электромагнитного взаимодействия относительно повышения эффективности использования подведенной к ускорителю энергии на электроэрозионную наработку материала, используемого для получения порошкообразного материала и нанесения функциональных покрытий, при сохранении динамических параметров плазменного течения в свободном пространстве. В оптимальном варианте системы следует обеспечить встречное направление аксиального магнитного поля соленоида и положительную полярность электрода-ствола.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 2150652 РФ. Коаксиальный ускоритель Сивкова. Сивков А.А. 7F41B 6/00. Опубл. 10.06.2000. Бюл. № 16.

2. Герасимов Д.Ю., Цыбина А.С., Сивков А.А. Использование коаксиального магнитоплазменного ускорителя для нанесения медного покрытия на алюминиевую поверхность // Приборы. - 2005. - № 6. - С. 33-40.

3. Намитоков К.К. Электроэрозионные явления. - М.: Энергия, 1978. - 456 с.

4. Кварцхава И.Ф., Матвеев Ю.В., Меладзе Р.Д., Хаутиев Э.Ю. и др. О возможных причинах влияния полярности электродов на рельсотронное ускорение плазмы // Журнал технической физики. - 1966. Т. 36. - вып. 4. - С. 755-759.

5. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Цыбина А.С. Электроэрозионная наработка материала в коаксиальном магнитоплазменном ускорителе для нанесения покрытий // «Электротехника». – 2005. - № 6. - С. 25-33.

СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ РЕГИОНОВ СИБИРИ

Юрченко А.В., Майкова О.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

Альтернативные и возобновляемые источники энергии, такие как энергия ветра и солнечного света, гидро - и геотермальная энергия, во всем мире привлекают все больше внимания. Растущий интерес к ним вызван экологическими соображениями, с одной стороны, и ограниченностью традиционных земных ресурсов - с другой. Особое место среди

альтернативных и возобновляемых источников энергии занимают фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии, изучение которых превратилось в отдельное научное направление – фотовольтаику [1].

Источником энергии солнечного излучения служит термоядерная реакция. При использовании высокоэффективных методов преобразования энергии Солнце может обеспечивать бурно растущие потребности в ней практически вечно.

В докладе представлены результаты расчётов работы автономной системы освещения (АСО) с электропитанием от ветро-солнечной установки (ВСУ) основанных на проведённых в России в период с 2008г. по 2012гг климатических испытаниях в реальных условиях (г.Томск).

В большинстве регионов приход солнечной радиации и наличие ветра находятся в противофазе (когда светит яркое солнце, обычно нет ветра, а если дует сильный ветер, то нет солнца) [2]. Поэтому, для обеспечения бесперебойного электроснабжения автономного объекта, уменьшения необходимой мощности ветро-генератора (ВГ) и солнечной батареи и ёмкости аккумуляторной батареи, улучшения режимов работы станции во многих случаях целесообразно использование гибридной ветро-солнечной электростанции (ВСЭ).

Особенно ощущаются преимущества гибридных станций при круглогодичном использовании [3]. При этом в зимнее время основная выработка электроэнергии приходится на ветроэлектрическую установку, а летом - на солнечные фотоэлектрические модули [4].

В нашем случае, такая система (Рис.1.) состоит из:

Фотоэлектрической батареи и ВГ.

Аккумуляторной батареи – гелевой, напряжением 12 В.

Контроллеров заряда-разряда СБ и ВГ.

Нагрузки. В качестве нагрузки используем светодиодный светильник мощностью 80 Вт работающий в температурном диапазоне от -500С до +500С.

Электротехническое оборудование – предохранители, кабели, система заземления и т. д.



Рис. 1. Ветро-солнечный светодиодный столб уличного освещения

В автономной системе электроснабжения необходимо использовать только энергоэффективные приборы. Например, использование ламп накаливания очень не рекомендуется, т. к. они потребляют ток в 10 раз больший, чем светодиодные лампы [5]. Несмотря на то, что обычно энергоэффективные приборы дороже, их использование дает значительную экономию за счёт снижения мощности источника энергии и ёмкости АБ.

Светодиодный светильник освещения улиц и дорог SLED-Street-1 потребляемой мощностью 80 (±3) Вт, имеет световую отдачу 90 лм/Вт, световой поток не менее 7600 лм, драйвер дающий выходное напряжение 24 В, тип кривой силы света: широкая (Ш), класс зашиты от поражения электрическим током I по ГОСТ Р МЭК 60598-1-2003, степень защиты оболочки светильника IP66 по ГОСТ 14254-6. Эквивалент мощности светодиодных ламп, по сравнению с обычными лампами, составляет: 1:10. Светильник работает от 6 часов (летом) и до 12 часов (зимой). Соответственно, получаем от 480 до 960 Вт потребляемой мощности (питание светильника) в сутки. Для двух облачных и безветренных дней (среднестатистические данные по Томской области) необходим запас мощности 1 920 Вт. При питающем напряжении 24 В светильник потребляет ток 3,3А.

Теперь определим ёмкость АБ. Системы, получающие энергию от возобновляемых источников, обычно накапливают её в аккумуляторах, а затем отдают в нагрузку [6]. Часто, оба эти процесса происходят независимо. За процессом заряда – разряда аккумулятора и потреблением тока нагрузкой следит контроллер.

Заряд аккумулятора происходит, если к нему приложен потенциал, превышающий его напряжение. Ток заряда аккумулятора пропорционален разности приложенного напряжения и напряжения холостого хода. Если ёмкость аккумулятора C заряжается за время t, то скорость заряда определяется соотношением C/t. Аккумулятор ёмкостью 200 А/ч при разряде со скоростью C/10, полностью разрядится за 20 часов. При этом, ток разряда составит 200/10, или 20 А. Скорость заряда можно оценить и в длительностях цикла. Так, если аккумулятор заряжается за 20 часов, то говорят, что он имеет цикл 20 часов. Соответственно, током в 3,3А аккумуляторную батарею ёмкостью 200 А/ч мы разрядим полностью за (200/3,3) 60 часов.

Допустимая глубина разряда АБ (Sonnenschein) 50 %. Данный аккумулятор имеет напряжение 12 В, является гелевым необслуживаемым в течение всего срока службы. Срок работы при температуре окружающей среды 200С и остаточной ёмкости 80 % 20 лет (при 50 % разрядах 12 лет). При изменении температуры окружающей среды и, соответственно,

аккумулятора, напряжение, характеризующее разряд, изменится на 0,03 В/0С.

В нашем случае 200/3,3=60 часов. При разряде АКБ на 50 % система будет работать 30 часов (без подзарядки извне).

При зарядке АКБ от ВГ и СБ, при хорошей солнечной активности и стабильном ветре, происходит быстрый заряд аккумулятора (до 90 % ёмкости) с последующим автоматическим переключением [7] на меньшую скорость заряда (до полной ёмкости), что регулируется контроллером заряда.

Ветер является одним из самых доступных источников энергии. В отличие от Солнца, он может «работать» и днём и ночью, на севере и на юге, летом и зимой.

Неравномерность поступления энергии от ВГ (нестабильность частоты вращения ВГ из-за скорости ветра) делает необходимым использование регулятора напряжения, который настраивается так, что на выходе поддерживается неизменное напряжение (отклонение – до 5 % при изменении частоты вращения ротора). Вращающий момент передаётся от вала ВГ (минимальная частота вращения без потери стабильности выходного напряжения 200-300 об/мин) к валу электрогенератора (номинальная частота вращения 5000 об/мин).

Вертикально-осевые ВГ имеют право на жизнь, но наукой и экспериментально доказана их низкая эффективность, по сравнению с горизонтально-осевыми. Высота мачты выше 8 м позволяет избежать «мёртвого угла», при котором даже средней силы ветер для «ветряка» бывает не эффективен [3].

Ветрогенератор VAWT -500 Вт, вертикально-осевой, предназначен для регионов с низкой среднегодовой скоростью ветра. Стартовая скорость ветра от 0,9 м/с. Номинальную мощность выдаёт при скорости ветра 8 м/с, что делает возможным применять его в регионах со слабыми ветрами. Температура эксплуатации от -500С до +500С (Рис.2.).

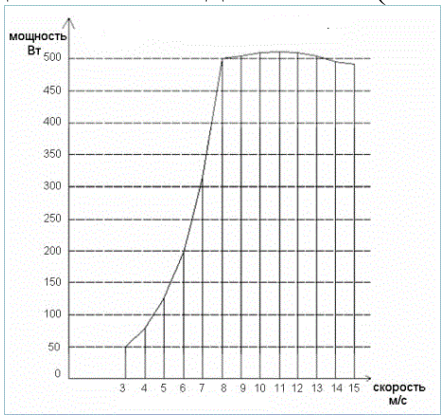


Рис. 2. Зависимость вырабатываемой мощности от скорости ветра

Как видим, при среднегодовой скорости ветра 5 м/с (среднестатистическая скорость по Томской области), ВГ вырабатывает мощность 125 Вт/ч.

Оценить возможности энергетики на возобновляемых источниках энергии, в условиях Томска и окрестностей, позволили: демонстрационная солнечно-ветровая электрическая станция (СВЭС) и малогабаритная автоматическая метеостанция оборудованные на плоской крыше НИИ ПП (Рис.3.).



Рис. 3. Солнечно-ветровая электростанция

Исследования показали, что инсоляция солнечного излучения на 1 м2 для Томска и окрестностей составляет 670 Вт/ м2. В среднем на 1 м2 земной поверхности приходится 1000 Вт/м2. Сезонный коэффициент зимой составляет 0,7 (за счёт рассеяния), а летом 0,5. Необходимая мощность массива солнечных модулей (СМ) будет составлять: 1000*80/ (0,55*670)=217 Вт. Исследования также показали, что 50 % мощности даёт СМ, а 50 % ВГ. Тогда, нам потребуется СМ генерирующий 110 ВТ и его площадь составляет 1 м2. СМ напряжением не ниже 15В, КПД 16 % и размерами 1,47*0,73 м генерирует 125 Вт. СМ набираются из фотоэлементов 12,5*12,5 см на любую мощность, напряжение, площадь и ток. В условиях средней продолжительности ясного дня и средней продолжительности ветра ВГ и СБ будут заряжать АБ полностью за 8 часов.

За зарядом-разрядом АБ следит контроллер. В гибридных системах лучше использовать два контроллера (отдельно для ВГ и отдельно для СБ) [8]. Эта схема использует параллельный способ подключения.

Сечение соединительных кабелей, обычно, подбирается из расчёта потерь не превышающих 2-3 % [7]. Электропроводка должна быть выполнена медным проводом и рассчитана на температуру 750С или выше [9].

Собрав все расчеты в общую цепочку, получим следующий алгоритм:

Мощность нагрузки 80 Вт на 24 В.

Потребляемый ток нагрузки: 80/24=3,3А.

Средняя продолжительность работы светильника 12 ч в день. Система рассчитана на автономный режим (штиль, пасмурно) – 2 дня. Значит, светильник надо рассчитать на 12*2=24 часа работы. 80*24=1920 Вт.

Ёмкость аккумуляторной батареи составляет: 2*12*3,3=80 А/ч.

где: 2 – количество дней

12 – напряжение АКБ

3,3 – ток нагрузки

Так как аккумулятор может разряжаться до 50 %, то берём ёмкость с запасом на 150 А/ч

Требуемая мощность СМ определяется:

1000*80/ (0,55*670)=217 Вт.

где: 1000 – инсоляция солнечного излучения на 1 м2 в среднем земной поверхности.

80 – потребляемая мощность нагрузки

0,55 – поправочный коэффициент расчёта рабочей поверхности СМ летом (зимой 0,7)

670 - инсоляция солнечного излучения на 1 м2 в Томской области

Т.к. мы используем гибридную систему СМ и ВГ, то мощность поступающую от СМ и ВГ делим поровну (исходя из экспериментальных данных местной метеостанции).

СМ размерами 1,47*0, 73,5 м =1,1 м генерирует 125 Вт, соответственно СМ с рабочей поверхностью 1,5 м2 будет генерировать 170 Вт.

ВГ даёт мощность 125 Вт/ч

При средней продолжительной освещённости нашего региона 6 ч (зимой) и наличию ветра 8 ч (наименьший месяц) наша система даёт 6*170=1 020 Вт + 8*125=1000 Вт = 2 020 Вт.

Данная система полностью обеспечивает потребности требуемой мощности с небольшим запасом на потери в проводах:

1 920 * 100 % / 2 020 (-100%) = 5 % (запас), что и требует система.

Для экономии потребления энергоресурсов в системе освещения используется, совместно с дистанционной, автоматическая система управления (АСУ).

Дистанционное управление может использоваться для проведения регламентных работ в дневное время суток и при выходе АСУ из строя.

АСУ уличным освещением работает под управлением контроллера, который формирует сигнал включения (выключения) светильника (группы светильников) с помощью фотореле по радиоканалу из диспетчерской.

Выводы:

По результатам мониторинга работы солнечно-ветровой электрической станции удалось разработать теоретически и реализовать практически работающую без выхода из строя в данных климатических факторах ветро-солнечную установку.

Отсутствие необходимости трудоемкого обслуживания, низкое потребление энергии, плюс экология, безопасность и использование современных технологий, делают выбор в пользу автономных систем освещения правильным и современным, отвечающий реалиям не только сегодняшнего дня, но и будущего. Максимальное использование возобновляемых источников энергии позволяет уменьшить негативное воздействие энергетики на окружающую среду и сохранить нашу планету для наших детей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном энергоснабжении. – М.: Энергоиздат, 2008. – 231 с.

2. Безруких П.П. Ветроэнергетика (Справочное и методическое пособие). – М.: Энергия, 2010. – 320 с.

3. Кашкаров А.П., Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 144 с.

4. Афанасьев В.П., Теруков Е.И., Шерченков А.А. Тонкоплёночные солнечные элементы на основе кремния. - Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина). Минобрнауки России 2-е издание, 2011г. – 167с.

5. Юнович А.Э., Современное состояние и тенденции развития светодиодов и светодиодного освещения, МГУ им. М.В. Ломоносова.

6. Аккумуляторные батареи. Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт. / НИИАТ, - М., Транспорт, 2009

7. Байерс Т, 20 конструкций с солнечными элементами, перевод с английского Сидорова С.В. под редакцией д-ра тех. Наук Колтуна М.М.

8. Э. Парр. Программируемые контроллеры: руководство для инженера. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.

9. СНиП 23-05-95 (Естественное и искусственное освещение).

ДИНАМИКА ГИПЕРЗВУКОВОГО ПОТОКА ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЫ

Герасимов Д.Ю.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Свойства покрытий и модифицированной поверхности металла, обработанной высокоскоростным потоком электроразрядной плазмы, сформированным в коаксиальном магнитоплазменном ускорителе (КМПУ) [1] определяется его динамическими характеристиками. В работе представлены результаты исследований динамики ускорения токонесущей плазменной структуры сильноточного разряда типа Z-пинч с головной частью в виде круговой плазменной перемычки, процесса электроэрозионной наработки металлической плазмы поверхности цилиндрического ускорителя канала пинч-ускорителя и динамики плазменного потока в свободном пространстве в атмосферных условиях (рис.1).

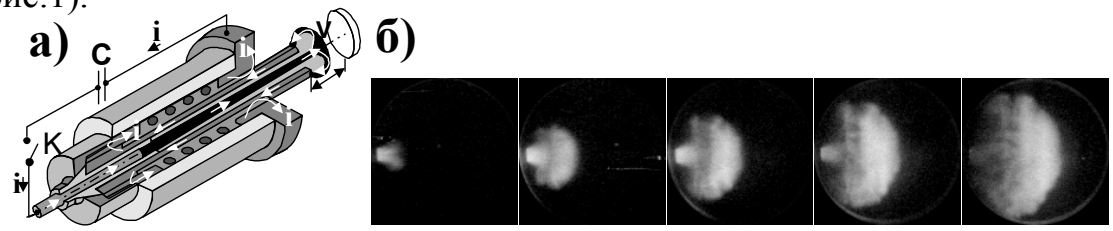


Рис.1 Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель: а) устройство и принцип действия; б) скоростная киносъемка плазменного потока, время между кадрами 9 мкс, реальный размер кадра 170 мм

При длине ствола КМПУ до 250 мм и диаметре канала до 20 мм скорость головной части плазменной структуры на срезе ствола достигает 3÷5.5 км/с, при энергии емкостного накопителя 50÷120 кДж и токе до 150 кА. Время ускорения составляет 100÷120 мкс. С помощью высокоскоростной киносъемки установлено, что после выхода из ствола плазменный поток быстро увеличивается в радиальном направлении со скоростью, близкой к скорости его фронтальной части. Это дает возможность обрабатывать внутренние цилиндрические поверхности. В свободном пространстве скорость фронта потока быстро затухает и на расстоянии 50 мм от среза ствола соответственно составляет 1.5÷3.0 км/с. при подходе к плоской мишени фронт потока также становится плоским и воздействует сразу на всю обрабатываемую поверхность. скорость воздействия потока на мишень может быть увеличена как за счет повышения энергии источника, так и путем уменьшения плотности

газовой среды в камере обработки. За один цикл работы с поверхности ускорительных каналов стволов из меди и нержавеющей стали, выносится 6.0÷7.0 г металла при величине перенесенного заряда ~ 40.0 Кл. Средний удельный вынос эродированной массы составляет ~ 0.15÷0.18 г/Кл. Износ поверхности ускорительного канала далеко не равномерен по длине. Большая часть металла уносится с начального участка длиной до 150 мм. Участок на длине ствола более 200 мм практически не подвергается эрозии. На нем даже осождается некоторая часть эродированного металла. В работе показана возможность регулирования величины эродируемой массы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сивков А.А. Гибридная электромагнитная система метания твердых тел // ПМТФ. 2001. Т. 42. № 1. с. 3-12.

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Бутаков С.В.
ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск

Тангенс угла диэлектрических потерь tgδ является одним из важных параметров диэлектриков и электроизоляционных материалов, позволяющий оценить материал по величине удельных диэлектрических потерь мощности. Величина tgδ не зависит от размеров и формы изоляционного материала, определяется видом и структурой материала, характеризуя потери мощности при работе изоляции на переменном напряжении [1]. Измерение tgδ электроизоляционных материалов при различных частотах и в широком диапазоне температур, в том числе при отрицательных температурах, является важной задачей. Особенно актуальна эта задача при оптимальном выборе по потерям мощности материалов, работающих в экстремальных условиях в электроэнергетических установках и высокочастотном оборудовании. Существует множество измерителей tgδ при разных частотах и температурах: измерители на промышленной частоте 50 Гц (Тангенс-2000, Тангенс-3М, Вектор-2.0 М и др.), мостовые схемы переменного тока на частотах от десятых долей герца до 100 кГц (мост переменного тока Р5083 на частотах от 0,1 до 100 кГц), резонансные методы на высоких частотах

от 100 кГц до 100 МГц (Concept 40 компании NOVOCONTROL Technologies на частотах от 3 мкГц до 20 МГц в диапазоне температур -160 ... +400 ˚С), волновые методы на сверхвысоких частотах от 100 МГц до 100 ГГц. Промышленные измерители tgδ на высоких частотах достаточно дороги для использования в учебном процессе при выполнении лабораторных работ. К тому же они, как правило, не позволяют строить спектр tgδ в заданном диапазоне частот.

С помощью оборудования компании National Instruments, среды программирования LabVIEW, лабораторной станции NI ELVIS II с макетной платой был разработан спектрометр tgδ, работающий в диапазоне частот от 5 Гц до 5 МГц. Этот диапазон частот был выбран исходя из возможностей функционального генератора, встроенного в LabVIEW. К макетной плате подключается датчик, который представляет собой конденсатор, между обкладками которого помещается образец диэлектрика. Выполнен датчик на основе микрометра, позволяет надёжно прижимать электроды к диэлектрику и одновременно измерять расстояние между ними. В качестве изоляционных материалов при измерении применялись образцы гетинакса, дерева, фторопласта-4, коллекторного слюдопласта. Датчик подключается к макетной плате, на которой собирается измерительная цепь. Цепь представляет собой последовательное соединение резистора R1 и датчика и подключается к источнику синусоидального сигнала – функциональному генератору FGEN. Частота генератора в процессе измерения изменяется в заданном диапазоне с выбираемым шагом. Резистор R1 служит для измерения тока в цепи и выбирается достаточно большого значения для увеличения измеряемого на нём напряжения U1, так как последовательно с ним включен диэлектрик, ток в цепи мал и определяется в основном сопротивлением диэлектрика. В работе использовался резистор R1 = 4,7 кОм. С целью упрощения вычислений диэлектрик представлен последовательной схемой замещения резистора сопротивлением Rc и конденсатора с емкостным сопротивлением Xc. Для определения tgδ измеряются три напряжения: напряжение источника U, напряжение на резисторе U1 и напряжение на датчике Uc (рис. 1). На рис. 2 изображена фотография измерительного стенда.

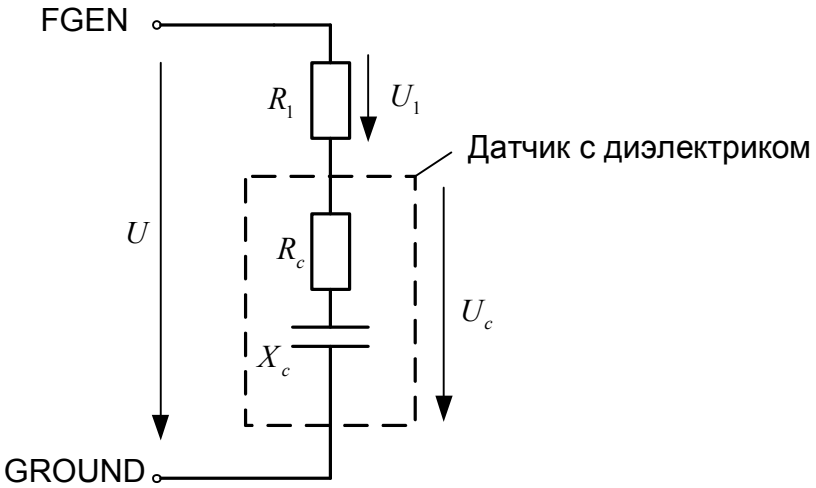


Рис. 1. Схема измерительной цепи

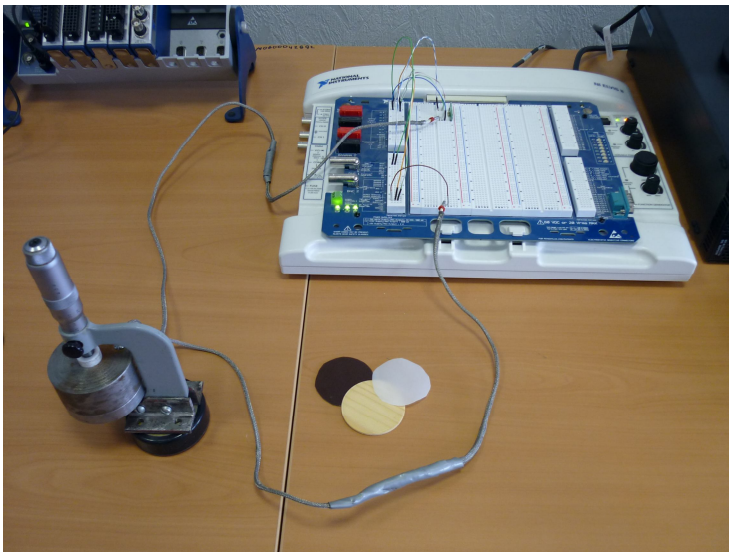


Рис. 2. Фотография измерительного стенда

Программа строит спектр в виде графика зависимости tgδ от частоты в заданном диапазоне. Также задаётся число точек для измерения в выбранном частотном диапазоне, т.е. шаг построения спектра. Одна точка строится приблизительно одну секунду, так как функциональному генератору необходимо время для изменения частоты, и для уменьшения погрешности измерения берётся усреднение по большому числу выборок (точек). В работе частота выборки равна 500000. По измеренным значениям напряжений U, U1 и Uc программой рассчитывается tgδ. Согласно рис. 1. тангенс угла диэлектрических потерь определяется по формуле

$$\mathrm{tg}\delta = \frac{R_c}{X_c}. \qquad (1)$$

Выражая сопротивления Rc и Xc через измеренные напряжения и сопротивление R1, формула (1) принимает следующий вид

$$\mathrm{tg}\delta = \frac{\frac{U^2}{U_1^2} - \frac{U_c^2}{U_1^2} - 1}{\sqrt{4\left(\frac{U_c^2}{U_1^2}\right) - \left(\frac{U^2}{U_1^2} - \frac{U_c^2}{U_1^2} - 1\right)^2}}.$$

Так как tgδ выражается через отношения напряжений, уменьшается погрешность измерения, вызванная высокой частотой сигнала на выходе функционального генератора. На рис. 3 представлен фрагмент блок-диаграммы программы по построению спектра tgδ, а на рис. 4 – лицевая панель с примером построенного спектра для коллекторного слюдопласта в частотном диапазоне от 230 кГц до 350 кГц.

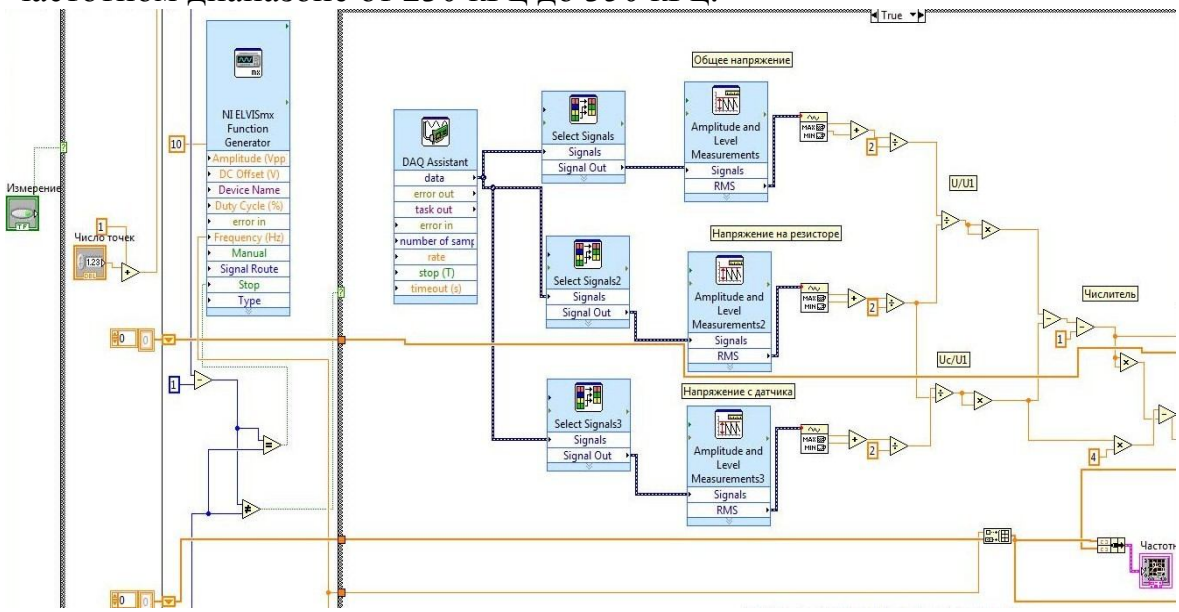


Рис. 3. Фрагмент блок-диаграммы

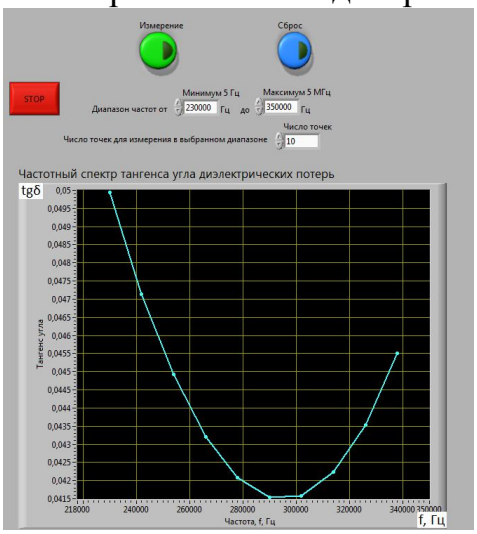


Рис. 4. Лицевая панель

Таким образом, используя оборудование National Instruments, построен прибор для получения спектра tgδ электроизоляционных материалов в регулируемом частотном диапазоне от 5 Гц до 5 МГц, позволяющий определять частотный минимум по потерям мощности в изоляции, который можно использовать при проведении лабораторных работ со студентами и в исследовательской деятельности. В дальнейшем предполагается дополнить прибор обработчиком ошибок, уменьшить до минимума погрешности измерения, вызванные высокочастотными сигналами, в том числе используя коаксиальные кабели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев И. И. Электротехнические материалы и изделия. Справочник / И. И. Алиев, С. Г. Калганов. – М.: ИП Радио Софт, 2005. – 352 с.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ НА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЙ ИЗНОС УСКОРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА

Герасимов Д. Ю., Цыбина А. С., Шарипов Р. Р.
ФГНУ НИИ высоких напряжений при ТПУ, г. Томск

В гибридном коаксиальном магнитоплазменном ускорителе (КМПУ) [1] использование индукционной электродинамики обеспечивает повышение динамических характеристик и эффективности преобразования электромагнитной энергии в кинетическую энергию ускоряемой массы. Наличие внешнего магнитного поля (ВМП), создаваемого соленоидом внешней индукционной системы КМПУ не может не оказывать влияния на процесс электроэрозионного износа поверхности ускорительного канала (УК). Однако сплошная металлическая стенка УК ускорителя является электромагнитным экраном. В данной работе представлены результаты исследований влияния степени экранирования УК на характер и величину электроэрозионного износа его поверхности.

Исследования проводились в процессе отработки технологии нанесения покрытия состава нержавеющей стали с использованием УК из этого металла с разными калибрами УК. Степень экранирования менялась за счет изменения толщины стенки ствола и использования дополнительных экранов. Абсолютное экранирование имитировалось в экспериментах на классическом пинч-ускорителе (без соленоида) с сохранением параметров контура электропитания.

На рис.1 приведены эпюры удельного электроэрозионного износа двух серий опытов со стволами из нержавеющей стали (марка 12Х18Н9Т) для двух калибров dв = 19 мм и dв = 24 мм с различной степенью экранирования УК.

В таблице 1 приведены основные данные по опытам этих серий, с одинаковыми условиями электропитания (С = 48 мФ; Uзар = 3,0 кВ; Wc = 216 кДж). Номера в таблице 1 соответствуют номерам эпюр дифференциального электроэрозионного износа на рис.1а и 1б.

Сравнительный анализ представленных данных показывает значительное уменьшение как дифференциального (Δm, г/мм2) (рис.1), так и интегрального электроэрозионного износа (m) при отсутствии ВМП (опыт 2, табл.1) или при сильном его экранировании дополнительным медным экраном (медной трубой D*d = 38*30 мм, одетой на УК из нержавеющей стали) (опыт 4), при близких энергетических параметрах. При этом характер эпюр дифференциального электроэрозионного износа сохраняется с некоторым смещением вправо второго максимума. Это обусловлено, по-видимому, уменьшением скорости течения в УК при уменьшении степени проникания ВМП или при его отсутствии, как это видно из таблицы 1.

Таблица 1.

Экспериментальные данные

№ опыта	Ед. изм.	1	2	3	4
Наружный диаметр ускорительного канала, dн	мм	32	32	25	25
Внутренний диаметр ускорительного канала, dв	мм	24	24	19	19
Длина ускорительного канала, ℓук	мм	269	230	269	274
Подведенная энергия, W	кДж	148	135	140	135
Эродированная масса, m	г	14,2	10,6	34,4	18,3
Коэффициент поля, Кп	-	0,947	0	0,954	0,044
Удельная эродированная масса, m/W	г/кДж	0,096	0,078	0,246	0,136
Удельная подведенная энергия,W/V	кДж/см3	1,22	1,25	1,84	1,74
Время ускорения головной части, Δt1-2	мкс	-	-	68,9	71,3
Средняя скорость в ускорительном канале, υср = ℓук/Δt1-2	км/с	-	-	3,03	3,00

Какие же конкретные факторы могут оказывать столь существенное влияние на величину электроэрозионного износа поверхности УК в КМПУ? По-нашему мнению следует выделить два основных фактора: вращение плазмы в УК при наличии ВМП и увеличение плотности тока в дискретных каналах проводимости в плазменной структуре. Вращение плазмы в УК при взаимодействии аксиального ВМП и азимутальных полей токов, протекающих по дискретным каналам видно из сравнения структур плазменно-эрозионных следов (ПЭС) на поверхности УК. В случае отсутствия ВМП (опыт 2) треки ПЭС практически параллельны продольной оси УК, а в случае присутствия ВМП имеют явный наклон, уменьшающийся по длине УК, вследствие увеличения скорости течения. Однако, возникновение вращения плазмы достаточно даже незначительного проникания внешнего поля в УК. Здесь треки следа уже имеют небольшой наклон, в сравнении с наклоном треков в опыте 4, где внешнее поле в УК составило 95 % от полного аксиального поля соленоида.

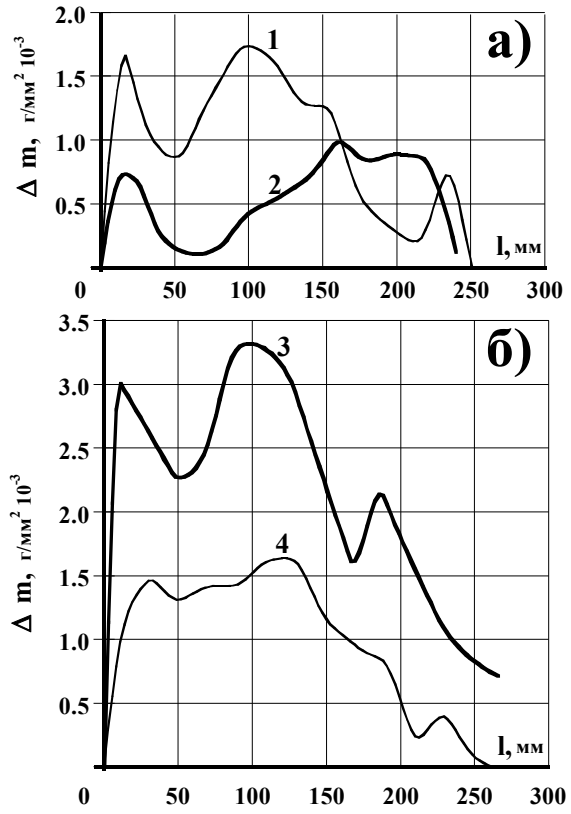


Рис.1. Эпюры удельного электроэрозионного износа

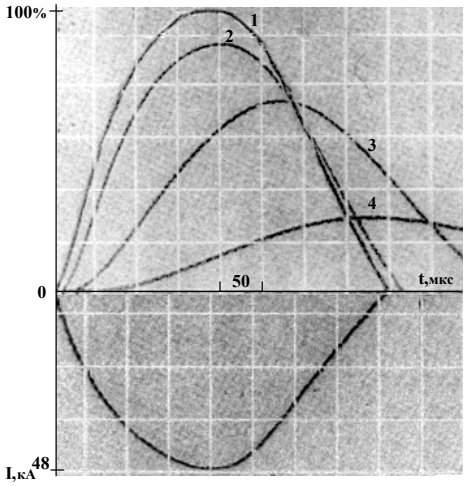


Рис.2. Осциллограммы напряженности магнитного поля соленоида

Степень экранирования УК собственной стенкой определялось экспериментально, путем измерения напряженности магнитного поля (Н) на продольной оси системы, с помощью индукционного датчика. На рис.2 приведены типичные осциллограммы напряженности магнитного поля, в отсутствии ВМП (1) и внутри УК из разных металлов (2-нержавеющая сталь, 3-латунь, 4-медь) и с разной толщиной стенки УК (экрана), а так же осциллограмма тока соленоида.

Из сравнения осциллограмм видно, что с увеличением поперечной проводимости стенки УК, уменьшается амплитуда проникания поля, а максимум смещается вправо. Осциллограммы поля в УК из толстостенных медных и дюралюминиевых труб показывает длительное существование поля даже после прекращения протекания тока по соленоиду, вследствие медленного затухания наведенного в поперечнике УК (короткозамкнутом витке) тока. В качестве критерия, характеризующего степень проникания поля соленоида в УК КМПУ нами принят коэффициент поля (Кп), равный отношению интегральной величины поля в УК к интегральной величине поля на оси соленоида без экрана при равных величинах тока и за время его протекания по соленоиду:

$$K_{П} = \int_{0}^{tl} H_1(t)dt \Big/ \int_{0}^{tl} H_0(t)dt \qquad (1)$$

Значения коэффициента поля (Кп) определены для диапазона изменения толщины стенки УК 1÷4 мм и для УК из следующих металлов: нержавеющая сталь 12Х18Н9Т; медь; дюралюминий Д16; латунь Л-96; титан ВТ1-0. Исследование влияния параметров импульса тока в диапазоне изменения 50÷200 кА, показали несущественное, в пределах 3%, изменение коэффициента поля (Кп). Данные по исследованию экранирующего действия УК обобщены в виде функции: Кп = f(τ). Где: τ - Lп/Rп – постоянная времени затухания короткозамкнутого витка-УК, Lп – поперечная индуктивность УК, Rп – поперечное сопротивление УК.

$$L_{П} = \mu_0 \cdot \frac{D+d}{4} \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot (D+d)}{2a+D-d} - 0.5 \right); \qquad R_{П} = \frac{\rho \cdot \pi}{a} \cdot \frac{D+d}{D-d} \qquad (2)$$

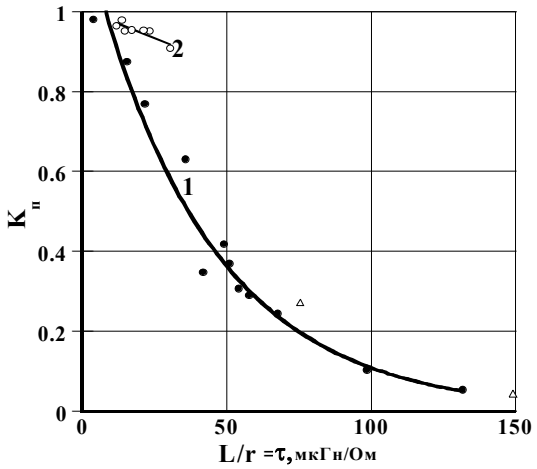


Рис.3. Зависимость коэффициента поля (Кп) от постоянной времени

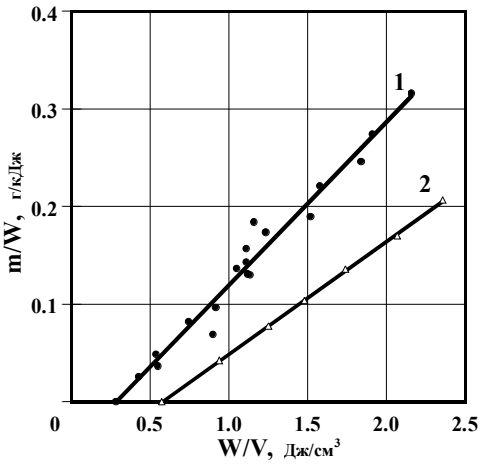


Рис.4. Зависимость удельного интегрального электроэрозионного износа m/W от удельной подведенной энергии W/V

Из рис.3 видно, что зависимость (2) полученная для нержавеющей стали располагается выше, в силу своих особенностей, относительно зависимости (1) для других цветных металлов. На основании этого можно заключить о предпочтительности использования УК из нержавеющих сталей в КМПУ при метании твердых тел, так как даже при очень больших толщинах стенки УК до 10 мм, необходимых для удержания высоких давлений в УК, коэффициент Кп оказывается достаточно высоким, что выгодно с точки зрения повышения эффективности ускорения.

На рис.4 приведены сравнительные зависимости удельного интегрального электроэрозионного износа m/W от удельной подведенной энергии W/V, для ускорителей с УК из нержавеющей стали. Зависимость (1) получена при Кп = 0,92÷0,98, а зависимость (2) при Кп ~ 0. Их сравнение дает наглядное представление о степени влияния экранирования УК на величину электроэрозионного износа поверхности УК и величину нарабатываемой массы для нанесения покрытий. В отсутствии ВМП значительно снижается m/W и столь же значительно увеличивается критическое значение удельной энергии (W*/V). Это говорит о том, что при отсутствии вращения плазмы и меньшей плотности тока, эрозия поверхности начального участка УК начинается при большем значении W*/V, чем при наличии ВМП.

Т.о. величина интегрального электроэрозионного износа и наработки рабочего материала, для нанесения покрытий, может регулироваться за счет изменения степени экранирования УК, при относительном сохранении динамических параметров плазменной струи.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Сивков. Гибридная электромагнитная система метания твердых тел. Прикладная механика и техническая физика. 2001 г. Т. 42. № 1, с. 3-12.

HYBRID MAGNETO-PLASMA ACCELERATOR USE FOR THE DEPOSITION OF COATINGS

Sivkov A.A, Ilyin A. P., Gerasimov D.U., Saigash A.S.
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Abstract

Experimental results on high-velocity acceleration of plasma in a coaxial magneto-plasma accelerator are presented. With a barrel length of 300 mm, the front part of the discharge-plasma structure was accelerated by a current pulse of up to 150 kA to a velocity of 3-5 km/s at atmospheric pressure. For one cycle the plasma mass is obtained up to 10 g. The coatings of copper and alloy steel of high quality are obtained with a thickness of 100μm on the metallic substrates with the formation of a boundary layer of the mutual mixture up to 50 μm. In the accelerator with the titanium electrodes a dynamic synthesis of titanium carbide is achieved. TiC+Ti (2:1) composite coating with a thickness of 1 mm is deposited onto a steel substrate. Superdeep penetration of the beam substance to a depth of 350 μm with the channels diameter of penetration of ~1μm as well as a severe change of the steel microstructure and the increase of microhardness of substrate by an augmentation established. Experimental data, which allows one to explain the superdeep penetration with a cumulation classical theory and cumulative streams penetration, are obtained.

1.Introduction

Impulse magneto-plasma and electrothermal accelerators are widely used to obtain high enthalpy fluxes of microparticles, to process hard surfaces and for functional coatings deposition [1, 2]. The hybrid electromagnetic system of acceleration using a coaxial magneto-plasma accelerator with the high-current discharge of the Z-pinch type has a series of advantages compared with other accelerators [3, 4]. In one short-time cycle (~10-4 s) the sputtering of metallic plasma mass from the surface of electrodes is on the order of 10 g and its acceleration to a velocity of 3-5 km/s are possible by a moderate current from the power supply (up to 150kA) on short barrels (up to 300 mm) with a diameter of 20 mm (Fig. 1).

2.Metallic coatings on metallic surfaces

With the action of such beams on metallic surfaces at atmospheric pressure, copper coatings of high quality were obtained for steel, stainless steel and aluminum as well as coatings of stainless steel for ordinary steel, copper, brass and duralumin. High adherence of coatings follows from the formation of a boundary layer of the materials mutual mixture of 10-50 μm thickness with a coating thickness on the order of 100 μm. Experimental investigations showed that copper coating on aluminum surfaces allows one to solve the problem of the bonding of copper-aluminum contacts for heavy current (which occur everywhere in industrial electrical engineering) and to decrease its transient resistance by almost a factor of 2. The layers of stainless steel can be used as anticorrosive and hard coatings, for example for producing the electrodes of electric discharge devices. The quality of coatings obtained by this technology is determined by the substrate heat conductivity, melting temperature and it improves with decreasing these parameters.

3. Dynamic synthesis of titanium carbide and composite coating deposition

In a hybrid accelerator with titanium electrodes and the introduction of carbon in the form of a powder into the area of plasma structure formation, the dynamic synthesis of titanium carbide was realized in the course of the acceleration operation. In an accelerating channel of length 280 mm and a diameter 13 mm the front part of the accelerator discharge is accelerated by a current pulse increasing up to 150 kA in 170 μs to a velocity of ~3.3 km/s at atmospheric pressure. A steel target-substrate with a thickness of 10 mm and a diameter of 120 mm was placed at a distance of 400 mm from the barrel edge. The formation of a composite coating with a thickness of 1 mm was attained on the surface of substrate. The coating is of gray color with golden yellow films in separate places, which are the evidence of titanium nitride formation with the air nitrogen on the surface of the hard coating. Titanium nitride formation and stabilization can be realized according to the mechanism of the titanium suboxides and air nitrogen interaction and due to a quick cooling when the beam collides with the massive substrate. X-ray phase analysis of coatings (DRON-3.0 diffractometer, Cuk(α) –radiation) showed that the coating consists of TiC+Ti, the coating component ratio is 2:1.

4. Superdeep penetration

The investigations of vertical slices of samples obtained were performed with a JEOL-840 scanning electron microscope. X-ray photoelectron spectroscopy (X-ray PES) was performed with a Link attachment. As the micrographs in Figs. 2 and 3 show, in the section of the steel substrate there are present numerous tracks with a transverse size below 5 μm normal to the interface.

The continuous tracks reach a depth of 50-100 μm. Further, the micrographs show only their fragments in the form of "paths". That is the evidence of curvilinear tracks. The fragments observed are the crossings with the cutting plane. In some cases, the tracks exhibit branching. The most of tracks shows some "healing" of the entrance holes (Fig. 2a, b) due to the substrate surface material melting and heavy surface tension. For microscopic objects in a liquid state the forces of Laplasov pressure act. At the beginning of the channel where the considerable part of the energy is liberated and the substrate melting occurs the probability of collapse is higher. The structure of a thin (5-10 μm) and a firm layer testifies to it. In the steel substrate the ends of tracks are observed down to a depth of ~350μm (Fig. 2c). The data obtained are classified as the effect of "superdeep" (SDP) mictroparticles penetration into solid targets [5]. The anomalous effect of superdeep penetration was discovered more than 20 years ago at the Institute of Mechanics of Moscow State University [6]. Active discussion still continues. It has not resulted in a satisfactory explanation of the superdeep penetration mechanism [6-10].

The data considered in the given study agree with the generally known conditions for the superdeep penetration effect, according to which a substrate must be subjected to a high-velocity (more than ~2.0 km/s), a high-density (more than ~ 1g/cm3) beam action. The action of separate high-velocity particles doesn't result in the superdeep penetration effect and corresponds completely to classical concepts of crater formation both for the particles with a size on the order of 10 ÷100 μm [11] and for the particles with a size below 10 μm. That is well shown in micrograph (Fig. 4) of metallic sample cutting resulting from the attack by a low-density TiC particles beam. Such a beam was obtained with the accelerator operation with titanium electrodes and a dynamic synthesis of TiC under conditions of power supply cutoff when plasma leaves the barrel. Along with the likeness there are evident differences. The first one lies in that judged by the transverse size of the tracks, the dimensions of penetrating particles are on the order of 1 μm. In the papers mentioned it was fixed that for the superdeep penetration effect the range of particles dimensions is 10-100 μm. In [12, 13] it is ascertained that the particle dimensions (100 μm) and the method of producing a high-velocity beam with the explosive cumulative accelerator are unique. Therefore, the second difference lies in that in the given study a high-velocity beam resulting in the occurrence of the superdeep effect was attained in an electromagnetic accelerator.

The most interesting results were obtained with the investigations of the sections of vertically cut steel sample, etched in 5 % HNO3+C2H5OH solution with the composite coating of TiC+Ti, in a scanning electron microscope. The micrograph in Fig. 5 shows strong changes of the steel microstructure resulting from the beam action to a depth of ~350 μm with the grain boundary rupture

down and probable grain refinement. Increase of this layer microhardness of substrate by an augmentation established (Fig. 6). An analysis of the steel substrate by X-ray photoelectron spectroscopy confirmed the presence of titanium in this layer. This is the evidence of the steel microstructure impregnation with substance flux.

Microcumulative effects

Investigation of the surface-substrate boundary has shown the formation of a dense uniform layer with a thickness of ~5 μm with numerous toothlike defects distributed uniformly over the whole length of the section observed (Fig. 7). A scanning electron micrograph shows these defects at 6500-fold magnification. It apparently demonstrates unfinished cumulative processes. Clearly seen (Fig. 7) are the noncollapsed cumulative cavities with the surrounding hemispherical holes, solidified residues of the cumulative streams as well as the channels of the penetrating particles. Evaluative analysis of the beam initial parameters and the geometry of the observed fragments and penetrating channels fully correspond to the classical concepts of cumulative theory and penetrating cumulative stream into a solid target [14]. Thus, according to Baum and Shehter data the critical values of the stream penetration velocity into the steel exceeds 2.0 km/s. At that, as it shown in [15] the density of the target material does not have to act. In our case with a beam velocity exceeding 2.0 km/s the initial velocity of a stream has to be greater than the critical one. Therefore, the stream penetration depth L at least by a straight trajectory can be determined according to the hydrodynamic concepts by the Lavrent'ev formula [14]:

$$L = l\sqrt{\rho_s / \rho_t} \qquad (1)$$

where l is the effective length of the cumulative stream, ps and pt are the stream and target material densities, respectively.

Further penetration of microcumulative streams occurs by curvilinear trajectories with the minimum resistance due to increasing disturbance of the microstructure. This is confirmed by the micrographs in Fig. 5 and justified in [7, 8]. When the stream material flows about the microstructure grains over the ruptured boundaries, not only do the channels curve but they also branch. The fragments of curved tracks crossing the sample plane can be falsely taken as the collapsed channel endings following the stopped particle. Thus, the superdeep effect can be given in the following explanation. A front of the pulsed beam incident onto the substrate surface is not (and cannot) be flat and is characterized by a relief with convex and concave parts (Fig. 8). When a concave front part strikes a flat substrate, with edges first reaching the surface, we observe a

classical cumulative system configuration. The formation of a cumulative stream is ensured from the substance in the concave part surface layer moving towards its axis with a mass rate of the supporting beam. The cumulative stream diameter is an order smaller than the diameter of the concave part. Both the density of the substance and its velocity are markedly greater than those values of the beam. The cumulative stream penetrates into the substrate by straight trajectory to a large depth. When the substrate surface is subjected to a high-velocity beam action a shock wave is generated in it, the velocity of which reaches 5-7 km/s. It disturbs the microstructure of the substrate material and ensures conditions for a deeper penetration of the cumulative stream by a curvilinear trajectory.

6. Macrophysical modeling

The explanation suggested is well proven by the experimental results on macrophysical modeling the superdeep penetration effect. As a model, one can consider the process operation of an explosive breaker with dielectric cumulative streams [17], which is shown in Fig. 9. It differs from the real phenomenon in that polyethylene block 5 with cumulative concave parts is fixed and is placed initially right against polyethylene substrate 10. This model demonstrates the occurrence of the cumulative effect when a shock wave excited by the explosive discharge 3, passes over the block 5. In this case the motion of the polyethylene following the front of a shock wave is equal to the motion of the incident flux substance. In the lower part of Fig. 8 there is a micrograph of a real polyethylene substrate cut with the penetrated cumulative streams. The micrograph shows specially selected fragments of substrate cut surface where there are channels with an increased cross-section at the end of the penetrating streams. It is due to the braking of the lead part of the stream followed by mass accumulation. Such a fragment configuration can be misinterpreted as the channel collapse following the particle penetrated. Moreover, the branching of a lead part, which is similar to the earlier observed branching of microchannels, (Figs. 2a and 3a) via the possible heterogeneities of the attacked material structure or via advancing cracks formed is obvious.

Closest to the simulated process is a macromodel achieved in the experiment of a high-speed (2.2 km/s) collision of cylindrical polyethylene striker with a mass of 3.75 g with cumulative concave parts on the frontal area with a steel target (steel 3, alloy-free steel) (Fig.10). The striker is accelerated in a hybrid electromagnetic accelerator [4]. The form of the crater in the microphotograph of the target vertically cut is the evidence of the cumulative effect occurrence with the stream shape, which is a classical one for a hemispherical cavity. One can conclude that microcavities on the front of the real plasma beam must have the shape, which is close to conic one with the depth exceeding the base radius. On the basis of the above mentioned, one can

assume that the occurrence of superdeep penetration phenomenon mechanism can be observed also while processing metallic surfaces with a dense and high-velocity flux of solid microparticles created in explosive cumulative accelerators [6, 12, 13]. Convincing evidence of this hypothesis is provided by the results of numerical calculations of the particle flux parameters [17]. Presented in that study isolines of maximum possible density of the powder bunch frontal part posses the shape of a concave cavity. An indirect fact testifying to the possibility of the occurrence of the "second" cumulative effect with the braking of such flux is the stream formation observed and described in [13], "the particle velocity of which is larger than those of the main flux".

7. Conclusion

Thus, in the given study there is suggested and experimentally proved the explanation of the "anomalous" effect of a superdeep penetration of solid microparticles into solid targets as the penetration of microcumulative streams. It is agrees with the regularities of the cumulation classical theory. A wide range of the geometry scale (up to 10-6 m) of the cumulative effect and superdeep penetration occurrence suggests the idea of further extrapolation, possible within the range of 10-7-10-9 m, and assumption of the nanocumulative effect possibility with the interaction of a high energy ion beam with a target.

REFERENCES

1. A. D. Lebedev, B. A. Uryukov, Impulse Plasma Accelerators of High Pressure, Inst. of Thermal Physics, Sib. Div., Akad. Sci. SSSR, Novosibirsk, 1990.[2] E. Ya. Shkolnikov, M. Yu. Guzeev, S. P. Maslennikov, A. V. Chebotarev, "Microparticles Accelerating in Electrothermal Accelerator with Multidischarged Scheme of Discharge Net", Prib., Techn. Eksp., Zh., No. 6, pp. 130-135. 2000.

2. A. A. Sivkov, "Sivkov's Coaxial Accelerator", R.F. Patent 2150652, 7 F 41 V 6/00, June 2000.

3. A. A. Sivkov, "Hybrid Electromagnetic System for Acceleration of Solids", Journal of Applied Mechanics and Technical Physics, vol. 42, pp.1-9, 2001.

4. A. A. Sivkov, "A Possible Mechanism of Superdeep Particle Penetration into Solid Target", Technical Physics Letters, vol. 27, No. 8, pp. 692-694, 2001.

5. K. I. Kozorezov, V. N. Maksimenko, S. M. Usherenko, "Research of the Effect of Dispersed Microparticles with Solids Interaction", Selected Problems of Modern Mechanics, Mosc. Gos. Univ., Moscow, part 1, pp. 114-119, 1981.

6. S. S. Grigoryan, “A Nature of “Superdeep” Penetration of Solid Microparticles into Solid Materials”, Dokl. Akad. Nauk SSSR, vol. 292, No. 6, pp. 1319-1323, 1987.

7. G. G. Chernyi, “Mechanism of Anomoulous Low Resistance at the Motion of Bodies in Solid Mediums”, Dokl. Akad. Nauk SSSR, vol. 292, No. 6, pp. 1324-1328, 1987.

8. L. V. Altshuler, S. K. Andilevko, G. S. Romanov, S. M. Usherenko, “A Model of Superdeep Penetration”, Technical Physics Letters, vol. 15, No. 5, pp. 55-57, 1989.

9. S. P. Kiselev, V. P. Kiselev, “Mechanism of Superdeep Penetration of Particles into Solid Target”, Journal of Applied Mechanics and Technical Physics, vol. 41, No. 2, pp. 37-46, 2000.

10. S. Soga, H. Tamura, A. Sawaoka, E. Igenbergs, “Velocity Dependencies of Glass Beads on the Impact Phenomena Using a Plasma Gun”, Report of the Research Laboratory of Engineering Materials, Tokyo Institute of Technology, No. 12, pp. 111-123, 1987.

11. K. N. Kozorezov, K. I. Mirkin, “Volume Composites Formation at Superdeep Penetration of the Accelerated Particles into Metals”, Fiz. Khim. Obrab. Mater., No.3, pp. 75-78, 1999.

12. K. N. Kozorezov, K. I. Mirkin, “Obtaining and Impulse Radiography of High-Velocity Particles Beam at Superdeep Penetration of the Accelerated Microparticles into Metals”, Fiz. Khim. Obrab. Mater., No. 1, pp. 77-80, 2000.

13. Physics of Explosion. Ed. By K. P. Stayukovich, Nauka, Moscow, 1975.

14. S. A. Kinelovskyi, K. K. Maevskyi, “A Penetration of Cumulative Stream into Solid Target”, Journal of Applied Mechanics and Technical Physics, vol. 41, No. 2, pp. 150-156, 1989.

15. Yu. A. Kotov, A. P. Zyplenko, “Research of the Explosives Breaker with Cumulative Dielectric Streams”, Overhigh Magnetic Fields. Physics, Techniques, Application, Nauka, Moscow, 1984.

16. S. K. Andilevko, G. S. Romanov, S. M. Usherenko, “Explosive Accelerator of Powder Particles with the Cylindrical Cavity Filled with Tungsten Powder”, Inzh.-Fiz. Zh., vol. 61, No. 1, pp. 46-51, 1991.

РАЗРАБОТКА КАБЕЛЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ С УВЕЛИЧЕННЫМ СРОКОМ СЛУЖБЫ

Насретдинова А.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Мировой спрос на электроэнергию продолжает расти и к 2030 году ее производство может удвоиться.

Из нетрадиционных источников электроэнергии наибольший интерес для кабельщиков представляют источники ветроэнергии и солнечной энергии. Доля «солнечного» электричества в общемировой выработке электрической энергии уже к 2020 г. составит 4-7%, а в Европе 12%.

В настоящее время для солнечных батарей в России не существует отдельного класса кабельных изделий. Используются кабели более или менее удовлетворяющие требованиям. Поэтому возникает вопрос о создании кабельных изделий непосредственно для солнечных батарей, удовлетворяющих всем требованиям.

Задачи работы

1. Выбор типа кабеля;
2. Определение условий эксплуатации кабельного изделия;
3. Проведение испытаний кабельного изделия с ПЭ, ПВХ и ТЭП изоляцией и оболочкой на соответствие условиям эксплуатации;
4. Выбор оптимальной конструкции кабельного изделия для солнечной батареи.

Солнечная батарея — несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) — полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток.

«Солнечное» электричество является экологически чистым. При его вырабатывании не затрачиваются природные ресурсы.

Солнечный элемент может быть следующих типов: монокристаллический, поликристаллический и аморфный (тонкопленочный). Различные СЭ имеют разный КПД преобразования энергии света.

Монокристаллические солнечные батареи:

- солнечные элементы на основе монокристаллического кремния наиболее востребованный вид фотоэлементов на рынке солнечной энергетики (более 80% всех производимых фотоэлементов)
- они легки и компактны
- у них есть способность к незначительному изгибу

- имеют обширную область применения:
- обеспечение электроснабжения различного рода потребителей. КПД батареи с кристаллами, изготовленными из монокристаллического кремния, достигает 14-17%.

Минусы:

- при небольшой облачности существенно снижается мощность установок (до 70%), а сильное их затемнение, при большой облачности, почти полностью блокирует их работу.

Поликристаллические панели:

Они являются чем-то средним на рынке, почти так же хороши, как монокристаллические панели, но имеют большую эффективность, чем тонкопленочные солнечные панели.

- прочны и долговечны
- не критичны к освещенности поверхности
- используются для электроснабжения таких потребителей как: фонарей уличного освещения, различного оборудования, применяемого в здравоохранении, для электрообеспечения всевозможной аппаратуры и зарядки аккумуляторов ноутбуков, мобильных телефонов и т. д.

КПД панели, изготовленной из поликристаллического кремния, достигает 10-12%.

Минусы:

- эффективность на 20-30% меньше, чем у монокристаллических панелей
- хрупкость

Тонкопленочные солнечные панели:

- наиболее дешевая модель
- имеют конструктивные особенности и передовые технология производства - (пленка приклеивается на жесткую основу или непосредственно на защитное стекло, и упаковывается в рамку из алюминиевого профиля.)
- могут монтироваться в различных местах, удобных для потребителя
- неприхотливы в обслуживании
- потеря мощности при большой облачности и запыленности составляет лишь 10 – 15%

КПД панелей на аморфном кремнии достигает 5-6%.

Минус:

- большая площадь рабочей поверхности усложняет их применение в бытовых условиях

Кабели в солнечных батареях:

Основную массу кабелей, используемых непосредственно в солнечных батареях, составляют одножильные медные кабели сечением 4,0–6,0 мм2. Изоляция обычно из сшитого полиэтилена. кабели должны быть пожаробезопасными и не содержать галогенов. Поэтому для изоляции и оболочки применяются как правило сополимеры полиолефинов, не распространяющие пламя и не содержащие галогенов.

Регламентированный срок службы кабелей – 25 лет.

Рабочее напряжение кабелей – до 1000 В. Диапазон рабочих температур кабелей от –40 до +90 ºС. По условиям эксплуатации кабели подвергаются длительному ультрафиолетовому облучению, а также различным погодным воздействиям. Немаловажное значение имеет химостойкость оболочки кабелей, так как поверхность кабелей солнечных батарей загрязняется и подлежит последующей мойке с помощью различных средств, которые могут воздействовать на оболочку кабелей. Кроме того, необходимо учитывать воздействие на кабели масел или других смазочных жидкостей, которые используются в модуле (так как модули поворачиваются, отслеживая изменение угла падения солнечных лучей, поэтому их подвижные части имеют смазку). Особое значение в связи с традиционной установкой солнечных батарей в южных странах имеет стойкость изоляции и оболочек кабелей к действию грызунов и термитов. Известно, что самым надежным способом защиты кабелей от грызунов и термитов является наложение поверх оболочки металлических покрытий, например, в виде оплетки.

Кабели для фотоэлектрических систем должны удовлетворять следующим требованиям:

- огнестойкость;
- стойкость к термическим воздействиям (диапазон рабочих температур от -30 градусов С до +120 градусов С). (Причем длительность такого температурного воздействия при испытаниях на термическую стойкость должна быть не менее 20 000 часов при 120 градусах С;)
- устойчивость к негативному влиянию атмосферных факторов на протяжении длительного времени, эквивалентного на практике сроку службы всей фотоэлектрической системы;
- должны быть гибкими, для облегчения монтажных работ;
- оптимальные электрические свойства.
- химостойкость, в том числе маслостойкость покрытий;
- высокие механические характеристики покрытий, в том числе на стойкость к истиранию и на стойкость к продавливанию при повышенных температурах;

- стойкость изоляции и оболочек кабелей к действию грызунов и термитов.

Испытания:

- Тепловое старение при повышенных температурах
  ПВХ при Т=120˚С; 160 часов;
  ТЭП при Т=150˚С; 160 часов;
  ПЭ при Т=150˚С; 160 часов.
- Старение в агрессивных средах (бензол, минеральное масло)

По результатам испытаний будут подобраны оптимальные материалы изоляции и оболочки, конструкция кабеля.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1.
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИКЕ

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
Федюк Р.С., Даниленко В.В., Комардин Д.В., Миронов К.К., Пуйка И.А.. . . . . **4**

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЯГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА МЕТОДОМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
Шабанов А.С. **7**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ПРОГРАМННОЙ СРЕДЕ LABVIEW
Ле Ван Туан. **10**

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДЕЛИ ПРИВОДА ПОДАЧ МАЛОГАБАРИТНОГО 3-Х КООРДИНАТНОГО ГРАВИРОВАЛЬНОГО СТАНКА
Цыганкова М. В. **14**

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЦИРКОНИЕВОЙ НАНОКЕРАМИКИ
Сивков А.А., Ивашутенко А.С., Анненков Ю.М. **17**

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ ВОЛНОВОЙ РЕДУКТОР С ТОРЦЕВЫМИ ШАРОВЫМИ ЗУБЬЯМИ
Симачева А. В. **21**

ОБЗОР ВЯЗАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ АРМАТУРЫ
Пашков Е.Н., Черкасов С.О., Загороднев Р.А. **26**

РЕДУКТОР ПРИВОДА ВРАЩЕНИЯ РАМКИ АНТЕННЫ
Ермаков Д.В. **30**

ПРИМЕНЕНИЕ СИЛОВОГО ГИДРОИМПУЛЬСНОГО МЕХАНИЗМА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД
Массон И.А. **33**

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ПОВОРОТНО-КООРДИНАТНОГО СТОЛА
Симачева А. В. **36**

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО АСИНХРОННОГО ТЯГОВО-ПОДЪЕМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ
Кришьянис М.В. **40**

ЭРОЗИЯ УСКОРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ
Герасимов Д.Ю., А.С. Цыбина. **46**

ОБЗОР НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ КОРОБОК ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ
Лазуркевич А.В. **49**

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЦИРКОНИЕВОЙ НАНОКЕРАМИКИ
Крылов Н.С. **53**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАК СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР
Акарачкин С.А. **57**

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ РУЖЕЙНЫХ СВЁРЛ ДИАМЕТРОМ 2,22ММ
Бабаев А.С. **60**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗВЕРШИННОГО РЕЗЦА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА КОСОУГОЛЬНОГО ТОЧЕНИЯ
Вербицкая О.Ю., Филиппов А.В. **63**

ИСЛЕДОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ И ОБОЛОЧКОЙ ИЗ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТА
Жаркова И.Б. **67**

КОМПАКТИРОВАНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ КОРУНДО-ЦИРКОНИЕВЫХ ПОРОШКОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКЕРАМИКИ
Ивашутенко А.С., Анненков Ю.М. **70**

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ РАЗРЯДА НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ТВЕРДЫХ СЛОИСТЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРИЛОЖЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ
Карпицкий О.В. **74**

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СНЯТИЯ ФАСОК У ДЕРЕВЯННЫХ КУБИКОВ
Манеев А.С., Крауиньш П. Я., Мымрин Н. Ю. **78**

ТЕПЛОПРОВОДНАЯ НАНОКЕРАМИКА ИЗ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ И СОПУТСТВУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДАМИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Никитушкин И.В., Анненков Ю.М. **82**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМНОГО СПЕКАНИЯ ПОРОШКОВЫХ КАТОДОВ СИСТЕМЫ TI-AL
Оноприенко О.О. **86**

MODELING OF WELDING WITH A MOVING LASER
Rozhnovskaya A.I. **90**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ СВЕРХТВЕРДЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ
Сайгаш А.С., Герасимов Д.Ю. **95**

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО СЕПАРАТОРА С КРЫЛЬЧАТКОЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ
Тимербаев А.С. **101**

КОМПАКТИРОВАНИЕ НАНОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ НИТРИДА ТИТАНА ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ
Усиков А.И. **105**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ
Халикова Г.Р. **110**

НАНЕСЕНИЕ МЕДНОГО ПОКРЫТИЯ НА АЛЮМИНИЕВЫЕ КОНТАКТНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ
Цыбина А.С., Герасимов Д.Ю. **114**

ФЕРРИТЫ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ
Чеповской А.В. **119**

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ВРАЩЕНИЯ НЕУРАВНОВЕШЕННОГО РОТОРА С ЖИДКОСТНЫМ АВТОБАЛАНСИРОМ НА ГИБКОМ ВАЛУ
Юровский П.Г. **120**

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ПОТОКОМ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЫ
Ягин. А.Г. **124**

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ КОМПАКТИРОВАНИЯ ОКСИДНЫХ ПОРОШКОВ
Ивашутенко А.С., Сивков А.А., Акарачкин С.А. **126**

АНАЛИЗ ПРЕССУЕМОСТИ КОРУНДО-ЦИРКОНИЕВЫХ ПОРОШКОВ РАЗЛИЧНОЙ ДИСПЕРСНОСТИ
Кондратюк А.А. **130**

ВЛИЯНИЕ ЭЛЛИПСНОСТИ И ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РЕЗЕРВУАРА НА ТОЧНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ
Массон И.А. **134**

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ
Петренко Ю.Н. **138**

НАНЕСЕНИЕ СВЕРХТВЕРДЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ТИТАНА НА СТАЛЬНЫЕ И АЛЮМИНИЕВЫЕ ПОВЕРХНОСТИ
Сайгаш А.С., Шарипов Р.Р., Привезенцев С.И. **142**

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ДИСКА КУЛЬТИВАТОРА В НЕОДНОРОДНОМ ГРУНТЕ
Романишина С.А., Стецюк В.И., Романишин О.Ю. **144**

О ВОЗМОЖНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА АЛМАЗОПОДОБНЫХ ФАЗ УГЛЕРОДА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ С ГРАФИТОВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ
Сайгаш А.С., Шарипов Р.Р., Привезенцев С.И. **148**

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
Семенков И.В. **151**

ВЛИЯНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ И ЧИСЛА ПРОХОДОВ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКЕ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ Р6М5
Белобородов Е.О., Хамматов А.Н. **155**

МИНИМИЗАЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ ВИП
Тыртышный Д.П. **159**

ПОВЫШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ПЛАСТИН ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ЗА СЧЕТ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ TIC+TI, НАНЕСЕННОГО С ПОМОЩЬЮ МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ
Цыбина А.С. **164**

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ИТТРИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ РАБОЧЕГО ТЕЛА В ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКЕ
Аппельт Э.Э. **167**

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОГО СТАРЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗОЛЯЦИИ НЕФТЕПОГРУЖНОГО КАБЕЛЯ
Матери А.Э. **169**

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭРОЗИЯ ТИТАНОВОГО СТВОЛА КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ
Привезенцев С.И., Сайгаш А.С., Шарипов Р.Р. **171**

ДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СВЕРХТВЕРДЫХ НАНОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНА В ГИПЕРЗВУКОВОЙ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕ
СайгашА.С., СивковА.А., ГерасимовД.Ю., ШариповР.Р., ПривезенцевС.И. . . . **173**

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ
Филиппов А.В., Проскоков А.В. **179**

ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ ТРУБ ИЗ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ДЕФЕКТАМИ
Чермошенцева А.С., Булдакова Е.С. **183**

ВЛИЯНИЕ КОРОТКОЗАМКНУТОГО ФЛАНЦА СОЛЕНОИДА МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ НА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЙ ИЗНОС УСКОРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА
Цыбина А. С., Шарипов Р. Р. **188**

EFFECT OF CUPRUM ON THE MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF IRON-BASED HARDFACING ALLOYS DEPOSITED BY PLASMA TRANSFERRED ARC PROCESS.
Isakin I.A. **192**

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР
Ананьева Ю.С. **195**

СИСТЕМА ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЗКИ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ 5-КООРДИНАТНЫХ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ
Бессараб А.С. **198**

СПЕКАНИЕ ОКСИДНОЙ НАНОКЕРАМИКИ В МИКРОВОЛНОВОМ ПОЛЕ
Ивашутенко А.С. **202**

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ БРОНЗЫ НА ЕЁ СВОЙСТВА
Кузьмин К.А. **206**

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БАЛАНСИРОВКИ ЖИДКОСТНЫМ АВТОБАЛАНСИРУЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ
Пономарёв А.В. **210**

ВЛИЯНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ВИБРАЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ
Ангаткина О.О. **214**

ВЛИЯНИЕ «СУХОГО» ПОЛИРОВАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТВЁРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА
Бабаев А.С., Шаповалов К.Ю. **218**

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЗАЩИТЫ ЗОНЫ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ
Чинахов Д.А., Зуев А.В. **223**

СВЕРХГЛУБОКОЕ ПРОНИКАНИЕ МИКРОЧАСТИЦ В ТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СТРУЕЙ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЫ
Цыбина А.С., Герасимов Д.Ю. **228**

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ КОМПАКТИРОВАНИЯ ОКСИДНЫХ ПОРОШКОВ
Аппельт Э.Э. **232**

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ В ШИРОКОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ
Власов И.В., Ивашутенко А.С. **234**

NEW WELDING TECHNOLOGIES IN THE SHIPBUILDING
Gopanenko R.V. **237**

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОБАЛАНСИРА С МНОГОРЕЗЕРВУАРНЫМ УСТРОЙСТВОМ
Массон И.А. **240**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ СИСТЕМЫ TI-AL
Оноприенко О.О. **244**

ПРИБОР И МЕТОДИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ РАСПЛАВА
Семенков И.В. **249**

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ НА ПРОЦЕССЫ УРАВНОВЕШИВАНИЯ В ЖИДКОСТНЫХ АВТОБАЛАНСИРАХ
Урниш В.В. **253**

УСТРОЙСТВО ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ
Петров В.С. **257**

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПРЕССОВАНИЯ ОКСИДНЫХ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ
Цыганок О.А. **261**

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВТОРОЙ СТАДИИ ПРОЦЕССА ЛИНЕЙНОЙ СВАРКИ ТРЕНИЕМ
Ямилева А.М. **266**

РАЗРАБОТКА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДА ДЕФЕКТОСКОПИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ВЛАЖНОСТНЫХ УСЛОВИЯХ НА ОСНОВЕ ЯВЛЕНИЯ МЕХАНОЭЛЕКРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
Буканев И.В. **270**

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ КОМПАКТИРОВАНИЕ КЕРАМИКИ
Ивашутенко А.С. **272**

КАРБИД M7C3 В FE-CR-V-MO-C ПОКРЫТИИ
Горелов И.В, Дегтерёв А.С. **273**

КОРРЕКТИРОВКА УГЛА СКАНИРОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ РАССТОЯНИЯ ДЛЯ ПОДВИЖНЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
Пушкарев М.С., Стреминский А.С., Глиненко Е.В. **278**

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКА ТИТАНА ПО ФТОРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
Коровянский А.В., Сачков В.И., Макасеев Ю.Н. **282**

ВРАЩАЮЩАЯСЯ ЭЛЕКТРОДНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЧИСТКИ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫМ МЕТОДОМ
Байменшин А.М., Журавлев М. В., Шубин Б. Г. **286**

ПЛАНЕТАРНАЯ МЕЛЬНИЦА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ
Гурин С.Ю. **289**

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПЕРЕМЕШИВАТЕЛЕЙ БУРОВОГО РАСТВОРА
Ивкина О.П., Черемнов А.В. **293**

ИЗУЧЕНИЕ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА НА ДОСТОВЕРНОСТЬ КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ
Мотовилов И.А. **296**

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТЕЙ ОХЛАЖДЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ СЕЧЕНИЯХ ОТЛИВОК ИЗ НИКЕЛЕВОЙ БРОНЗЫ
Петренко Ю.Н. **298**

АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ КРУГЛЫХ ИЗДЕЛИЙ В КОНЕНО-ЭЛЕМЕНТНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM-2D
Сергеев Ю.А., Колесникова С.Ю. **302**

ПОДХОД К АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗИСТИВНОГО ГЕРМЕТИКА СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ
Филонина Е.А. **307**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ЗАЦЕПЛЕНИЯ КОНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ **310**
Черемнов А.В., Алиев Ф.Р. . . . . .

ELECTROEROSIVE PRODUCTION OF COATING MATERIAL IN A COAXIAL MAGNETOPLASMA ACCELERATOR
Gerasimov D. Y., Tsibina A. S. **315**

ПРОВЕРКА АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ О НАГРУЖЕНИИ КРУГЛОЙ ПЛАСТИНЫ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ИЗГИБАЮЩЕЙ НАГРУЗКОЙ
Яньков В.В. **321**

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ И НЕПОДВИЖНЫМИ ОСЯМИ
Ивкина О.П. **324**

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОРУНДО-ЦИРКОНИЕВОЙ НАНОКЕРАМИКИ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ И РЕНТГЕРНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА
Чеповской А.В. **328**

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ СВАРКЕ
Щербинина А.А., Соколов А.П. **332**

СЕКЦИЯ 2.
ЭФФЕКТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

РИСК-МЕНЕДЖМЕНТ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В СИСТЕМЕ МЕНДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ОРГАНИЗАЦИИ
Солоникова Т.Г. **338**

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ
Лысков И.А., Петров А.С., Гуляев А.В. **342**

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВ
Беккер А.В. **345**

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА НЬЮТОНА ПРИ РАСЧЕТЕ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ
Галиев Р.Ф. **346**

МЕТОД ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПУТЁМ ВЫРАВНИВАНИЯ НАГРУЗОК ФАЗ
Дашков В.М., Семин В.Е. **350**

ELECTRICAL EROSION OF THE MAGNETOPLASMA ACCELERATOR CHANNEL
Sivkov A.A., Gerasimov D.Y., Tsibina A.S. **352**

СОЛНЕЧНЫЕ УСТАНОВКИ В ЗД ВАРИАНТАХ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ
Литвинов А.С., Майкова О.В., Юрченко А.В., Юрченко В.И. **354**

ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
Альдиев А.А. **358**

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В МЕТАЛЛУРГИИ
Видяев И.Г. **362**

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА
Петров А.С., Лысков И.А., Гуляев А.В. **364**

ОБЗОР ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ
Малкова А.О., Здвижкова Н.А., Третьякова Е.И. **369**

ПРИМЕНЕНИЕ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ
Полунина Н.Ю. **373**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРЕДПРИЯТИЯ
Ле Ван Туан. **376**

ВНЕДРЕНИЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Беккер А. В. **380**

ОЦЕНИВАНИЕ СОСТОЯНИЕ ЕЭС РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН С ПОМОЩЬЮ SCADA и PMU
Смагулов С.Б., Акимжанов Т.Б. **382**

ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ АКСИАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА И ПОЛЯРНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ В КОАКСИАЛЬНОМ МАГНИТОПЛАЗМЕННОМ УСКОРИТЕЛЕ НА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЙ ИЗНОС ПОВЕРХНОСТИ УСКОРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА
Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С. **386**

СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ РЕГИОНОВ СИБИРИ
Юрченко А.В., Майкова О.В. **390**

ДИНАМИКА ГИПЕРЗВУКОВОГО ПОТОКА ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЫ
Герасимов Д.Ю. **397**

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ
Бутаков С.В. **398**

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ НА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЙ ИЗНОС УСКОРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА
Герасимов Д. Ю., Цыбина А. С., Шарипов Р. Р. **402**

HYBRID MAGNETO-PLASMA ACCELERATOR USE FOR THE DEPOSITION OF COATINGS
Sivkov A.A, Ilyin A. P., Gerasimov D.U., Saigash A.S. **407**

РАЗРАБОТКА КАБЕЛЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ С УВЕЛИЧЕННЫМ СРОКОМ СЛУЖБЫ
Насретдинова А.А. **414**

Научное издание

ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ

СБОРНИК ТРУДОВ РОССИЙСКОЙ МОЛОДЕЖНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

В двух томах

Том 1

Подписано в печать 03.12.2013.
Формат 60x84/16.
Бумага «Svetocopy», «ColorCopy». Печать XEROX.
Усл.печ.л. 49,87. Уч.–изд.л. 17,80.
Заказ 2/03.12.13 – 35. Тираж 30 экз.



ООО «СКАН», Студенческий центр, 634050, Томская область, г. Томск, ул. Советская, 80, тел.: (3822) 56-17-26, e-mail: ntb@scan.tom.ru,
сайт: scan.tom.ru.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

РОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ»

(грант РФФИ 13-08-06853)



Том 2

Томск
3-4 декабря 2013 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ»

СБОРНИК ТРУДОВ
РОССИЙСКОЙ МОЛОДЕЖНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

В двух томах

Том 2

Томск - 2013

УДК 620.9+621.3(063)
ББК 31+31.2л.0
Э651

Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: сборник трудов Российской молодежной научной конференции. В 2 т. Т. 2 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ООО «СКАН», 2013. – 286 с.

Настоящий сборник содержит материалы Российской молодежной научной конференции, проведенной 3-4 декабря 2013 г. на базе ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». Основной целью проекта является развитие научного потенциала молодых исследователей в области электроэнергетики и электромеханики, активизация процесса обмена новыми идеями и разработками, стимулирование творческого мышления среди молодежи.

УДК 620.9+621.3(063)
ББК 31+31.2л.0

Редакционная коллегия:

Ивашутенко А.С., к.т.н., доцент каф. ЭПП ЭНИН ТПУ
Богданов Е.П., к.т.н., доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ
Усачева Т.В., к.т.н., доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ

Редакционная коллегия уведомляет:
труды конференции представлены в авторской редакции

Российская молодежная научная конференции «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи» проводится по гранту РФФИ 13-08-06853

© Авторы, 2013

Состав организационного и программного комитетов
Российской молодежной научной конференции
**«Энергетика, электромеханика
и энергоэффективные технологии
глазами молодежи»**

Пестряков А.Н.	д.х.н., профессор, проректор по научной работе и инновациям ТПУ, председатель оргкомитета
Боровиков Ю. С.	к.т.н., доцент, проректор-директор ЭНИН ТПУ, сопредседатель оргкомитета
Стрижак П.А.	д.ф.-м.н., профессор, зам. директора ЭНИН ТПУ по научной работе
Прохоров А.В.	к.т.н., доцент, зам. директора ЭНИН ТПУ по учебной работе.
Ивашутенко А.С.	к.т.н., доцент каф. ЭПП ЭНИН ТПУ, руководитель проекта
Муравлев О.П.	д.т.н., профессор каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, председатель секции 1, круглого стола 4
Анненков Ю.М.	д.ф.-м.н., профессор каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, председатель секции 2, круглого стола 3
Богданов Е.П.	к.т.н., доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, зам. руководителя проекта
Усачева Т.В.	к.т.н., доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, ученый секретарь оргкомитета
Лукутин А.В.	к.т.н., доцент, начальник учебно-методического отдела ЭНИН ТПУ
Флеминг И.В.	старший преподаватель каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, секретарь секции 1
Дорохина Е.С.	ассистент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, секретарь секции 2

КРУГЛЫЙ СТОЛ 3.
СТРАТЕГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КАК СОВРЕМЕННАЯ ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В РОССИИ

Видяев И.Г.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Современная Российская экономика чрезвычайно энергоемка. Доля затрат на энергоносители в структуре себестоимости продукции в России в среднем в 1,7 раза превышают аналогичные показатели в Китае, в 7 раз — в США и в 12 раз — в странах ЕС. Ситуация в электроэнергетике — не исключение.

Решение данной проблемы нам видится через внедрение интеллектуальных систем контроля использования энергоресурсов на промышленных предприятиях. В современной научной литературе данный процесс получил название «интеллектуальные системы» или близкое по значению понятие «интеллектуальная энергетика». Однако, несмотря на четкое описание границ объекта исследования, большинство ученых не могут прийти к единому мнению, что следует понимать под данным понятием.

Чтобы разобраться с этим вопросом, обратимся немного к истории. Еще ровно шестьдесят лет назад ученый Д. Мак-Кей (1951 г.) ввел понятие самоуправляемых машин (такого понятия, как «искусственный интеллект» тогда еще не было). По его определению самоуправляемые - это такие системы, которые классифицируются в соответствии с тем, как в них осуществляются следующие общие функции [1]:

прием, классификация, запоминание и передача информации;

реакция на изменения в окружающей среде, включая выдачу информации о состоянии самой машины;

дедуктивные рассуждения на основе множества допущений или постулатов и обучения.

Хорошо известно, что индукция — это способ мышления от отдельного к общему, от детализации к обобщению. В то время как дедукция — это способ мышления от общего к частному или от всеобщего к отдельному. Этот метод характерен для системного подхода к анализу и синтезу сложных систем.

В случае определения Д. Мак-Кея в обучение входит наблюдение и управление собственным целенаправленным поведением. Все перечисленные функции, безусловно, характерны для современной интеллектуальной системы, в том числе и в энергетике [1].

С точки зрения техники наиболее интересным и содержательным является определение системы, данное академиком П.К. Анохиным: «Системой можно назвать только такой комплекс избирательно вовлеченных компонентов, у которых взаимодействие и взаимоотношения принимают характер взаимосодействия компонентов на получение фокусированного полезного результата» [2]. При этом «фокусированный полезный результат» можно рассматривать как достижение цели функционирования системы! Такое определение системы связывает ее с целенаправленной активностью. Автор имел честь работать под руководством академика П.К. Анохина в лаборатории бионики в 1965-1968 гг.

Интеллект с точки зрения технических систем следует рассматривать как сочетание способности предсказания среды со способностью выбора соответствующей реакции из множества альтернатив с учетом результата предсказания и поставленной цели. Представляется содержательным определять интеллект в терминах поведения стремящейся к цели системы (живой или искусственной) и измерять степень ее интеллекта по адекватности принимаемых ею решений. При отсутствии цели принятие решений беспредметно, и термин «интеллект» не имеет смысла.

В рамках нашей статьи к интеллектуальным техническим системам следует относить технические системы, которые, имея несколько целей функционирования (а может быть умеющие генерировать эти цели!), выбирают самую подходящую цель в зависимости от окружающей среды, прогнозируя повеление окружающей среды и свое собственное состояние. Именно последнее определение, на наш взгляд, имеет практическую ценность для разработчиков современных интеллектуальных систем, в том числе и в энергетике.

Остановимся на элементах совершенствования интеллектуальных систем в энергетике и, в частности, в интеллектуальных системах. Построение интеллектуальной системы должно стать стратегическим курсом развития распределительного электросетевого комплекса, подразумевающим четыре основных направления совершенствования [1, 3]:

- интеллектуализация силового оборудования и технологии передачи и распределения электроэнергии;
- интеллектуализация технологического управления;
- интеллектуализация специализированных коммуникационных и информационных устройств;

- интеллектуализация автоматизированных систем учета и управления электропотреблением.

Концепция интеллектуализации должна способствовать развитию следующих функциональных свойств электроэнергетики:

- обеспечивать самовосстановление при аварийных возмущениях, переходя от управления по факту возмущения к предупреждению аварийного повреждения элементов сети;
- развивать мотивацию активного поведения конечного потребителя;
- обеспечивать сопротивление негативным влияниям, в том числе реализовывать информационную и энергетическую безопасность;
- обеспечивать надежность энергоснабжения и необходимое качество электроэнергии в различных ценовых сегментах, а также трансформацию;
- реализовывать многообразие типов электростанций, устройств аккумулирования электроэнергии (распределенная генерация) и оптимальную интеграцию генерирующих и аккумулирующих мощностей в энергосистеме, подключение с помощью стандартизованных процедур технического присоединения и внедрение «микроэнергосистем» на уровне пользователей;
- оптимизировать управление производственными мощностями, переходя к удаленному контролю за эксплуатацией и модернизацией производственных активов с целью роста эффективности управления фондами, повышения их надежности и ремонта.

Именно реализация вышеописанных свойств создаст благоприятные условия для внедрения интеллектуальных систем в деятельность промышленных предприятий, обеспечит быструю окупаемость таких проектов и, в конечном счете, повысить энергоэффективность в российской промышленности до уровня развитых стран.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров А.А. Интеллектуальная энергетика: мифы и реальность // Автоматизация и IT в энергетике. 2011.– №12. – с.15-22.

2. Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем 1973 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.raai.org/library/books/ anohin/anohin.htm.

3. Окороков В.Р., Волкова И.О., Окороков Р.В. Интеллектуальные энергетические системы: технические возможности и эффективность // Академия энергетики. – 2010. – №3.

МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА МАГИСТРАНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕЛОВЫХ ИГР ПО ОПЕРАТИВНОМУ УПРАВЛЕНИЮ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Калани Э.Я.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В [1] сформулированы требования к современной подготовке персонала энергопредприятий, а именно: знание схем, устройства и конструкции энергетического оборудования; понимание технологических процессов; знание правил технической эксплуатации, правил устройства электроустановок и правил техники безопасности; обладания навыками планирования режимов и быстрой реакцией в нестандартных ситуациях.

Данные компетенции в определенной степени развиваются у магистрантов, обучающихся по магистерской специализации «Электроэнергетические системы, сети, электропередачи, их режимы, устойчивость и надежность» при изучении дисциплины «Оперативное управление в электроэнергетике». Освоение дисциплины предполагает изучение оборудования и технологических процессов, правил технической эксплуатации, получение навыков ведения штатных и аварийных режимов, а также проведения оперативных переключений в ходе деловых игр.

Как показывает практика, вопросы повышения эффективности подготовки и тренировки оперативного персонала энергопредприятий целесообразно решать с использованием специальных тренажёров диспетчера, отражающих как поведение энергосистемы (ЭС) в различных режимах работы, так и основной характер деятельности диспетчера.

Применение тренажёров в образовательном процессе требует разработки специального учебно-методического обеспечения, поскольку для студентов они используются в качестве обучающих, а не тренировочных систем. В настоящее время на кафедре электрических сетей и электротехники ТПУ проводится работа по созданию учебно-методического комплекса (УМК) по дисциплине «Оперативное управление в электроэнергетике», включающего блок деловых игр с использованием режимных тренажёров. Основные модули УМК: электронный учебник, система тестирования и лабораторный практикум. Лабораторный практикум содержит методические указания к деловым играм по оперативным переключениям и по ведению режима [2].

Инструментом для деловых игр по оперативным переключениям выбран тренажёр «Модус» [3]. Во время деловой игры осваиваются такие виды работ, как взаимодействие оперативного персонала, действия при срабатывании аварийной сигнализации, подготовка к использованию

типовых бланков и программ переключений, проведение и регистрация переключений в оперативном журнале.

В качестве инструмента для деловых игр по ведению режима ЭЭС используется режимный тренажёр диспетчера «Феникс». Он представляет собой программный комплекс, предназначенный для проведения сеансов противоаварийных тренировочных занятий с отображением оперативной обстановки в ЭС. Учебная режимная модель Морозовской ЭС, используемая в составе тренажёра [4] и принятая для постановки деловых игр, позволяет моделировать основные оперативные состояния ЭС.

В качестве примера дадим краткое описание фрагмента разработанного учебно-методического обеспечения деловой игры «Аварийное отключение ВЛ 220 кВ Центральная – ТЭЦ-2 с работой АРОДЛ (автоматика разгрузки при отключении двух линий электропередачи) на ТЭЦ-2 в ремонтной схеме сети», проводимой в Морозовской ЭС. В составе Морозовской ЭС находится Морозовское Региональное Диспетчерское Управление (РДУ), под управлением (или в ведении) которого находятся следующие объекты: Святогорская ГРЭС, Южная ГРЭС, Светлая ГЭС, ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, блок-станции ТЭЦ нефтеперерабатывающего завода и ТЭЦ центрального металлургического комбината, три подстанции 500 кВ, 18 подстанций 220 кВ, пять подстанций 110 кВ. Фрагмент оперативной схемы 500, 220, 110 кВ Морозовской ЭС представлен на рис. 1.

Целью деловой игры является получение навыков введения параметров режима в допустимую область при аварийном отключении ВЛ 220 кВ в ремонтной схеме сети Морозовской ЭС. В ходе деловой игры необходимо не допустить развития нарушения электрического режима в ЭС, выявить все отклонения параметров послеаварийного режима от нормальных значений и привести значения параметров электрического режима к нормально-допустимым.

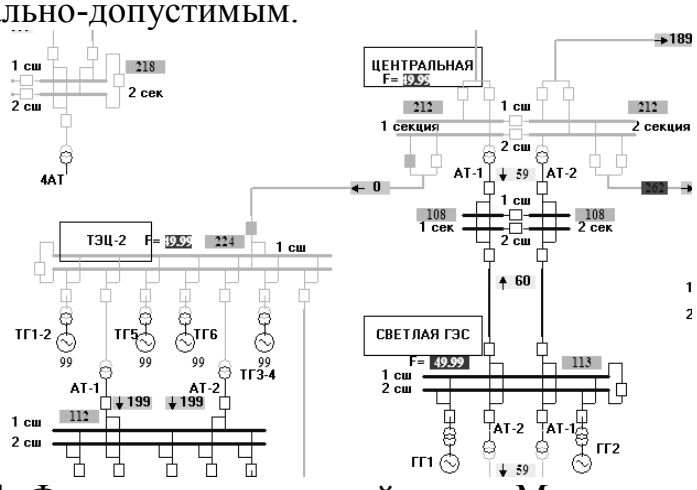


Рис. 1. Фрагмент оперативной схемы Морозовской ЭС

Участниками деловой игры являются: Руководитель, Инструктор и Участники (Диспетчеры ОДУ ОЭС и Морозовского РДУ). Инструктор исполняет роль руководства деловой игры и, одновременно выполняет функции подчиненного по отношению к Диспетчерам персонала, имитируя приём и исполнение команд Диспетчеров на объектах ЭС. Студенты получают роли Инструктора и Диспетчеров. Участникам предоставляются следующие данные: исходный режим, отклонения от нормальной схемы и аварийное возмущение в ЭС, вводная и задание, оптимальное решение задачи ликвидации аварийного возмущения. Оптимальное решение задачи представляет собой линейную цепочку решений в ходе деловой игры и используется в режиме обучения.

В учебном сеансе деловой игры можно выделить пять этапов.

На первом этапе изучается терминология, схема и оборудование.

Второй этап представляет собой начальный период уяснения исходного оперативного состояния схемы и режима ЭС. Студент-Диспетчер работает с Интерфейсом Диспетчера режимного тренажёра (рис. 2) и вызывает на связь Инструктора для уточнения режима работы и состояния оборудования объектов ЭС, по которым в Интерфейсе Диспетчера отсутствует текущая информация, а также для уточнения состояния схемы.

Третий этап – период развития аварийной ситуации по сценарию деловой игры при участии противоаварийной автоматики, во время которого обучаемый оценивает сложившуюся ситуацию и намечает план ликвидации аварии. Оценка ситуации производится на основе информации, получаемой при помощи Интерфейса Диспетчера, а также по сообщениям, которые воспроизводит Инструктор.

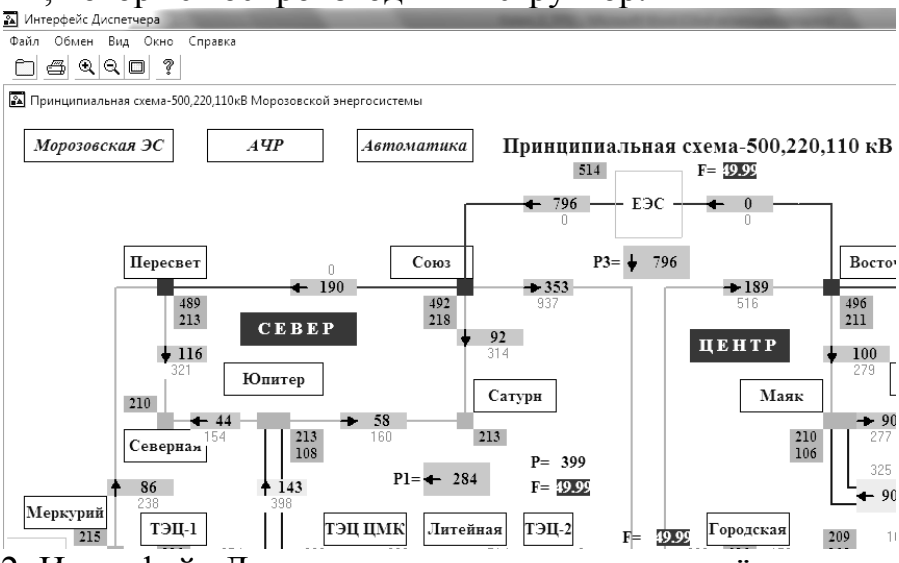


Рис. 2. Интерфейс Диспетчера в режимном тренажёре диспетчера «Феникс»

Четвёртый этап – период ликвидации аварийной ситуации и восстановления оперативного состояния ЭС. Студент-Диспетчер осуществляет решение задачи в соответствии с принятым планом ликвидации аварии, посредством выдачи команд на объекты, которые вводит в модель Инструктор, управляя моделью ЭС [2].

Пятый этап – оценка действий студентов в процессе деловой игры. Суть методики оценки заключается в анализе ликвидации нарушений нормального режима в ходе деловой игры по динамике изменения ряда режимных параметров (уровни напряжений, ток в линиях электропередачи и трансформаторах), вышедших за допустимые пределы. В целом решение задачи деловой игры представляется как поэтапный перевод контролируемых параметров в желаемом направлении.

Команды, отдаваемые Участниками, записываются одним из них в протокол решения задачи. Оценка действий студентов проводится на основе протокола решения задачи и технологической карты, включающей систему выставления штрафных и поощрительных баллов за решение режимной задачи.

Правила оценки, согласно методике, предполагают разделение всех действий Участников из протокола на три группы с соответствующими баллами. К первой группе отнесены те события, в результате которых контролируемый параметр отклонился в сторону зоны допустимых значений. Вторая группа действий, отмечаемых штрафными баллами, приводит к росту отклонений режимных параметров в недопустимую область. Также отмечаются в протоколе отрицательными баллами третья группа действий, в результате которых значения режимных параметров неизменно остаются в недопустимой области [5].

План ликвидации аварии позволяет отслеживать ход решений задачи студентами и сопоставлять текущие состояния системы с принятыми эталонами.

Как показывают предварительные результаты, деловые игры являются эффективным способом освоения студентами широкого круга практических работ по оперативному управлению в электроэнергетике. Этим, подтверждается целесообразность дальнейшего развития деловых игр, как перспективной технологии обучения магистрантов и эффективного средства их подготовки к профессиональной деятельности на предприятиях энергетического комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стандарт организации ОАО «СО ЕЭС». СТО 59012820.03.100.30-002-2009. Профессиональная подготовка, поддержание и повышение

квалификации персонала: утв. и введен в действие: приказом ОАО «СО ЕЭС» от 06.11.2009. № 434. М. 2009.

2. Хрущев Ю.В., Бацева Н.Л., Фикс Н.П., Калани Э.Я. Постановка деловых игр по оперативному управлению в электроэнергетике для профессиональной подготовки магистрантов//Электроэнергетика глазами молодежи: науч. тр. IV междунар. науч.-техн. конф., Т.2 // Мин-во образования и науки РФ, Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2013.

3. Тренажёр оперативных переключений «Модус» [Электронный ресурс]//Компания Модус [сайт]. [2012]. URL: http://swman.ru/content/blogcategory/20/48/ (дата обращения 15.06.2013).

4. Режимный тренажёр диспетчера «Феникс» [Электронный ресурс]//ЗАО «Монитор Электрик»: [сайт]. [2012]. URL: http://www.monitel.ru/files/downloads/products/Broshyura%20%20Finist.pdf (дата обращения 15.06.2013).

5. Федоров О.А. Подходы к автоматизированной поддержке оценивания действий диспетчеров в режимном тренажере // Оперативное управление в электроэнергетике. Подготовка персонала и поддержание его квалификации: журнал. 2008. №2.

ПРОБЛЕМЫ ЗАПАДНО – СИБИРСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО РАЗВИТИЯ В НАЧАЛЕ ТРЕТЬЕГО ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ

Едешева Ч.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Металлургический комплекс Западной Сибири – очень перспективная отрасль России, находящаяся на стадии формирования. Основой формирования Сибирского металлургического комплекса являются железные руды Горной Шории, Хакасии и Ангаро-Илимского железорудного бассейна, а топливной базой – Кузнецкий каменноугольный бассейн. Современное производство здесь представлено двумя крупными предприятиями: новостройкой первой пятилетки 20-го века Кузнецким металлургическим комбинатом с производством полного цикла (в настоящее время промышленная площадка рельсового проката ОАО «ЕВРАЗ Западно-сибирский металлургический комбинат (ЗСМК))» и собственно ЗСМК (в настоящее время ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК») [1], а также ферросплавным заводом (г. Новокузнецк).

Одно из самых прогрессивных направлений в мире, основателем которого является русский инженер-металлург Н.И. Беляев – передельная металлургия, выпускающая металлы и сплавы на их основе особого качества [2] – начинает лишь только сейчас делать первые робкие шаги освоения на заводах Новосибирска, Красноярска, Гурьевска, Петровск-Забайкальского, Комсомольска-на-Амуре). Добывающая промышленность представлена горно-обогатительными комбинатами (ГОК), Кузбасса, в Горной Шории, Хакасии и Коршуновским ГОК в Восточной Сибири. Металлургическая комплекс Западной Сибири охватывает весь цикл производства металлов: добычу и подготовку руд, топлива, выпуск металла, производство вспомогательных материалов (огнеупоров, кислорода и т.п.). Каждая структурная составляющая металлургического комплекса имеет четко выраженную специфику производства, базируется на присущей ей научной основе, располагает своей технологией, оборудованием и специально подготовленными кадрами.

Основными направлениями, позволяющими резко увеличить объем производства черных металлов, расширить ассортимент выпускаемой продукции, являются улучшение качества исходного сырья, укрупнение металлургических агрегатов и увеличение их единичной мощности.

В процессе обоснования размещения новых металлургических предприятий необходимо обязательно учитывать весь комплекс факторов, воздействующих на процессы производства и жизнь населения в регионах. Главное богатство регионов Сибири – разнообразные природные ресурсы. Самый надежный и дешевый способ транспортировки сырья и техники для их добычи – по железной дороге. Это связано прежде всего с экономией затрат в процессе транспортировки сырья, топлива, полуфабрикатов и готовой продукции. Недостатка в проектах нового железнодорожного строительства на востоке России никогда не было, но необходимо сформировать такую сеть железных дорог, которая бы пролегла по наиболее перспективным, с хозяйственной точки зрения, направлениям.

На размещение предприятий металлургической отрасли влияет степень развития инфраструктуры, а именно населенность района и его обеспеченность объектами производственной и социальной сферы, уровень их развития. Как правило, регионы с более высоким уровнем развития инфраструктуры являются наиболее притягательными при размещении металлургических предприятий, так как нет необходимости строительства новых, дополнительных объектов электроснабжения, водоснабжения, транспортных коммуникаций, учреждений социальной сферы [3] .

Действительно, многое в металлургическом комплексе Западной Сибири ещё не решено. Это проблемы, среди которых: недостаток

трудовых ресурсов, транспортная необеспеченность, во многом тормозят развитие отрасли. Но среди проблем, возникших перед металлургическим комплексом, ещё очень много проблем экономических, проблем управления отраслью и, ставшая последнее время очень актуальной, экологическая проблема.

Учет экологического фактора при размещении металлургического производства – объективная необходимость в развитии сибирского региона, его населения и социальной сферы [4].

Большое внимание должно быть уделено структурной перестройке металлургической отрасли и, в частности, создание сети более перспективных на ближайший период времени сверхкомпактных производств, включающих добычу и подготовку руд, топлива, выпуск металла, производство вспомогательных материалов. В связи с этим необходимо провести глубокий и тщательный анализ накопленного опыта работы в металлургическом комплексе Западной Сибири за все время его существования и, с учетом этого, а также требования времени, наметить основные тенденции в его развитии.

Российская металлургия переживает глубокие структурные перемены. Ее предприятия в большинстве случаев являются градообразующими. В Новокузнецке это просматривается наиболее отчетливо. Зарубежная практика взимания налогов в корне отличается от той, что принята сейчас в России. Налоги получают в основном с потребительских товаров, реализуемых населению, а не с предприятий и фирм базовых отраслей. Нужно перестать полагаться на металлургию как на средство добычи валюты. Отрасль сама по себе достаточно финансово емкая. А европейский опыт, опять же, показывает, что выгоднее дотировать горнодобывающие отрасли и тем самым сдерживать рост цен и инфляцию.

Нужно снизить предельный уровень налогов для отрасли до 50 процентов, сохранить внебюджетный инвестиционный фонд для металлургии, обуздать налоги в горнорудной промышленности и цены в энергетике и транспорте, от которых, как известно, целиком зависит металлургическое предприятие [5] .

В последнее время наибольшее распространение получили металлургические мини-заводы [6] . Мини-заводы – это небольшие металлургические предприятия, использующие в качестве исходной шихты металлолом и гибко учитывающие запросы потребителей. Они занимают небольшие территории, используют электроэнергию и минимальное количество трудовых ресурсов и воды. При этом металлы и сплавы на их основе производят особого качества, а отрицательное воздействие на окружающую среду минимальное. Создание таких мини-

заводов было бы более перспективным и оптимальным решением большинства назревших проблем в металлургическом комплексе Западной Сибири за все время его существования.

Металлургический комплекс Западной Сибири разрабатывает перспективы своего производственного и социального развития исходя из долгосрочных задач отрасли и с учетом планов комплексного развития каждого отдельного района. Он предусматривает меры по расширению производства и повышению его технического уровня, обновлению и росту качества продукции [4]. От темпов развития качественной металлургии на территории Западной Сибири и Дальнего Востока во многом зависит судьба всей Российской экономики в целом, оснащение промышленности надежной, долговечной и безопасной в эксплуатации новейшей техникой [5].

Заключение

1. С целью оптимального развития социальной инфраструктуры и заселенности обширных территорий Западной, Восточной Сибири и Дальнего Востока необходимо и дальше совершенствовать строительство широкой сети железных и автомобильных дорог вместе с необходимыми коммуникациями.

2. С учетом этого необходимо перепрофилировать ряд предприятий металлургического комплекса Сибири и Дальнего Востока по дальнейшему выпуску рельсов и проката необходимого сортамента, создания металлургических заводов малых форм собственности (мини – заводы), гибко реагирующих на изменение спроса выпускаемой продукции потребителями.

3. Кроме того, определяющим направлением в металлургии Сибири третьего тысячелетия должна быть передельное производство, а именно специальная электрометаллургия, позволяющая на основе переплавных рафинирующих процессов получать металлы и сплавы особого качества, обеспечивающих высокую надежность, долговечность и безопасность в эксплуатации новейшей техники, автомобильного, железнодорожного, морского и воздушного транспорта, авиационной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Апасов А.М. Горнорудная и железоделательная отрасль Сибири на рубеже 18-20 веков / А.М. Апасов, Ч.В. Едешева (студентка) // Горное машиностроение: Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) Mining Informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2012. – №ОВ3. – 552с. – М.: Издательство «ГОРНАЯ КНИГА». – С.195-205.

2. Апасов А.М. Специальная электрометаллургия: учебник / А.М. Апасов; Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета.-2012.-2-ое изд. – 286 с.

3. Бовин А., Гусейнов Р., Кащенко Н. Экономика Сибири: состояние и перспективы // Сибирь: Политика. Экономика. Управление. – 1996. – №6. – С.56-70.

4. Яблоков А.В. Экологический риск и национальная безопасность / ЭПОС // Экономика, предпринимательство, окружающая среда. – 1994. – №1,3. – С.19-23.

5. Городецкий В. Металл России: Заметки о судьбах одной из «Заглавных отраслей» // Труд. – 1 августа 1995 г.

6. Шашков Е., Адно Ю., Опошнянский С., Хохлов Е. Корпорация без секретов. Книга первая М., ООО «Национальное образование», –2002.– 117 с., илл.

КАЧЕСТВО РАБОЧЕЙ СИЛЫ, КАК УСЛОВИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Гаврикова Н.А., Долгих И.Е.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Современная концепция реализации и «пропаганды» принципов ресурсоэффективности на уровне высшего профессионального образования предполагает рассмотрение вопросов эффективности использования ресурсов на всех этапах обучения. В идеальной модели специалисты должны не просто изучить принципы, механизмы и методы эффективного использования ресурсов, они должны научиться думать и принимать «ресурсоэффективные» решения.

Способность обеспечения ресурсоэффективности промышленного предприятия значительным образом определяется его трудовыми ресурсами. Их качество определено определенными свойствами персонала, которые определяют его возможности в решении задач повышения ресурсоэффективности.

В систему знаний в сфере ресурсоэффективности вошли вопросы рационального и эффективного использования ресурсов в предметных технических областях, общие принципы и философия ресурсоэффективности и вопросы ресурсоэффективности в отрасли.

В общем виде, под качеством рабочей силы понимается сформированный в результате инвестиций и накопленный человеком определенный запас здоровья, знаний, навыков, способностей, мотиваций, которые активно используются в той или иной сфере производства, содействуют росту производительности и качеству его труда и тем самым влияют на рост заработка данного человека[1].

Постановка цели повышения ресурсоэффективности корректирует требования, предъявляемые к качеству рабочей силы. Повышение ресурсоэффективности, в большинстве своем реализуется путем внедрения комплексов мероприятий инновационного развития. В позиции качества рабочей силы этот фактор снижает важность опыта работника, перемещая приоритет на его способность к обучению, восприятию и использованию нового. По этой причине, многие работодатели ввели возрастные ограничения для кандидатов на вакантные должности.

Если ранее, когда накопленный опыт являлся ведущим фактором эффективности труда, высоко ценились прежде всего работники "наиболее производительных возрастов" (40-50 лет), то в условиях высокотехнологичного производства, когда на первый план выдвигаются требования постоянного обновления и пополнения знаний, приоритет получают работники тех возрастов, которые обладают максимальными гностическими способностями и хорошим состоянием здоровья (25-40 лет) [2].

Повышение эффективности использования всех видов ресурсов, отразилось и на требованиях работодателя к эффективности труда. Повышение производительности, как следствие, увеличивает величину физической и психологической нагрузки на организм работника, требует от него быстрой реакции на происходящие изменения, собранности, сосредоточенности, внимательности, которые в значительной мере определяются состоянием здоровья человека.

На сегодняшний день, повышение качества рабочей силы является приоритетным направлением развития государства. Как отметил на расширенном заседании Государственного совета в своем выступлении В.В. Путин «О стратегии развития России до 2020 года», для реализации стратегии инновационного развития страны «необходимо опираться на одно из главных преимуществ - реализацию человеческого потенциала. Переход на инновационный путь развития страны связан, прежде всего, с масштабными инвестициями в человеческий капитал. Развитие человека - это основная цель, необходимое условие прогресса современного общества. Это и сегодня, и в долгосрочной перспективе - наш абсолютный национальный приоритет».

Специалист современного производства должен обладать способностью к инновациям и знаниями в области ресурсоэффективности, которые помогут найти оригинальные технические решения, позволяющие достичь более высоких результатов по всем направлениям эффективности: экономической, социальной, экологической.

Ключевыми компетенциями инновационного специалиста должны стать:

Стремление к постоянному повышению уровня квалификации;

Умение работать в конкурентной среде, предприимчивость, умение работать в команде.

Названные компетенции требуют от специалистов наличия базовых знаний об основах эффективности использования всех видов ресурсов, о показателях их оценки и методах повышения ресурсоэффективности. Поэтому «инновационный человек» должен обладать не только умением творить и генерировать идеи, но и достигать успеха за счет их использования.

Для успешного решения задач по формированию компетенций «инновационного человека» согласно Стратегии требуется модернизация реализуемой государством политики в области образования по ряду ключевых направлений [3]:

1. Развитие системы непрерывного образования, создание базовыз условий для постоянного обучения и повышения квалификации занятых.

2. Предоставление возможности получения предпринимательских компетенций для специалистов промышленного производства, путем активизации разработки послевузовских образовательных программ.

3. Формирование системы стимулирования инновационной активности молодежи, в том числе, посредством проведения конкурсов, форумов, слётов, олимпиад, а также очно-заочных школ, проектно-исследовательских практик и курсов при ведущих вузах с применением современных сетевых форм коммуникации.

4. Формирование культуры инноваций в обществе и повышение престижа инновационной деятельности и коммерциализации новых идей, способных повысить ресурсоэффективность всех отраслей и сфер деятельности предприятий РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Выварец А.Д. Экономика предприятия: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 080502 "Экономика и управление на предприятии (по отраслям)" / А.Д.Выварец. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. - 543 с.

2. Пелих, С.А., Гоев, А.И., Плотницкий, М.И. Производственный менеджмент. Управление предприятием: Учебн. Пособие/ С.А. Пелих, А.И. Гоев, М.И.Плотницкий и др. - Мн.: БГЭУ, 2003 - 555с.

3. Проект ИННОВАЦИОННОЙ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ России до 2020 года. .[Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://venture-biz.ru.

КОНЦЕПЦИЯ «SMART GRID» КАК СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Видяев И.Г.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время актуальным является создание интегрированных интеллектуальных энергетических сетей (ИЭС) на основе моделирования цифровой реальности (Virtual reality systems) [1]. На западе данный подход стал основой формирования новой технологии управления энергией, получившей название концепция «Smart Grid».

«Smart Grids» – это электрические сети, удовлетворяющие будущим требованиям по энергоэффективному и экономичному функционированию энергосистемы за счет скоординированного управления и при помощи современных двусторонних коммуникаций между элементами электрических сетей, электрическими станциями, аккумулирующими источниками и потребителями [2].

Наибольшие ожидания от применения технологии Smart Grid связаны с уровнем участия потребителей и уровнем использования производственных активов распределительных сетей.

В области потребления характерно снижение пиковых нагрузок и как следствие перенос строительства новых электростанций. При этом экономия достигает 18 млн долларов в год. В распределительных сетях – снижены потери до 10%, снижены выбросы CO2 на 45 тыс. тонн, при этом экономия 7 млн долларов в год [1].

В области генерации главный эффект — уменьшение числа аварий и внеплановых ремонтов. Экономия составляет 11 млн долларов в год. Снижение аварий до 80%. Внедрение технологий интеллектуальной сети окупается за 4 года [3,4].

Важным моментом является повышение надежности сетевого оборудования и его КПД, а также продление срока службы энергетического оборудования. Экономия от продления срока службы оборудования составляет 5 млн долларов в год. Внедрение технологий интеллектуальной

сети существенно снижает количество аварий и времени восстановления испорченного оборудования.

Существующая энергосистема в области генерации электроэнергии ориентирована на приоритет крупной генерации (ГЭС, ТЭЦ и т.п.), при этом реализуется активное управление по заданным режимам генерации. В случае перехода к интеллектуальной системе используется любая генерация, включая возобновляемые источники электроэнергии (например, ветроэнергетика и т.п.). Активное управление всеми генерирующими мощностями и создание для общей координации центров управления. Использование различных видов генерации электроэнергии - от большой до малой энергетики — позволяет устранить дефицит мощности.

Существующая энергосистема реализует пассивную систему передачи электроэнергии, осуществляется управление сетью за счет коммутаций. Причем, как правило, недостаточно эффективно реализуются функции наблюдаемости и управляемости электрических сетей. В случае перехода к интеллектуальной системе реализуется интеллектуальная система передачи электроэнергии с управлением режимами в реальном времени, обеспечивая эффективную реализацию функций наблюдаемости и управляемости электрических сетей.

В существующей энергосистеме реализуется свободное использование электроэнергии потребителями с учетом внешних ограничений (например, на электрическую мощность и т.п.). В случае перехода к интеллектуальной системе реализуется гибкое эффективное использование электроэнергии с адаптацией к различным системным ситуациям.

Проведенный в [3-5] анализ позволил сформулировать следующие исходные положения, принятые при разработке и развитии концепции Smart Grid за рубежом:

1. Концепция Smart Grid предполагает системное преобразование электроэнергетики (энергосистемы) и затрагивает все ее основные элементы: генерацию, передачу и распределение (включая и коммунальную сферу), сбыт и диспетчеризацию.

2. Энергетическая система рассматривается в будущем как подобная сети Интернет инфраструктура, предназначенная для поддержки энергетических, информационных, экономических и финансовых взаимоотношений между всеми субъектами энергетического рынка и другими заинтересованными сторонами.

3. Развитие электроэнергетики должно быть направлено на развитие существующих и создание новых функциональных свойств энергосистемы и ее элементов, обеспечивающих в наибольшей степени достижение ключевых ценностей новой электроэнергетики, выработанных в результате

совместного видения всеми заинтересованными сторонами целей и путей ее развития.

4. Электрическая сеть (все ее элементы) рассматривается как основной объект формирования нового технологического базиса, дающего возможность существенного улучшения достигнутых и создания новых функциональных свойств энергосистемы.

5. Разработка концепции комплексно охватывает все основные направления развития: от исследований до практического применения и тиражирования и должна вестись на научном, нормативно-правовом, технологическом, техническом, организационном, управленческом и информационном уровнях.

6. Реализация концепции носит инновационный характер и дает толчок к переходу на новый технологический уклад в электроэнергетике и в экономике в целом.

Подводя итог хочется отметить, что российским предприятиям нужно обратить пристальное внимание на концепцию «Smart Grid», т.к. ее применение создает действенные мотивы для повышения контроля за энергетическими ресурсами, оптимизации управления ими, снижения энергоемкости производства и по эффективности всей деятельности предприятия в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров А.А. Интеллектуальная энергетика: мифы и реальность // Автоматизация и IT в энергетике. 2011.– №12. – с.15-22.

2. SmartGrids SRA 2035. Strategic Research Agenda: Update of the SmartGrids SRA 2007 for the needs by the year 2035 // European Technology Platform SmartGrids. – Brussels: SMART GRIDS, 2012. – p.74.

3. «Grids 2030». A National Vision for Electricity's Second 100 years. Office of Electric Transmission and Distribution of USA Department of Energy, 2003.

4. The National Energy Technology Laboratory. «A vision for the Modern Grid». March 2007.

5. Кобец Б.Б., Волкова И.О., Окороков В.Р. Smart Grid как концепция инновационного развития электроэнергетики за рубежом // Энергоэксперт. – 2010. – №2.

ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Боголюбова М.Н., Охотин И.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Создание и применение электронных образовательных ресурсов (ЭОР) является неотъемлемой частью современного учебного процесса. Одним из актуальных направлений применения ЭОР является интенсификация учебного процесса.

Анализ факторов интенсификации обучения показал, что основными из них являются:

- увеличение информативной емкости содержания образования;
- повышение темпа учебных занятий за счет компьютерных технологий;
- применение активных методов и форм обучения;
- поисковая деятельность при выполнении научного и учебного эксперимента;
- развитие профессиональных и научно-исследовательских навыов при выполнении НИРС и НИР;
- повышение целенаправленности обучения, и др.

В соответствии с особенностями рассмотренных факторов, разработан информационно-образовательный комплекс на основе ЭОР, который состоит из трех подсистем:

- контрольная (тестирующая),
- обучающая (активная),
- поисковая (инициативная).

Разработаны принципы создания структуры информационно-программного комплекса, включающего следующие разделы:

- Интерпретация и формализация понятий и терминов предметной области;
- Разработка инструментальных средств пользователя;
- Разработка программного обеспечения;
- Организация информационной коммуникации между пользователем и компьютером.

Принципы формализации понятий предметной области выполнены на основе декомпозиции определенной темы по уровням сложности изучаемого материала.

Основные принципы формирования инструментального и программного обеспечения, информационно-программного комплекса

разработаны на основе языка Delphi, пакетов прикладных программ, Internet-технологий, информации периодических изданий и др. источников[2,3].

Принципы взаимодействия пользователя с компьютером осуществляются в интерактивном режиме работы.

Разработана система тестирования, которая предназначена для контроля знаний студентов любого уровня сложности: входного, текущего, итогового контроля, контрольных работ, зачетов, экзаменов, а также можно проводить тестирование студентов, чтобы выяснить их уровень знаний, умений и навыков и сформировать учебные задания на основе результатов тестирования и с учетом профессиональной направленности их обучения.

Задания хранятся в базе данных, которые создаются и редактируются преподавателями, по определенным учебным дисциплинам. Интерфейс системы тестирования не зависит от конкретной дисциплины и позволяет сформировать единый банк заданий по различным темам.

Контрольно-справочная часть предполагает наличие: перечня вопросов для самопроверки изучаемого материала и заданий для компьютерного тренинга.

В ходе тестирования в заголовке экрана выводятся номер текущего задания и общее количество заданий в тесте, что позволяет тестируемому оценить объёмы проделанной и предстоящей работы.

В качестве правильного ответа на задание тестируемый выбирает:

1) подходящую альтернативу (альтернативный выбор),

2) отмечает все подходящие элементы множества (множественный выбор),

3) вводит свободный ответ (параграф) в виде текстового или графического документа.

Альтернативный и множественный выбор позволяет получить быстрый результат. Ввод свободного ответа (параграф) предполагает проверку данных преподавателем.

После завершения работы с тестом программа выводит последний экран, на котором указаны:

- название темы;

-количество представленных заданий;

-количество использованных минут;

-количество правильных ответов;

-количество набранных баллов (по 100-балльной шкале) и др. информацию.

Пример контрольного материала по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» кафедры ТАМП изображен на рис.1.

Результаты тестирования позднее можно обработать с помощью другой программы.

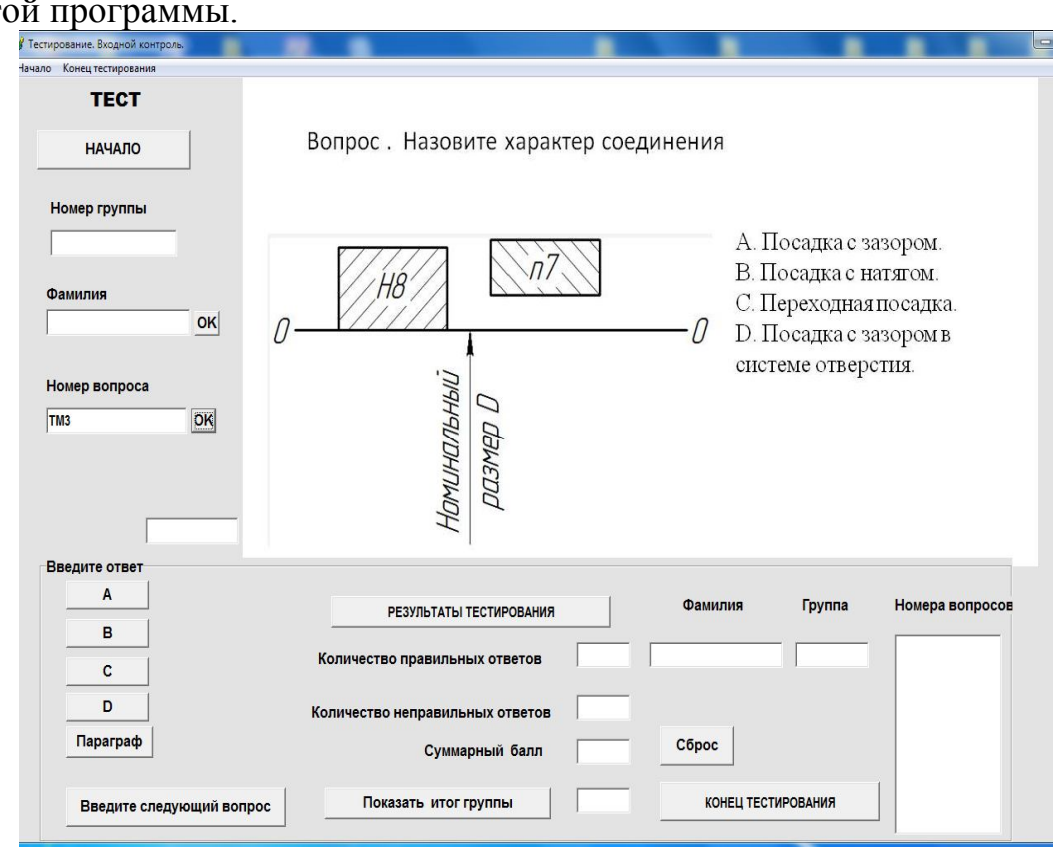


Рис. 1. Общий вид окна результатов тестирования

Система тестирования позволяет:
-создавать любые темы тестирования;
-вводить задания и варианты ответов на вопросы;
-использовать графические изображения в заданиях по темам тестирования;
-оценивать результат тестирования (рис. 1);
-устанавливать балл для оценки знаний;
-накапливать и обрабатывать результаты тестирования;
-вести список тестируемых;
-устанавливать время ответа на вопросы темы, а также ввести дифференцированный подход по временному параметру к участникам тестирования;
-ограничивать доступ тестируемых к просмотру и редактированию данных;
-сопоставлять ответы тестируемых с правильными вариантами ответов;
-сохранять во внешнем файле результаты тестирования и др.
Протокол каждого сеанса тестирования сохраняется в отдельном закрытом файле.

Опыт творческой работы, накапливаемый студентами в процессе обучения, позволяет улучшать качественные и количественные показатели эффективности образовательного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственные образовательные стандарты высшего профессионального образования (ГОС ВПО).http://www.edu.ru/db/portal/spe/index.htm.

2. Боголюбова М.Н., Савельева Н.Н. Организация обучения и мониторинга знаний студентов на базе WebCT //Вестник Московского городского педагогического университета. Вып. Информатика и информатизация образования, 2008. - т.5 (15).

3. Савельева Н.Н., Боголюбова М.Н., Проскуряков П.Ю. Конструкторско-технологическая подготовка студентов механиков на основе электронных образовательных ресурсов // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 6 (часть 2). – стр388-391.

НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ РУСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ В МОБИЛЬНОСТИ В IT-ОТРАСЛИ

Стрельников А.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

Специфика информационных технологий заключается в особенностях потребляемых ресурсов и производимых эффектов. Основными потребляемыми ресурсами здесь являются: труд (интеллектуальный ресурс), энергия (чаще всего электрическая) и программно-технические средства.

Основными эффектами, т. е. положительными результатами реализации информационных технологий являются: снижение трудоемкости (повышение производительности) процессов использования информационного ресурса; повышение надежности (снижение рисков сбоя) функционирования информационных системж повышение оперативности (скорости обработки) информации.

В этом свете ресурсоэффектиность в контексте информационных технологий будет представлять собой нацеленность на получение максимального результата (производительности труда, надежности информационной системы и скорости обработки информации) от

использования необходимых ресурсов (труд, энергия, программно-технические средства), в рамках требований экономичности, устойчивости и экологичности.

Использование достижений миниатюризации и повышения мобильности в IT-отрасли

Современные требования к компонентной базе IT-аппаратуры отличаются жесткими требованиями к энергопотреблению. Это связано прежде всего с требованиями миниатюризации и мобильности современной IT-аппаратуры – чем меньше энергии потребляют компоненты устройства, тем более легкий и компактный аккумулятор будет необходим устройству. Таким образом, следуя моде или отдавая дань экологическим потребностям общества производители IT-отрасли в 1992 году ввели в обращение концепцию «Green IT» («зеленые» IT-решения). Этим термином обозначали такие продукты, которые обеспечивали бы максимум производительности при минимальных затратах энергии. Такие устройства создают минимальный «углеродный след» – вред природе, который наносится при производстве электроэнергии.

Строительной единицей процессора компьютера является транзистор, реализующий простейшие логические операции двоичной (битовой) логики. На одном кремниевом кристалле площадью 1—2 см² могут разместиться несколько миллиардов транзисторов [1]. Чем больше транзисторов удается разместить на одной и той же площади кристалла, тем меньше им нужно энергии для выполнения одной и той же задачи, и тем меньше тепла они выделяют в ходе этой работы. Не говоря уже о том, что это позволяет создавать более компактные устройства (рис. 1). Поэтому практически каждые два-три года производители IT-компонентов переходят от одного стандарта миниатюризации к более эффективному (технологические нормы техпроцесса – 65 нм, 45 нм, 32-нм). Революционной технологией стали 22-нм процессоры, в которых используются 3D-транзисторы Intel Tri-Gate [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Их структура состоит из нескольких слоев компонентов, что позволяет обеспечить низкое энергопотребление при высокой производительности. По сравнению с первым процессором Intel 4004, выпущенным в 1971 г., новые процессоры работают в 4 тыс. раз быстрее, потребляют в 5 тыс. раз меньше, а их цена в пересчете на один транзистор сократилась в 50 тыс. раз.

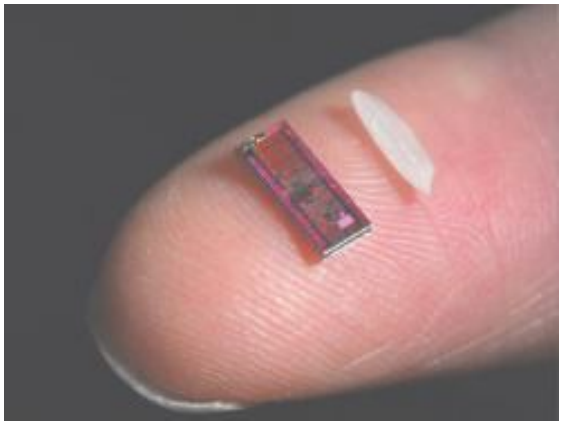


Рис.1. Размеры современного микропроцессора

Поэтому использование современных IT-устройств позволяет получить дополнительный эффект в энергосбережении, так как устаревшее оборудование требует больше затрат на охлаждение и питание, чем современное.

Эффективность энергооборудования

Потери электроэнергии в основном возникают при преобразовании электричества, и в проводниках, выделяющих тепло. Потери на трансформацию энергии можно снизить путем выбора оборудования с максимальным КПД в основных режимах эксплуатации. В крупных ЦОД источники бесперебойного питания (ИБП) пропускают через себя мегаватты электричества, поэтому повышение их КПД способно существенно сократить расходы.

При сравнении КПД ИБП следует учитывать, что в большинстве ЦОД нагрузка вводится в эксплуатацию постепенно, поэтому системам бесперебойного электропитания большую часть времени приходится работать при неполной загруженности. Для ИБП, как правило, КПД близок к максимальному при уровне загрузки 60–90 %. Если реальное потребление меньше 50 %, КПД источника быстро падает – вплоть до 60 % и ниже [3]. Чтобы избежать огромных потерь электроэнергии, схему подключения следует формировать таким образом, чтобы оборудование работало в наиболее эффективном режиме. Более выгодным оказывается полная загрузка одного ИБП, чем распределение нагрузки между двумя ИБП, которые всегда работают с нагрузкой менее 50 %, что влечет за собой потери электроэнергии, уходящей в тепло. К тому же это тепло надо выводить из помещения, а значит, электроэнергия расходуется еще и на кондиционирование. Поэтому следует выбирать новейшие модели ИБП с более высоким КПД в самом широком диапазоне мощностей. В новейших разработках ведущих производителей при уровне нагрузки от 0,3 до 1 этот показатель изменяется в пределах 0,5–1 % [4].

Потери на тепло в проводниках, кабельных трассах, распределительных щитах, блоках распределения (PDU) достаточно малы, однако и ими не стоит пренебрегать. Длина магистралей силовых кабелей должна быть заранее минимизирована. Кроме того, не стоит увлекаться нагрузкой с питанием от 48В – при таком низком напряжении потери тепла в проводах заметно выше.

Следует избегать перекоса фаз. Для этого нужно осуществлять централизованный мониторинг баланса фаз, а также отслеживать нагрузку по фазам непосредственно в стойках. Эти же меры снизят вероятность сбоя оборудования в результате перегрузки. По возможности рекомендуется использовать трехфазную нагрузку [5].

Оптимизация использования периферийного оборудования

По аналогии с совместным использованием рабочей группой дорогостоящего вспомогательного ПО, добиться оптимизации ресурсов возможно при помощи «обобществления» периферийных IT-устройств – принтеров, плоттеров, сканеров, факсов и т. п. С появлением сетевого интерфейса у периферийных устройств (прежде всего у принтеров), их совместное использование стало офисным стандартом. Теперь принтер не нужно обязательно подключать к какому-то компьютеру или выделенному принт-серверу. Он подключается напрямую в локальную сеть и доступен всем её пользователям.

Совместное использование периферийных устройств позволяет выровнять рабочую нагрузку между ними, повысить доступность дефицитных периферийных устройств (например плоттер или цветной лазерный принтер может быть в компании в единственном числе). В случае поломки принтера в вашем кабинете, вы всегда сможете распечатать документ на принтер в соседнем кабинете. Помимо этого, обобществление периферийных устройств помогает сократить их необходимое количество в организации по чисто психологическим и социальным причинам. Раньше практически каждый сотрудник просил себе отдельный персональный принтер, потому что «у коллеги же уже есть, чем я хуже», наличие устройства на рабочем столе подчеркивало его статус в коллективе. Сейчас принтер становится таким же общим оборудованием, как кулер с водой или холодильник – чаще всего достаточно одного принтера на одну комнату. Как вы уже догадались – уменьшение количества периферийных устройств позволит сократить затраты на расходные материалы и обслуживание [6]. Кроме того у «больших» печатающих устройств стоимость 1 копии получается значительно дешевле, что дает дополнительную экономию, если например заменить 10 персональных принтеров на один мощный принтер рабочей группы.

Заключение

Другим способом оптимизировать затраты на периферийные устройства стал переход от использования отдельных периферийных устройств к использованию МФУ – многофункциональных периферийных устройств. МФУ включает в свой состав печатающее устройство, сканер и модем, позволяя объединять в одном корпусе функции принтера, копировального аппарата, сканера и факса. Добавляя сюда сетевой интерфейс, получаем экономичное и универсальное офисное решение для рабочей группы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Видяев И.Г. Основные инструменты регулирования социально-экономического развития территорий // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – № 6 (315). – С. 13-17.

2. Монастырный Е.А., Видяев И.Г. Структурная модель социальной сферы // Экономика и управление. – 2007. – № 4. – с. 172-175.

3. Видяев И.Г. Комплексная модель региональной системы инновационного типа // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – № 6 (312). – с. 24-27.

4. Мартюшев Н.В., Синогина Е.С., Шереметьева У.М. Система мотивации студентов высших учебных заведений к выполнению научной работы // Вестник Томского государственного педагогического университета = Tomsk State Pedagogical University Bulletin. – 2013. – № 1. – с. 48-52.

5. Yakovlev A.N., Kostikov K.S., Martyushev N.V., Shepotenko N.A., Falkovich Yu.V. Institute of high technology physics experience in masters of engineering and doctoral training: the platform for cooperation with russian and international companies in the domain of material science and physics of high energy systems // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – № 11-3 (55). – с. 261-263.

6. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. MATERIALS AND ENGINEERING SCIENCE (УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 2. – С. 126-127.

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ

Гаврикова Н.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Интегрированная система менеджмента (ИСМ) представляет собой совокупность нескольких систем менеджмента, внедренных на предприятии, управление которыми осуществляется совместно.

В последнее время многие организации, ставящие перед собой цели повышения эффективности использования ресурсов, внедряют ИСМ.

Наиболее распространенными составляющими ИСМ организации являются:

1. Система менеджмента качества, соответствующая МС ИСО 9001;
2. Система экологического менеджмента, соответствующая ИСО 14001;
3. Система менеджмента охраны труда и производственной безопасности, соответствующая OHSAS 18001 (ГОСТ 12.0.230-2007),

Ресурсоэффективность в системах менеджмента качества обеспечивается за счет совокупности организационной структуры, методик и процессов, направленных напостоянное улучшение деятельности и повышение конкурентоспособности организации на отечественном и мировом рынках. Эта система призвана повышать степень удовлетворенности потребителей путем повышения качества производимой продукции. Эта задача решается не за счет тотального контроля, а за счет стабилизации уровня качества всех процессов организации – минимизации сбоев в работе, приводящих к ошибкам. Причиной брака всегда являются неправильные действия.

Повышение ресурсоэффективности при внедрении системы менеджмента качества обеспечивается за счет:

- Повышения эффективности использования трудовых ресурсов за счет четкого распределения полномочий и ответственности, регулирования взаимодействий между подразделениями и исполнителями;
- Повышение эффективности использования основных фондов и материальных ресурсов за счет уменьшения непроизводительных затрат путем исключения брака, производственных потерь, рекламаций.

Система экологического менеджмента, в свою очередь, обеспечивает основу для повышения эффективности экологической ответственности. Часто, базой для создания такой системы выступают системы менеджмента качества.

Согласно определению ISO 14001, система экологического менеджмента – это составная часть системы менеджмента, в которой организационная структура, планирование деятельности, распределение обязанностей и ответственности и другие действия, направлены на совершенствование политики организации или предприятия в области экологии.

Цели, которые стоят перед внедряемой системой экологического менеджмента ISO 14001, следующие:

- Снижение негативного воздействия предприятия на окружающую среду;
- Рост экологической эффективности работы предприятия;
- Снижение образования отходов, квалифицированная переработка отходов.

Система OHSAS внедряется с целью создания безопасных и здоровых условий труда и обеспечивает базовый подход, позволяющий организации последовательно идентифицировать и контролировать риски для здоровья и безопасности, снижать вероятность несчастных случаев, соответствовать законодательным нормам и повышать общую эффективность работы.

Основа системы менеджмента – определение и управление рисками в области профессионального здоровья и производственной безопасности с целью улучшения показателей организации в этой области.

В OHSAS 18001 содержатся определения основных понятий. Так "опасность" определяется как "элемент деятельности компании, источник или ситуация, которая потенциально может: нанести вред человеку или привести к ухудшению здоровья, нанесению ущерба собственности, производственной среде или сочетание всего перечисленного", а "риск" – как "сочетание вероятности и последствий конкретного опасного случая". Определение опасностей и оценка рисков в области профессионального здоровья и безопасности – это инструмент для:

- оценки возможных потерь компании или организации, связанных с аварийными ситуациями и инцидентами, травмами и профессиональными заболеваниями;
- определения контрольных точек – наибольших рисков и приоритетных направлений для постановки целей, планирования и вложения средств компании в самые важные и проблемные сферы;
- предупреждения аварийных ситуаций, а также оперативного и результативного реагирования в случае аварий [1].

В соответствии популярной сегодня концепцией Устойчивого развития общества, при планировании и реализации проектов по повышению ресурсоэффективности, необходимо сохранять баланс между

экономической, социальной и экологической эффективностью. На наш взгляд, интегрированные системы менеджмента являются единственным инструментом, позволяющим комплексно подойти к вопросу ресурсоэффективности и обеспечения баланса этих трех составляющих. Так, экономическая эффективность обеспечивается за счет управления качеством продукции и обеспечением результативности процессов организации, социальная – за счет обеспечения здоровья и безопасности персонала, экологическая – за счет управления экологическими рисками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеркалов Д.В. Безопасность труда в сфере охраны здоровья (Электронный ресурс) Монография. К.: Основа, 2011
2. ГОСТ 12.0.230-2007. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования. .[Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.rgost.ru/
3. ГОСТ ISO 9001-2011. Системы менеджмента качества. Требования .[Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.rgost.ru/
4. ГОСТ Р ИСО 14001 – 2007. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению .[Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.rgost.ru/

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОВЕДЕНИЮ ЭНЕРГОАУДИТА

Видяев И.Г.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Сегодня многие аудиторы при проведении обследования предприятия на определение потенциала потребления энергоресурсов руководствуются Федеральным законом Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1]. Данный закон четко регламентирует данный процесс, однако не содержит конкретного алгоритма проведения данной процедуры, описывающей каждый конкретный шаг аудитора. В связи с чем при проведении энергоаудита многие оценочные предприятия вынуждены самостоятельно додумывать не которые свои действия.

В рамках нашей статьи постараемся выразить нашу точку зрения на проведение энергоаудита.

Под энергоаудитом будем понимать обследование предприятий, организаций и отдельных производств по их инициативе с целью определения возможностей экономии потребляемой энергии и помощи предприятию в осуществлении экономии на практике путем внедрения механизмов энергетической эффективности, а так же с целью внедрения на предприятии системы энергетического менеджмента.

Основной целью энергетического аудита является поиск возможностей энергосбережения и помощи субъектам хозяйствования в определении направлений эффективного энергоиспользования.

Достижение данной цели становиться возможным при соблюдении четкой последовательности действий, т.е. методики, которую мы опишем чуть ниже. Основу этой методики проведения энергоаудита образует структура его проведения, которая представляет собой совокупность методов, используемых при проведении аудита и образующих алгоритм реализации этого процесса.

Структурно это можно выразить через следующую последовательность:

Шаг 1. Мотивация проведения энергоаудита.

Каждый из шагов представляет собой этап, характеризующийся набором аналитических инструментов, позволяющих ответить на поставленные вопросы в рамках его. Для первого этапа данный перечень вопросов имеет следующий вид:

Чем определяется потребность в проведении энергоаудита?

Кто заинтересован в энергоаудита?

Кто не заинтересован в энергоаудита?

Шаг 2. Определение целей и задач энергоаудита

В рамках второго этапа перечень вопросов имеет следующий вид:

Что будет объектом энергоаудита?

Каковы цели и энергоаудита?

Как будут использоваться результаты энергоаудита?

Каковы возможные результаты энергоаудита?

Шаг 3. Планирование энергоаудита. Разработка структуры энергоаудита

Для третьего этапа данный перечень вопросов имеет следующий вид:

Кто является заказчиком (пользователем) энергоаудита и ее исполнителем?

Какие поставлены вопросы анализа– параметры – индикаторы?

Каковы методы проведения энергоаудита?

Какие данные необходимы?

Каковы сроки проведения энергоаудита?

Какова форма отчетности?

Ресурсное обеспечение энергоаудита?

Шаг 4. Сбор данных

Для четвертого этапа данный перечень вопросов имеет следующий вид:

Каковы виды и объем информации?

Каковы механизмы сбора?

Каковы источники информации?

Шаг 5. Анализ данных.

В рамках пятого шага проведения энергоаудита необходимо найти ответ только на один вопрос: каковы методы проведения энергоаудита? Ответ на данный вопрос содержится в федеральном законе [1].

Шаг 6. Подготовка отчета об энергоаудите.

Эффективность шестого этапа напрямую сказывается на результаты деятельности аудитора. Насколько правильно он сделает выводы и преподнесёт их в рамках отчета зависит, в конечном счете, деятельность промышленного предприятия по снижению энергоэффективности производства. Поэтому отчет должен содержать объективную, однозначно трактуемую информацию. Для достижения этого в рамках данного этапа необходимо ответить на следующие вопросы:

Каков формат отчета?

Содержательные акценты отчета

Каковы выводы энергоаудита и рекомендации?

Ответы на эти вопросы позволит правильно преподнести результаты аудита заказчику.

Шаг 7. Использование результатов энергоаудита связано с ответами на следующие вопросы:

Направления анализа итогов энергоаудита

Что делать дальше?

План дальнейших действий

Реализация данного этапа целиком и полностью ложится на «плечи» руководства организации заказавшей энергоаудит. Однако именно провал при внедрении результатов энергоаудита часто списывается на некорректно составленный отчет энергоаудитора. Поэтому для аудитор очень важно провести, пусть и сторонний, контроль внедрения результатов его деятельности на предприятии-заказчике.

К сожалению, в рамках данной статьи нам не удастся глубоко прописать процедуры каждого из этапов, поэтому это мы сделаем в других наших работах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»

ПРОГРАММНО-ЦЕЛЕВОЙ МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Гаврикова Н.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Планирование является основой организационного и экономического развития предприятия. Задача обеспечения ресурсоэффективности функционирования требует слаженной работы всех структурных подразделений предприятия, а планирование позволяет разработать комплекс средств и методов, обеспечивающих разработку и внедрение инструментов повышения ресурсоэффективности.

Планирование повышения ресурсоэффективности может осуществляться с использованием программно-целевого метода планирования, который представляет из себя процесс выработки не единого, а совокупности разнообразных, разнохарактерных решений, принимаемых на разных уровнях управления, но тесно связанных между собой для достижения цели повышения эффективности использования ресурсов организации.

Результатом такого планирования является программа повышения ресурсоэффективности.

Традиционно, процесс формирования программы включает в себя следующие этапы:

1. Оценка и выбор проблем, для которых будут разрабатываться мероприятия программы
2. Формирование и оптимизация мероприятий
3. Организация системы управления мероприятиями программы
4. Координация и контроль выполнения работ по программе.

Рассмотрим в общих чертах содержательную структуру программы ресурсоэффективности предприятия:

Целевой блок содержит целевые значения по повышению эффективности использования отдельных видов ресурсов предприятия и

подцели на разных уровнях системы управления организацией. Этот блок формулирует поставленные перед программой цели и ожидаемые результаты от реализации программы.

Функциональный блок программы представляет собой комплекс взаимоувязанных по срокам и содержанию мероприятий, реализация которых в комплексе обеспечивает достижение, указанных в целевом блоке, целей программы. Все мероприятия программы условно можно разделить на две группы: основные, непосредственно обеспечивающие повышение ресурсоэффективности предприятия и вспомогательные, реализация которых необходима для осуществления основных.

Исполнительный (адресный) блок программы формируется для согласования мероприятий программы с учетом задействованных исполнителей подразделений предприятия, участвующих в реализации программы ресурсоэффективности, и их загрузки.

Ресурсный блок характеризует общую потребность программы в ресурсах. Т.е. данный блок включает объемы и виды материальных, трудовых, информационных, финансовых ресурсов, необходимых для реализации программы, и источники, из которых они могут быть привлечены.

Такими источниками ресурсов для обеспечения программы повышения ресурсоэффективности могут выступать:

- собственные источники: амортизационные отчисления, прибыль, остающаяся в распоряжении предприятия, средства от реализации активов, акционерный капитал;
- заемные источники: банковские кредиты;
- Лизинговые инвестиции: финансовый, оперативный и возвратный лизинг.

Организационный блок программы описывает особенности и порядок ее разработки, состав и ответственность задействованных в реализации программы специалистов организации. Организационный блок содержит планы реализации программы.

Очевидно, что ключевым разделом программы повышения ресурсоэффективности является ее функциональный блок, представленный совокупностью мероприятий программы, каждое из которых направлено на ресурсосбережение и ресурсоэффективность в отношении отдельных процессов организации/видов ресурсов.

Мероприятия организационного блока программы повышения ресурсоэффективности могут формулироваться по следующим направлениям:

- научные исследования и разработки, проведение экспериментов, испытаний, ведение разработок, направленных на повышение

ресурсоэффективности производства и эксплуатации продукции предприятия;

- строительство новых производственных объектов, техническое перевооружение, модернизация, реконструкция действующих объектов, направленная на повышение эффективности использования экономических ресурсов, необходимых для реализации производственных процессов предприятия: материальных и энергетических ресурсов, основных фондов, трудовых ресурсов;
- реализация новых управленческих технологий, направленных на оптимизацию использования тех или иных видов экономических ресурсов предприятия;
- закупка сырья, материалов, оборудования, услуг, информации, необходимых для повышения ресурсоэффективности;
- обеспечение потребностей участников программы повышения ресурсоэффективности в обучении и повышении квалификации.

Условием включения тех или иных мероприятий в программу повышения ресурсоэффективности является коммерческая эффективность мероприятия.

Показатели коммерческой эффективности мероприятия учитывают финансовый результат его осуществления для предприятия. Они в целом характеризуют с экономической точки зрения целесообразность технических, технологических и организационные решений. Расчет коммерческой эффективности позволяет осуществить выбор из технически равнозначных вариантов мероприятий для включения в программу.

Таким образом, главная проблема, на решение которой должно быть направлено внимание при планировании повышения ресурсоэффективности деятельности предприятия является выбор наиболее приемлемого с точки зрения всех заинтересованных сторон варианта. Критериями, которыми необходимо руководствоваться при выборе оптимального варианта, являются: обеспечение экономической эффективности на условиях максимизации показателей эффективности использования всех видов экономических ресурсов предприятия.

Учет всех этих факторов возможен только при условии комплексного подхода к повышению ресурсоэффективности: рассмотрения процесса планирования ресурсоффективности с позиций программно-целевого метода, обеспечивающего согласованность целей, мероприятий, исполнителей и ресурсов программы повышения ресурсоэффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дульзон А.А., Ушаков В.Я., Чубик П.С. Ресурсоэффективность - основа устойчивого развития цивилизации// Известия ТПУ. 2012 №6. С.39-46.

2. Янковская В.В. Планирование на предприятии: Учебник./ В.В. Янковская. - М.: ИНФРА-М, 2012. - 184 с.

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ В МЕТАЛЛУРГИИ

Видяев И.Г.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Процесс оценки любого объекта имеет четкую последовательность действий, которые необходимо совершить для того, чтобы измерить состояние объекта или получить представление об изменении его состояния. Данная последовательность действий называется алгоритмом оценки объекта. Для оценки ресурсоэффективности в металлургии данная последовательность действий включает в пять этапов.

1. Формирование оценочной команды
2. Выбор продукта
3. Анализ цепочки создания добавленной стоимости продукта
4. Оценка текущего состояния продукта
5. Разработка рекомендаций по совершенствованию эффективности использования ресурсов при изготовлении и эксплуатации продуктов

Шаг 1: Формирование оценочной команды

Команда должна быть организована на ранней стадии. В случае с малым бизнесом, команда может состоять только из директора и одного или двух сотрудников. В крупных металлургических предприятиях, необходимо включить представителей разных подразделений организации, таких как научные исследования и разработки, обслуживание потребителей, производства, охраны окружающей среды, здоровья и безопасности, закупки и транспортировки и т. д. Важно выбрать не только тех сотрудников, которые компетентны в разработке продукта, инноваций, производства и маркетинга процессов, но и тех сотрудников, которые несут ответственность за реализацию и знают внутренние процессы управления очень хорошо. Кроме того, точки зрения потребителя должна быть интегрирована в работу команды [2].

Шаг 2: Выбор продукта металлургического производства

Для того, чтобы решить, какой продукт металлургического производства следует улучшить, нужно провести сравнение нескольких информационных продуктов, которые производятся организацией, или несколько концепций продуктов, которые собираются изготавливать, с той целью, чтобы выбрать из них менее ресурсосберегающий. Анализ и сравнение экономических и технических характеристик отдельных видов продукции позволяет провести оценку сравнительной эффективности информационных продуктов и уточнить, какой продукт наиболее подходит для начала совершенствования.

Оценку продуктов проводят экспертным методом с помощью оценочных карт [4. Данный метод позволяет быстро проводить оценку товара, но его точность не высока. Для того, чтобы избежать этой проблемы рекомендуется привлекать больше специалистов из различных структурных подразделений организации, занимающихся разного видами деятельности. По этому эффективность данного шага на прямую зависит от того, насколько серьезно отнеслось дирекция организации и руководитель команды к подбору в нее специалистов.

Критерия для сравнения подбираются исходя выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

После анализа с помощью суммарных оценок, полученных в оценочной карте, выбирается менее ресурсоэффективный информационный продукт или услуга, который в дальнейшем будет выступать в качестве объекта исследования эффективности использования ресурсов при его изготовлении.

Шаг 3: Анализ цепочки создания добавленной стоимости продукта

Команда может достичь общего и целостного понимания информационного продукта (услуги) необходимо прости анализ не только его конструкторских особенностей, но и технологических аспектов его изготовления. Осуществить это возможно с помощью подхода, предложенного М. Портером, по изучению цепочки формирования ценности (стоимости). Данный подход позволяет выделить все процессы создания, распространения и эксплуатации информационной технологии или системы и определить, где формируется самая большая добавленная стоимость при изготовлении, распространении и эксплуатации информационного продукта, и относительную важность различных процессов и действующих лиц, ответственных за эти процессы, на каждом из этих этапов [1].

Полученная с помощью выделения процессов общая картина изготовления и реализации продуктов металлургии дает возможность получить целостное представление о текущей производительности

(ресурсоэффективности) продукта и величине затрат на различных этапах его жизненного цикла. Обзор процессов и деятельности по всей цепочке создания добавленной стоимости позволяет определить наиболее затратные этапы и, следовательно, выявить возможности для применения ресурсосберегающих технологий.

Шаг 4: Оценка текущего состояния продукта

На этом этапе целью является получение общего представления о текущей ресурсоемкости продукта. Это является хорошей основой для определения общих возможностей для улучшения. Для этого разрабатывает оценочная карта, аналогичная той, которую рассматривали на втором шаге [3].

Шаг 5: Разработка рекомендаций по совершенствованию эффективности использования ресурсов при изготовлении и эксплуатации продуктов.

В рамках данного этапа осуществляется выработка рекомендаций по повышению ресурсоэффективности при изготовлении и использовании продуктов в соответствии с определенными целями руководством организации.

Рекомендации по использованию результатов оценки должны строго соответствовать выводам, сделанным командой, являться их логическим продолжением. Они могут касаться различных аспектов ресурсоэффективности информационного продукта (услуги) или общих условий, в которых будет совершенствоваться продукт. Рекомендации могут носить как общий характер (изменение концепции информационного продукта, введение новой технологии его изготовления и т. д.), так и более частный характер (совершенствование отдельных составляющих информационного продукта, изменение отдельных подходов к предоставлению услуги и т. д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Демьянова О.В. Добавленная стоимость как элемент эффективности региональной экономической системы // Проблемы современной экономики. – 2010. − №1 (33).

2. Lettenmeier M. Recourse productivity in 7 steps. How to develop eco-innovative products and services and improve their material footprint / Lettenmeier M., Rohn H., Liedtke C., Schmidt-Bleek F. – Hitzegrad, 2009. – 60 p.

3. Видяев И. Г. , Ивашутенко А. С. , Мартюшев Н. В. Основные показатели оценки эффективности использования ресурсов литейного производства [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и

образования. - 2013 - №. 5. - С. 1-6. - Режим доступа: http://www.science-education.ru/111-10147 [8428-2013]

4. Видяев И. Г. , Мартюшев Н. В. , Ивашутенко А. С. Алгоритм оценки ресурсоэффективности систем в литейном производстве [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. - 2013 - №. 5. - С. 7-11. - Режим доступа: http://www.science-education.ru/111-10240

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕЙ ОБМЕНА ДАННЫМИ И ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ

Мартюшев Н.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

Современные IT-системы невозможно представить без обмена данными посредством локальных и глобальных сетей. Часто пропускная способность сети (возможность передать некий объем данных за короткое время) является критически важным параметром IT-системы. Это особенно характерно для территориально распределенных компаний, или компаний, в которых сотрудники много работают вне офиса. Такие организации, чтобы не затормаживать бизнес-процессы, вынуждены создавать или арендовать каналы передачи данных с «запасом прочности» пропускной способности сети. Однако, обычно большую часть времени такой дорогостоящий канал используется не оптимально – как правило он не загружен. Как показывает практика, для того, чтобы риск перегрузки канала связи оказался минимальным, его средняя загрузка не должна превышать 15-20 % [1]. Сетевые администраторы считают такие условия наиболее подходящими для хорошей работы канала, но, по мнению экономистов, этот подход разорителен для компаний.

Выходом из такой ситуации могут служить различные технологии оптимизации сетевого трафика (данных, передаваемых по сети), позволяющие уменьшить стоимость владения каналами передачи данных: наиболее популярная из них – технология QoS – «Quality of Service» [2]. Эта технология предоставляет различным классам трафика различные приоритеты в обслуживании. Таким образом приоритетный трафик (например IP-телефония) передается с высшим приоритетом, трафик корпоративной информационной системы передается со средним приоритетом, а трафик любителей побродить по Интернету получает

низший приоритет. Чтобы разделять различные классы трафика, в полях заголовков пакетов различных сетевых протоколов (Ethernet, IP, ATM, MPLS и др.) присутствуют специальные поля, выделенные для маркирования трафика.

Метод адаптивной компрессии (Adaptive Packet Compression) трафика поддерживает различные алгоритмы сжатия информации для обработки данных форматов данных (TXT, HTML, PDF и ряда других). Они в реальном времени сжимают пакеты трафика в точке входа и возвращают их к первоначальному виду в точке выхода. Таким образом передаваемый трафик становится значительно меньше по объему, что позволяет увеличить скорость передачи данных.

Метод селективного кэширования («selective caching») анализирует информацию в поле данных пакета данных. В случае повторения ранее переданных данных по каналу связи, вместо пакета данных передается соответствующая командная метка. А на выходе из канала эта метка заменяется таким же пакетом из ранее переданного трафика. Таким образом, Selective Caching в масштабе реального времени принимает решение – есть ли необходимость в передаче пакета.

Действенным методом повысить эффективность работы канала является контроль производственной необходимости трафика. Не секрет, что сотрудники используют компьютеры на работе не только в служебных целях, а в том числе и для развлечения. Перекачивание фильмов, просмотр «прикольных» роликов всем отделом, присутствие в социальных сетях – эти и другие источники паразитного трафика должны быть взяты под контроль и, либо вообще запрещены административными и техническими мерами, либо такому трафику должен быть присвоен наиболее низкий приоритет.

В современной организации расходуется масса бумаги на печать внутренних документов. Обычно они печатаются для всех заинтересованных лиц, каждая рабочая версия документа может потребовать перепечатывания и повторного распространения документа. Переход от бумажного делопроизводства к электронному формату позволяет сократить временные затраты сотрудников на обработку и распространение документов, а так же сократить расходы на бумагу и расходные материалы для множительной техники.

Как же работает документооборот? В любой организации документооборот либо есть, либо его нет [3]. Если организация может существовать в условиях неформального управления («начальник сказал – сделали»), то, очевидно, никакого документооборота в ней не требуется. Если же вводится определенный формализм в управлении компанией и в организации всевозможных деловых процессов (бизнес-процессов), то

рано или поздно возникает необходимость хотя бы часть управленческих механизмов переводить на упорядоченную документационную основу (например, собирать визы в договоре, регистрировать входящие и исходящие письма, чтобы потом можно было найти концы, и т. д.). Другой причиной возникновения документооборота могут стать требования законодательства по формированию документации (например в торговле между юридическими лицами). В результате возникает документооборот.

Если им не управлять, то через некоторое время начинаются проблемы. Например, теряются документы, а потом, когда надобность в них отпадает, они обнаруживаются на своем обычном месте. Или руководитель подписывает договор, в котором указана неверная сумма и вдобавок нет визы сотрудника, непосредственно отвечающего за его выполнение. Ситуации, знакомые практически всем. Очевидно, что, наводя порядок, руководители компаний находят организационные решения тех или иных проблем документооборота, примерно соответствующие уровню задач каждой компании. Часто придумывают разумную схему размещения файлов на сервере, чтобы документы все же можно было найти, и используют электронную почту как базовое средство передачи документа на согласование и для контроля исполнения. Однако эти частичные меры работают только до определенного момента. Дальше, когда компания ставит перед собой все более сложные задачи и вдобавок растет в размерах, таких средств хранения информации, обеспечения взаимодействия и контроля выполнения поручений начинает не хватать. Здесь и способна помочь система электронного документооборота (СЭД).

Нам в рамках курса по изучению средств повышения ресурсоэффективности в первую очередь волнует вопрос об экономической эффективности использования систем электронного документооборота. Говоря об эффективности, будем рассматривать эффективность как достигаемый результат деятельности, отнесенный к затратам на его достижение (Эффективность = Результат/Затраты). Хорошие системы электронного документооборота позволяют оптимизировать оба операнда этой формулы. Образно говоря, внедрение СЭД дает организации возможность меньше тратить и больше зарабатывать.

Итак, факторы, способствующие снижению затрат: сокращение затрат на бумажные документы, их печать и распространение; сокращение непроизводительных затрат рабочего времени сотрудников ; ускорение информационных потоков; рост эффективности бизнес-процессов.

Для оценки возможного экономического эффекта от внедрения системы электронного документооборота необходимо знать, какое время сотрудники организации тратят на выполнение рутинных,

непроизводительных операций над документами. Согласно оценкам западных консалтинговых компаний, доля таких операций может составлять до 20-30 % всего рабочего времени [4]. Каждый, кто хоть раз пытался согласовать какой-либо документ в российских бюрократических организациях, знает, что на это может уйти и 60 и 70 % рабочего времени. Достаточно точное представление о таких затратах можно получить, проведя исследование существующего документооборота и измерив соответствующие показатели.

Сокращение временных затрат при обработке внешних документов позволяет получить значительное конкурентное преимущество и заметный экономический эффект. Допустим торговое представительство при бумажной организации работы способно принять в день в среднем 30 заказов, а время обработки одного заказа составляет примерно 5 дней. Увеличив за счет внедрения СЭД объем обработанных документов и повысив скорость их обработки, компания получит прямую экономическую прибыль, избежит штрафов за срыв сроков выполнения контрактов, уменьшит количество разочарованных клиентов и потенциальных сделок, оказавшихся не реализованными из-за нежелания просидеть в очереди слишком долго [5, 6].

Заключение

Еще один фактор, играющий на стороне СЭД, появился с переносом деловой активности в интернет. Электронная почта, сайты, позволяющие взаимодействовать с партнерами, интернет-магазины, информационные порталы и базы данных документов оперируют электронными носителями информации. Если в организации принят бумажный документооборот, потребуется переводить электронный документ в бумажный вид на входе в организацию и обратно в электронный – на выходе из неё. Поэтому СЭД способна привести документооборот в соответствие с современным реалиям бизнес-среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Монастырный Е.А., Видяев И.Г. Оценка взаимного влияния социальной и инновационной систем региона // Экономика и управление. – 2009. – № 2.5. – С. 40-46.

2. Монастырный Е.А., Видяев И.Г. Методические подходы к моделированию социально-экономической системы региона // Экономика и управление. – 2008. – № 1. – С. 64-68.

3. Мартюшев Н.В. Программные средства для автоматического металлографического анализа // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 79-79.

4. Видяев И.Г. Комплексная модель региональной системы инновационного типа // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – № 6 (312). – с. 24-27.

5. Мартюшев Н.В., Синогина Е.С., Шереметьева У.М. Система мотивации студентов высших учебных заведений к выполнению научной работы // Вестник Томского государственного педагогического университета = Tomsk State Pedagogical University Bulletin. – 2013. – № 1. – с. 48-52.

6. Yakovlev A.N., Kostikov K.S., Martyushev N.V., Shepotenko N.A., Falkovich Yu.V. Institute of high technology physics experience in masters of engineering and doctoral training: the platform for cooperation with russian and international companies in the domain of material science and physics of high energy systems // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – № 11-3 (55). – с. 261-263.

СИСТЕМА ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА ПРЕДПРИЯТИЯ, КАК ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Гаврикова Н.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Актуальной проблемой промышленности, на сегодняшний день, является повышение энергоэффективности, снижение удельного веса затрат на энергоресурсы в себестоимости продукции.

Практика современного технологического развития показала, что снижение энергоёмкости продукции основано на внедрении современных технологий и стандартов энергоменеджмента. Повышение уровня энергоэффективности – это не только техническая проблема, требующая технологических решений, но и управленческая проблема. Для решения этой управленческой проблемы разработан международный стандарт ISO 50001:2011.

Международный стандарт ISO 50001 устанавливает требования по внедрению, поддержанию и улучшению системы энергоменеджмента, которая позволит организациям применять системный подход к непрерывному повышению энергопараметров, энергоэффективности и энергосбережению [3], что позволяет снизить себестоимость производимой продукции.

Стандарт ориентирован на организации, которые стремятся гарантировать соответствие деятельности собственной энергополитике и

заинтересованы в демонстрации этой способности заинтересованным сторонам.

Часть требований стандарта ИСО 50001 является менеджерскими (обращенными к управленческому персоналу, в том числе к высшему руководству организации, т.е. ее топ-менеджменту), часть требований носит технический характер и адресована к техническому персоналу.

Основная идея решения управленческой проблемы повышения уровня энергоэффективности заключается в последовательном применении системного подхода к энергоменеджменту. Таким образом, дополнительные возможности повышения уровня энергоэффективности могут быть получены на основе применения стандартной методологии PDCA (Plan-Do-Check-Act), свойственной всем хорошо известным международным стандартам (ISO 9001, 14001 и др.).

Внедрение системы энероменеджмента осуществляется в несколько этапов:

На первом этапе, после принятия решения о внедрении системы энергоменеджмента, проводится диагностика уже применяемой в организации системы энергоснабжения и энергопотребления или так называемый первичный (диагностический, оценочный) энергоаудит. Критериями такого аудита являются требования стандарта ISO 50001, законодательные требования в области энергосбережения и энергоэффективности.

На втором этапе осуществляется повышение квалификации персонала организации, причем не только персонала энергослужб, но и других подразделений. Это связано стем, что часть требований стандарта ИСО 50001 является менеджерскими (обращенными к управленческому персоналу), часть требований носит технический характер и адресована к техническому персоналу. Обучение проводится с целью подготовки руководителей и специалистов, составляющих рабочую группу внедрения, для их эффективного участия в этом процессе, а так же обеспечения понимания ими требований стандарта и определения ответственности и полномочий персонала при внедрении и функционировании системы энергоменеджмента.

На третьем этапе осуществляется внедрение ключевых элементов системы энергоменеджмента. Основой для внедрения может стать интегрированная система менеджмента: системы менеджмента качества (ISO 9001), экологии (ISO 14001), профессионального здоровья и безопасности (OHSAS 18001), действующая внутренняя регламентирующая документация (документированные процедуры, стандарты, регламенты, инструкции и т.п). Общая структура требований к различным системам менеджмента совпадает, что делает возможным при

внедрении системы энергоменеджмента внести дополнения в существующие документы, не разрабатывая новых.

К числу основных требований в системе энергоменеджмента относится создание и реализация механизмов:

- Энергетической политики, которую разрабатывает высшее руководство организации;
- Целей и задач в области энергоменеджмента;
- Планов реализации целей и задач;
- Обеспечения ресурсов и полномочий Представителю руководства и группе сотрудников организации, ответственных за внедрение энергоменеджмента;
- Периодического энергоанализа организации;
- Установления Базовой(ых) линии(й) энергопотребления;
- Установления индикаторов энергоэффективности, которые разрабатываются для конкретной организации и, в совокупности с базовой линией, позволяют оценить изменения в энергопотреблении;
- Операционного контроля и процедуры в части существенного энергопотребления;
- Измерения и документирования в части энергоменджмента;
- Периодического анализа системы со стороны руководства.

На заключительном этапе в организации может быть проведен еще один аудит – так называемый пред-сертификационный, позволяющий оценить готовность системы энергоменеджмента к сертификации. Основным результатом этого аудита являются рекомендации по доработке системы в целом или отдельных ее элементов. Рекомендации могут касаться как доработки документации, так и улучшения управленческой практики, включая исполнительскую дисциплину.

В целом внедрение системы энергоменеджмента позволяет организации решить следующие управленческие задачи:

- обеспечить прозрачность и объективность оценки эффективности энергопотребления;
- получать максимальный эффект управления энергопотреблением при минимальных затратах ресурсов, в первую очередь финансовых;
- повысить конкурентоспособность продукции и услуг;
- повысить капитализацию активов организации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ушаков В.Я. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. Я. Ушаков;

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск : Изд-во ТПУ, 2011.

2. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации ". .[Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.garant.ru/

3. IS0 5001:2011 – Energy Management Systems. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.iso.org/

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАГРУЗКИ АППАРАТНЫХ КОМПОНЕНТОВ IT-ИНФРАСТРУКТУРЫ И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ «УМНОГО ДОМА»

Лаптев И.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

Любой электрический компонент IT-инфраструктуры потребляет электричество. Высокопроизводительные компоненты (например серверное, активное сетевое оборудование) потребляют значительно больше электричества и требуют помимо этого постоянную принудительную вентиляцию и специализированное охлаждение. Поэтому одно из самых интуитивно понятных и простых в реализации направлений ресурсоэффективности в IT – избегание непроизводительной работы IT-компонентов. Пример: отключение не используемых ночью персональных компьютеров, мониторов, лазерных принтеров, МФУ (которые периодически подогревают печку в ожидании печати), отключение или перевод в «спящий режим» неиспользуемого серверного оборудования и т. д. Для получения устойчивого эффекта отключение оборудования необходимо автоматизировать, поскольку «человеческий фактор» – неизбежный источник потерь (аспекты применения методики на практике обсуждаются в [1]). Примеры: режим работы устройств «день / ночь», запрограммированное отключение и включение IT-устройств, переход в «спящий режим» неиспользуемого оборудования, адаптивные системы охлаждения и вентиляции в серверных помещениях и т. п.

Главный способ автоматизации оборудования –использование электронных систем управления. Такие системы управления помещениями следует разделить на две категории. К первой относятся системы

управления зданием (building management system). Как правило, данные системы имеют централизованное управление и используются в крупных промышленных зданиях или крупных офисных учреждениях. Основная задача данных систем – мониторинг и управление системами жизнеобеспечения (отопление, кондиционирование, безопасность и др.).

Дополнительный эффект после отключения оборудования в нерабочее время может дать оптимизация загрузки аппаратных средств. Даже во время рабочего дня, во время вынужденного простоя, аппаратные средства тем не менее продолжают работать, поэтому сокращение времени непроизводительного простоя оборудования может дать заметный эффект [2]. В исследовательских лабораториях, при использовании дорогостоящих вычислительных комплексов, используется «пакетный» режим работы, когда в обработку отправляется только «пакет» заданий, обеспечивающих полную загрузку вычислительных ресурсов в одном цикле обработки. Для подготовки к работе и калибровки мини-типографии потребуется значительный объем расходных материалов, что не выгодно при малом тираже заданий печати.

«Умным» может быть практически любое здание – от торгового центра или офисного небоскреба, до жилого дома. Автоматизация систем ресурсоснабжения здания (отопление, кондиционирование, освещение, водоснабжение и другие системы жизнеобеспечения) позволяет на порядок повысить эффективность их использования и экологичность жизнедеятельности человека. Например, по данным Министерства энергетики США, в этой стране офисные помещения и жилые дома дают 39 % всех выбросов углекислоты и потребляют 70 % электроэнергии [3]. В ближайшие четверть века, по прогнозу U.S. Green Building Council, выбросы углеводородов в связи с функционированием офисных центров будут расти быстрее, чем в любом другом секторе американской экономики.

Так какие же технологии позволяют назвать здание «умным» в области эффективного использования ресурсов:

Точное измерение показателей расходования ресурсов при помощи микродатчиков (smart dust – «умная пыль»), беспроводных и проводных IP-сетей, получаемое в режиме on-line, позволяет выявлять зоны и периоды неоптимальности в работе ресурсоснабжающих систем (датчики температуры, освещенности, счетчики и т. д.).

Автоматизированные вентили, выключатели, регуляторы позволяют гибко настраивать снабжение ресурсами, точно в соответствии с потребностями, позволяя системам жизнеобеспечения доставлять ровно столько теплого или холодного воздуха, сколько нужно, и только в те помещения, куда требуется в тот или иной момент. Например режим «день

/ ночь» позволит отключать неиспользуемое оборудование. Датчики наличия человека в помещении при необходимости автоматически зажигают для посетителя свет, включают оборудование, отопление, вентиляцию и т. д. (рис. 1) Датчики освещенности и гибко регулируемые осветительные приборы могут поддерживать необходимую подсветку комнаты, минимизируя необходимость использования искусственного освещения. В жарком климате автоматические жалюзи предотвратят нежелательный нагрев помещений, а автоматизированная оросительная система позволит оптимально расходовать воду. Адаптирующиеся к сложившимся потребностям в нагреве помещений кондиционеры, вентиляторы, отопительные батареи позволят значительно экономить ресурсы организации, сохраняя оптимальный микроклимат для людей и оборудования [4].

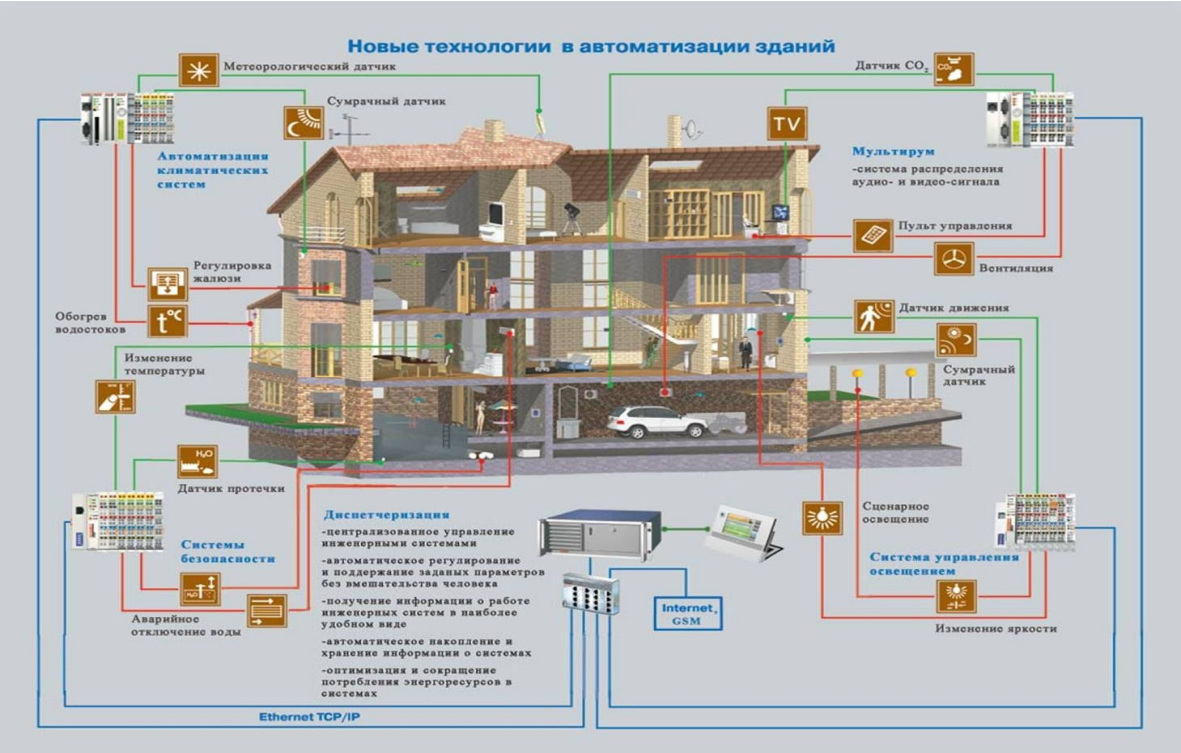


Рис. 1. Пример проекта «умного здания»

Одним из главных преимуществ «умного здания» является интегрированность систем ресурсообеспечения. По наблюдениям аналитиков КПД раздельных систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха вдвое ниже, чем у интегрированных систем [5]. Например в «умном знании» не возможно соревнование «кто круче!» между системой отопления и системой кондиционирования.

Заключение

Использование естественных источников тепла, холода и света позволяет снизить затраты на поддержание необходимых условий в здании. Современные строительные материалы и IT-технологии позволяют строить «дышащие» стены здания, которые изменяют свои свойства (проницаемость для внешнего воздуха, теплопроводность, отражение или поглощение света) в зависимости от состояния внешней среды. Солнечные батареи и ветроулавливающие электрогенераторы на крыше «умного здания» позволяют экономить электроэнергию. Использование внешнего холодного воздуха для охлаждения, а горячего – для нагрева например воды или воздуха в здании так же позволяет экономить ресурсы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Видяев И.Г. Основные инструменты регулирования социально-экономического развития территорий // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – № 6 (315). – С. 13-17.

2. Монастырный Е.А., Видяев И.Г. Структурная модель социальной сферы // Экономика и управление. – 2007. – № 4. – с. 172-175.

3. Видяев И.Г. Комплексная модель региональной системы инновационного типа // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – № 6 (312). – с. 24-27.

4. Мартюшев Н.В., Синогина Е.С., Шереметьева У.М. Система мотивации студентов высших учебных заведений к выполнению научной работы // Вестник Томского государственного педагогического университета = Tomsk State Pedagogical University Bulletin. – 2013. – № 1. – с. 48-52.

5. Yakovlev A.N., Kostikov K.S., Martyushev N.V., Shepotenko N.A., Falkovich Yu.V. Institute of high technology physics experience in masters of engineering and doctoral training: the platform for cooperation with russian and international companies in the domain of material science and physics of high energy systems // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – № 11-3 (55). – с. 261-263.

6. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. MATERIALS AND ENGINEERING SCIENCE (УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 2. – С. 126-127.

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Гаврикова Н.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

За последнее десятилетие реальные цены на сырье увеличились в полтора раза, а введение в хозяйственный оборот новых источников становится все более дорогим. Взаимозависимость между ценами на различные ресурсы приводит к цепной реакции в направлении роста их стоимости, а, обусловленный ростом потребления, экологический кризис создает дополнительную уязвимость для ресурсной базы.

Конфликт между постоянно растущими потребностями экономики и возможностями планеты их удовлетворить, порождает возникновение новых научных и профессиональных исследований в сфере поиска ресурсоэффективных решений.

Безусловно, данные исследования носят межпредметный характер: затрагивают технические, экономические, социальные, экологические проблемы. Соответственно, разработка методов и механизмов оценки ресурсоэффективности, планирования и организации ресурсосберегающих мероприятий, должно затрагивать все эти составляющие.

Рассматривая вопрос повышения ресурсоэффективности как междисциплинарную проблему, можно выделить ряд управленческих технологий, основной целью которых является повышение эффективности использования ресурсов, в частности, концепцию «Бережливое производство».

Основная идея концепции бережливого производства — создание рыночной производственной системы, деятельность которой направлена на удовлетворение клиента и максимальное сокращение при этом всех видов потерь. Целями бережливого производства являются: минимизация затрат и сроков создания продукции, что по сути является инструментом повышения эффективности использования ресурсов организации.

Объектом управления концепции являются потери. Под потерями понимаются:

- Потери, связанные с организацией рабочих мест, приводящие к лишним движениям работников (наклоны, повороты, передвижения);
- Потери, связанные с перемещением материалов;
- Потери, связанные с чрезмерной обработкой, не создающей потребительской ценности;
- Потери, связанные с простоями оборудования и персонала;

- Потери, связанные с перепроизводством и обслуживанием запасов (изготовлением большего количеств продукта, чем требуется потребителем, формирование запасов полуфабрикатов);
- Потери, связанные с управлением браком, излишними отходами и переделками.

Основой системы бережливого производства является принцип «точно в срок», предполагающий минимизацию всех видов запасов за счет планирования по времени перемещений изделий в процессе производства и от поставщиков таким образом, чтобы, на каждый этап процесса партия прибывала для обработки точно в тот момент, когда обработка предыдущей партии завершена. В результате минимизируются потери, связанные с ожиданием обработки, простоями рабочих и оборудования, Следовательно, повышается эффективность использования всех видов экономических ресурсов.

Конечная цель системы - оптимизировать процессы по критериям продолжительности производственного цикла, величины незавершенного производства, запасов материалов, комплектующих и готовой продукции, коэффициентов загрузки оборудования и производительности труда.

Следующим инструментом, на котором базируется концепция Бережливого производства является Всеобщая эксплуатационная система - концепция комплексного управления ремонтами, разработанная в Японии в конце 60- начале 70-х годов в фирме "Ниппон Дэнсо", поставщике электрооборудования для корпорации Тойота. Подход подразумевает, что ответственность за поддержание оборудования в исправном состоянии несут все работники, включая операторов, механиков, менеджеров и инженеров.

Из планового обслуживания выделяются и передаются эксплуатирующему персоналу работы, которые не требуют высокой квалификации и специальной оснастки. Проводится анализ внеплановых работ по обслуживанию, по результатам которого выделяются мероприятия, которые позволят избежать таких работ в будущем. Часть таких мероприятий относится к плановому обслуживанию, а часть к эксплуатационному.

Фактически, речь идет о ресурсоэффективности в отношении производственных мощностей: оптимизации расходов на поддержание их в исправном состоянии за счет сокращения поломок и простоев (в том числе на переналадку), а также повышения производительности и совершенствования оборудования.

Так же инструментом концепции Бережливое производство является система 5S —система организации рабочего места, позволяющая значительно повысить производительность труда персонала, за счет

оптимизации его рабочего пространства: удаления ненужных предметов, рационального размещения инструмента и инвентаря, что в конечном итоге сокращает время на его поиск и снижает продолжительность производственного цикла.

Этапы, составляющие основу 5S (сортировка, рациональное расположение, уборка, стандартизация и совершенствование), являются основой для управления любым продуктивно работающим подразделением.

Таким образом, рассматривая концепцию Бережливого производства с позиции ресурсоэффективности, можно увидеть, что использование данной управленческой технологии позволяет комплексно подойти в реализации принципов русурсоэффективности на производстве: за счет управленческих воздействий повысить эффективность использования материальных и трудовых ресурсов; повысить эффективность использования основных фондов, минимизировать запасы – повысить эффективность использования оборотного капитала, снизить продолжительность технологического процесса при условии повышения качества производимой продукции.

Такой системный подход позволяет обеспечить синергию при назначении и реализации мероприятий, направленных на повышение ресурсоэффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лайкер Дж. К. Дао Toyota. 14 принципов менеджмента ведущих компаний мира: пер. с англ/ Дж.К. Лайкер. - М.: Альпина Бизнес Букс, 2005 – 418 с.

2. Казарин В. Эффективная производственная система в России? Да, это возможно! [Электронный ресурс]. – Режим доступаhttp://www.leaninfo.ru

КАБЕЛИ ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Стасевская А.И.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Ветроэнергетика – является активно развивающимся направлением. Это отрасль энергетики, специализирующаяся на преобразовании кинетической энергии воздушных масс в атмосфере в

электрическую, механическую, тепловую или в любую другую форму энергии.

Прогнозы учёных относительно развития этого направления говорят о том, что доля возобновляемых источников в мировом масштабе энергопотребления может составить к 2030 году до 20–30 процентов. В отличие от ископаемого топлива, энергия ветра практически неисчерпаема, повсеместно доступна и более экологична.

Среди очевидных преимуществ, которыми обладают ветроэнергетические установки, специалисты отмечают, прежде всего:

1) экологическую чистоту,

2) отсутствие необходимости в обеспечении топливом,

3) низкую шумность или вообще бесшумность при работе,

4) автономность ветроэнергетической установки. [1].

Ветроэнергетическая установка представляет собой башню, в верхней части которой расположены турбина и генератор электростанции. Высота башни составляет обычно не более 85 м, однако самая высокая башня имеет высоту 120 м.



Рис.1. Ветроэнергетическая установка

Трансформатор находится либо в верхней части башни (в этом случае вниз идут силовые кабели на напряжение до 35 кВ), либо в нижней части (в этом случае используются низковольтные силовые кабели на напряжение до 2 кВ). В корзине ветроэнергетической установки применяются кабели и провода для внутренних соединений, контрольные кабели и кабели управления с числом жил от 2 до 23, кабели для структурированных систем (LAN-кабели), реже оптические кабели.

Наибольшую сложность с позиции разработчиков кабелей представляет вывод электроэнергии вдоль башни. Дело в том, что в зависимости от направления ветра корзина ветроэнергетической установки может поворачиваться вокруг своей оси, поэтому кабель подвергается кручению, в том числе при отрицательных температурах окружающей среды (до –40° С).

В настоящее время приняты следующие решения. Если трансформатор расположен в нижней части башни, то используются кабели низкого напряжения традиционных конструкций (изоляция и оболочка из поливинилхлоридного пластиката; из сшитого полиэтилена; из материалов, не содержащих галогенов; из этиленпропиленовой резины и резины на основе хлорсульфированного полиэтилена или хлорполиэтилена) [2].

Силовые кабели, используемые в ветрогенераторах должны передавать многоамперный ток, для чего используются токоведущая жила большого сечения. Очевидно, что кабели известных конструкций не удовлетворяют требованиям, предъявляемым условиями их эксплуатации на ветроэнергетических установках, и их неизбежная замена в то или иное время является дорогостоящим мероприятием. Следует конструкция и технические характеристики кабелей должны минимизировать эксплуатационные затраты в течение всего срока службы, а такой срок службы должен составлять минимум 25-30 лет.

В настоящее время могут быть сформулированы следующие требования к кабелям, используемым

в башне ветроэнергетической установки [3]:

- стойкость к закручиванию в диапазоне температур от –40 до +70 .С;
- маслостойкость;
- пожаробезопасность (соответствие стандарту МЭК 60332-1 или выше);
- стойкость к действию коррозионно-активных газов;
- обеспечение в условиях возгорания плотности дыма, не превышающей заданной;

Для разработки конструкции кабеля, оптимальной для ветряных установок, необходимо провести испытания существующих конструкций на соответствие выше сформулированным требованиям. Выбрали кабели с изоляцией оболочки поливинилхлорида (ПВХ), полиэтилена (ПЭ) и термоэластопласта (ТЭП).

В настоящее время проведены механические испытания кабелей с ПВХ изоляцией и оболочкой марки КВВГ на стойкость к механическим нагрузкам, а именно представлены измерения прочности $\sigma_р$ и удлинения при разрыве ε.

Для этого, после теплового старения образцов кабелей, которое проводилось в течение 500 часов при 100°С, стандартным ножом из оболочки вырубались лопатки с длиной рабочего участка 2 см и шириной 4 мм.[4].

Измерения механических характеристик проводились на разрывной машине ИР 5040-5 при скорости нагружения 100 мм/мин и предельной нагрузке 5 кН.[5].

Данные образцы кабелей соответствуют существующим стандартам, прошли контрольные испытания и не являются дефектными. На рисунке 2 изображена конструкция кабеля.

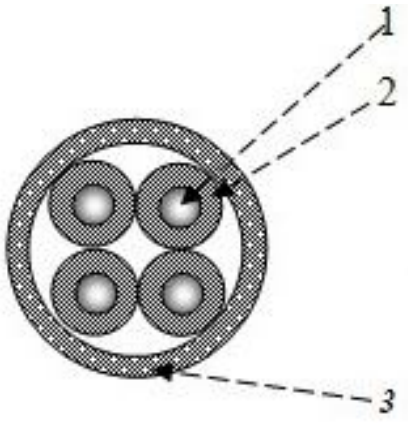


Рисунок 2. Конструкция кабеля марки КВВГ

Элементы конструкции:
1) медный или алюминиевый проводник
2) изоляция
3) внешняя оболочка

На рисунках 3, 4 приведены результаты измерений относительного удлинения при разрыве ε и прочности на разрыв σр

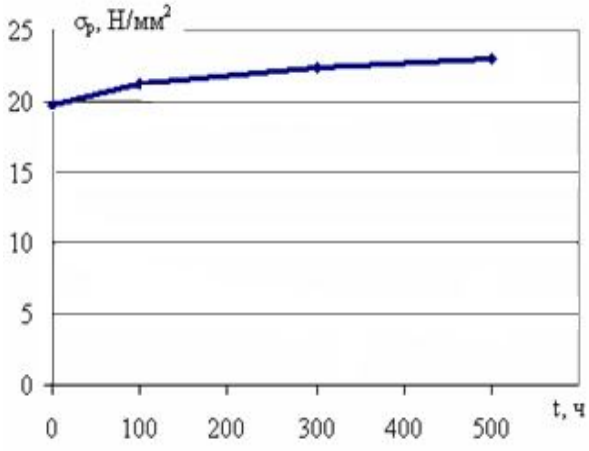


Рис.3. Прочность на разрыв σр

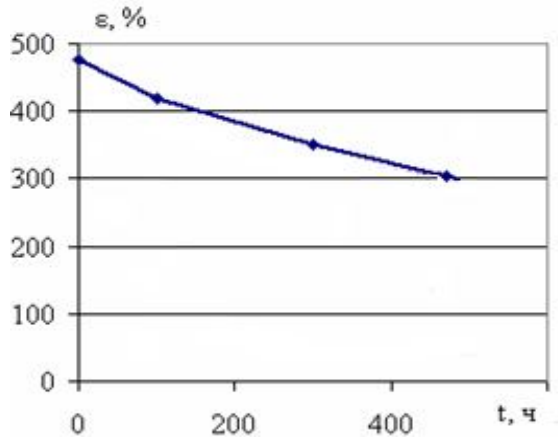


Рис.4. Относительное удлинение при разрыве ε

Для образцов ПВХ оболочек марки данного кабеля наблюдается повышение разрывной прочности σр по мере старения и монотонное снижение относительного удлинения при разрыве ε. Известно, что тепловое старение ПВХ пластикатов происходит в два этапа.[6]. На первом этапе основную роль в ухудшении свойств материала играет испарение пластификатора. Это приводит к снижению температуры стеклования, повышению твердости вплоть до трещинообразования. На более поздних стадиях старения основную роль играют химические процессы термоокислительной деструкции. На этом этапе происходит изменение цвета, выделение летучих соединений и усадка.

В результате проведенных испытаний следует, что данный кабель ПВХ марки КВВГ не подходит по механическим свойствам т.к. наблюдается явное старение, что естественно ведет к более короткому сроку службы кабельного изделия, а так же по техническим причинам, где особое внимание уделяется кручению кабеля.

Мы намерены провести испытания кабелей с изоляцией и оболочкой из ПЭ и ТЭП.

Дальнейшие исследования взаимного влияния элементов конструкции кабеля при тепловом старении, совместимости материалов, позволит найти общие критерии взаимозаменяемости полимеров, улучшить эксплуатационные характеристики и надежность кабельных изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голицын М.В., Баженова О.Н., Пронина Н.В., Архипов А.Я., Макарова Е.Ю. Энергия: экономика, техника, экология. – М.: Наука,2005.

2. Миткевич А.С., Паверман Н.Г., Елагина А.Н. Кабельные композиции на основе полиэтилена и поливинилхлорида. Тенденции развития в России // Кабели и провода. − 2007. − № 1. − С. 3–7.

3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), изд. 7, 2001 - 2004 г.г.

4. Emanuelsson V., Simonson M., Gevert T. The effect of accelerated ageing of building wires//Fire and Materials. − 2007. − V. 31 − P. 311–326.

5. Алиев И.И. Кабельные изделия, справочник, "ВШ", М., 2004 (621.315(035), А-50).

6. Барашков О.К. Некоторые критические замечания относительно методов предсказания сроков службы кабельных ПВХ-пластикатов // КАБЕЛЬ-news. − 2008. − №9. − С. 50–58.

ТЕПЛОПРОВОДНАЯ НАНОКЕРАМИКА ИЗ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ И СОПУТСТВУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДАМИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Никитушкин И.В., Анненков Ю.М.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

Ввиду довольно высокой теплопроводности алюмонитридная керамика в настоящее время является наиболее перспективным материалом для отвода тепла от теплонагруженных элементов в изделиях космической техники и в приборостроении в целом. Однако практика требует, чтобы коэффициент теплопроводности алюмонитридной керамики был повышен со 180 Вт/мК до не менее 230 Вт/мК. Эту задачу предполагается решить, используя методы высокоинтенсивных технологий.

Нитрид алюминия был впервые синтезирован в 1877 году, но только в середине 1980-х его потенциал для практического применения в микроэлектронике был осознан из-за его относительно высокой теплопроводности для изоляции керамики (70–210 Вт/мК для поликристаллического материала, и до 275 Вт/мК для монокристаллов). Этот материал представляет интерес как нетоксичная альтернатива оксиду бериллия.

Нитрид алюминия – материал с ковалентными связями, имеющий гексагональную кристаллическую структуру, которая является аналогом структуры сульфида цинка, известной как вюрцит, это полупроводник с шириной запрещённой зоны 6 эВ. Материал устойчив к очень высоким температурам в инертных атмосферах. На воздухе поверхностное окисление происходит выше 700 °C, и при комнатной температуре образуются поверхностные окисленные слои толщиной 5–10 нм. Этот слой защищает материал от окисления вплоть до 1370 °C.

Алюмонитридная керамика в России серийно не выпускается, но уже изготавливается в Японии, Германии, Китае и Тайване (Таблица 1).

Существует патент Российской Федерации о способе получения теплопроводной керамики на основе нитрида алюминия. Сущность изобретения: способ включает спекание порошка нитрида алюминия в виде микрокристаллов с игольчатой формой частиц, полученных в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с последующим отжигом спеченной керамики в такой же газовой среде при температуре не выше 1800°C в течение времени не менее 5 ч. Предложенный способ

получения теплопроводной керамики на основе нитрида алюминия обеспечивает теплопроводность не менее 200 Вт/мК.

Таблица 1.

Сравнительные характеристики зарубежной алюмонитридной керамики

Наименование характеристик	MARUWA (Япония)	LEATEC (Тайвань)	Clec Group (Китай)	CeramTec (Германия)
Содержание AlN, %	98	98	98	98
Цвет	Серый	Серый	Серый	Серый
Кажущаяся плотность, кг/м3	3300	3300	3300	3330
Предел прочности на изгиб (20°C), МПа	250	450	320	360
Модуль упругости (20°C), ГПа		320	320	320
Теплопроводность (20°C), Вт/м*К	200	180	180	180
Коэффициент теплового расширения (25-1000°C)	4,0	5,0	4,7	4,7
Диэлектрические потери, (1МГц, 25°C)	0,0003	0,0003		0,0004
Диэлектрическая проницаемость, (1МГц,25°C)	9,0	8,7	9,0	9,0
Объемное удельное сопротивление, (20°C), Ом*см	1014	1014	1013	1013
Шероховатость поверхности, мкм		0,3		0,6

Для устранения пор следует при спекании обеспечить плотность, близкую к теоретической. По обычной технологии это достигается путем введения добавок – активаторов спекания оксид иттрия, который взаимодействует с оксидом алюминия в порошке, в результате образуется аморфная эвтектика, которая плавится при более низкой температуре. Идет спекание в жидкой фазе, что уплотняет структуру. Размол ведут до получения мелких частиц, которые после спекания «укутаны» в оксидную эвтектику. Аморфная стеклофаза создает дополнительную систему дефектов, усиливающих фононное рассеяние. В этом случае теплопроводность нитрида алюминия не превышает 100 Вт/мК.

В настоящей работе предлагается инновационная технология, устраняющая указанные недостатки, в основе которой лежит использование высокоинтенсивных воздействий.

Технологию изготовления алюмонитридной керамики можно разделить на несколько этапов:

– получение полидисперсного порошка нитрида алюминия при помощи коаксиального магнитоплазменного ускорителя [1];

– диспергирование порошка нитрида алюминия до наноразмеров;

– уплотнение компакта почти до теоретической плотности посредством магнитно-импульсного прессования [2];

– применение искрового плазменного спекания.

Таким образом, предлагаемая технология не требует введения примесей, уменьшающих теплопроводность алюмонитридной керамики, что теоретически повысит коэффициент теплопроводности не менее чем до 230 Вт/мК.

В приборостроении керамика, как правило, применяется в виде теплопроводящих изоляционных подложек при монтаже теплонагруженных элементов изделий. В изделиях с высокой удельной мощностью подложки используются вместо печатных плат, в этом случае на поверхности формируется многослойный печатный рисунок, а сама подложка устанавливается в алюминиевый или магниевый корпус через теплопроводящий клей.

Поэтому полученные нанодисперсные порошки нитрида алюминия предполагается использовать, в том числе, для модифицирования свойств теплопроводных полимерных материалов – клеев и заливочных компаундов. Дело в том, что в существующих рецептурах применяется микронный порошок нитрида алюминия с размером зерна 50-100мкм. И даже в случаях, когда процент наполнения полимерной основы достигает 50%, коэффициент теплопроводности редко превышает значение 2 Вт/мК [3].

Исходя из вышесказанного, следует, что для достижения практической ценности в приборостроении от применения разрабатываемой высокотеплопроводной алюмонитридной керамики, требуются сопутствующие теплопроводные материалы – клеи и заливочные компаунды.

Технологию изготовления теплопроводных клеев и заливочных компаундов можно разделить на этапы:

– моделирование, расчет эквивалентной теплопроводности полимера, наполненного ультрадисперсными керамическими порошками;

– модифицирование смол ультрадисперсным порошком нитрида алюминия.

Поставленные задачи предполагается решать методами:

– дифрактометрии;

– электронной микроскопии;

– моделирования свойств нанокерамики, клеев и компаундов;

– исследования теплофизических, электрических и механических свойств алюмонитридной керамики в зависимости от параметров керамической структуры;

– исследования теплофизических, электрических и механических свойств клеев и компаундов в зависимости от массовой доли и дисперсности керамических наполнителей.

Комплексый подход к решению поставленных задач позволит снизить теплонагруженность элементов, что положительно скажется на ресурсных и массогабаритных характеристиках изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель: патент Рос. Федерация. № RU2431947; заявл. 30.04.10.

2. Иванов В.В., Кайгородов А.С., Хрустов В.Р., Паранин С.Н., Спирин А.В. Прочная керамика на основе оксида алюминия, получаемая с использованием магнитно-импульсного прессования композитных нанопорошков // Российские нанотехнологии, 2006. – Т.1. – № 1-2. С. 243.

3. Я.Л. Абелиов Наполнители для теплопроводящих клеев // «Клеи. Герметики. Технологии.» – 2005. – №8. – С. 26.

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ

Чернухин Р.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

Сбор статистических данных по эксплуатационной надежности проводился с целью выявления доли отказов, приходящихся на рулевое управление.

Для сбора информации об отказах и простоях автомобилей использовались лицевые карточки автомобилей. Лицевая карточка заполняется на предприятиях на каждый автомобиль. В них отражается информация по виду проводимого ремонта, дням простоя, наработке автомобиля, а также информация о проведении технических обслуживаниях Внутренний контроль за правильностью ведения

осуществляют начальники автоколонн, внешний – транспортная инспекция.

Анализ эксплуатационной надежности проводился среди наиболее многочисленной в нашей стране группы грузовых автомобилей – ЗиЛ и КамАЗ. Информация была собрана по 40 автомобилям (21 марки КамАЗ и 19 марки ЗиЛ) за период с 2007 по 2010 год. Общий пробег всех автомобилей за указанный период составил более 5,66 млн. км. Средняя наработка на отказ составила 5421 км. Среднее число дней простоев составила 99 дней на один автомобиль.

Распределение отказов по маркам автомобилей представлено на рис.1 и 2.

Приведенные данные показывают, что доля отказов рулевого управления составляет 6% для автомобилей ЗиЛ и 8% – для автомобилей марки «КамАЗ». Доля материальных затрат на устранение отказов рулевого управления составила 5%, а трудоемкость восстановления 6,1% от общего числа материальных и трудовых затрат соответственно. Несмотря на невысокий процент отказов рулевого управления, нельзя забывать, что от исправности этой системы зависит управляемость автомобиля и, в конечном счете, безопасность эксплуатации. Поэтому при проведении технического обслуживания особое внимание следует уделять рулевому управлению. Основным диагностическим параметром, определяющими допуск к эксплуатации, является суммарный люфт на рулевом колесе.

Необходимо отметить, что суммарный рулевой люфт – это обобщающий и косвенный параметр, и его ухудшение связано с износом или ослаблением крепления рулевого механизма и рулевого привода. Таким образом, кроме определения суммарного люфта, необходимо проведение углубленного, поэлементного диагностирования всех сопряжений, влияющих на величину рулевого люфта. Кроме того, значение суммарного рулевого люфта, находящееся в пределах нормы, не всегда указывает на исправность рулевого управления.

Поэтому, для оценки технического состояния рулевого управления измерения лишь суммарного рулевого люфта недостаточно и для определения работоспособности необходимо применение методов поэлементного диагностирования.

Необходимо отметить, что суммарный рулевой люфт – это обобщающий и косвенный параметр, и его ухудшение связано с износом или ослаблением крепления рулевого механизма и рулевого привода. Таким образом, кроме определения суммарного люфта, необходимо проведение углубленного, поэлементного диагностирования всех сопряжений, влияющих на величину рулевого люфта. Кроме того,

значение суммарного рулевого люфта, находящееся в пределах нормы, не всегда указывает на исправность рулевого управления.

Поэтому, для оценки технического состояния рулевого управления измерения лишь суммарного рулевого люфта недостаточно и для определения работоспособности необходимо применение методов поэлементного диагностирования.

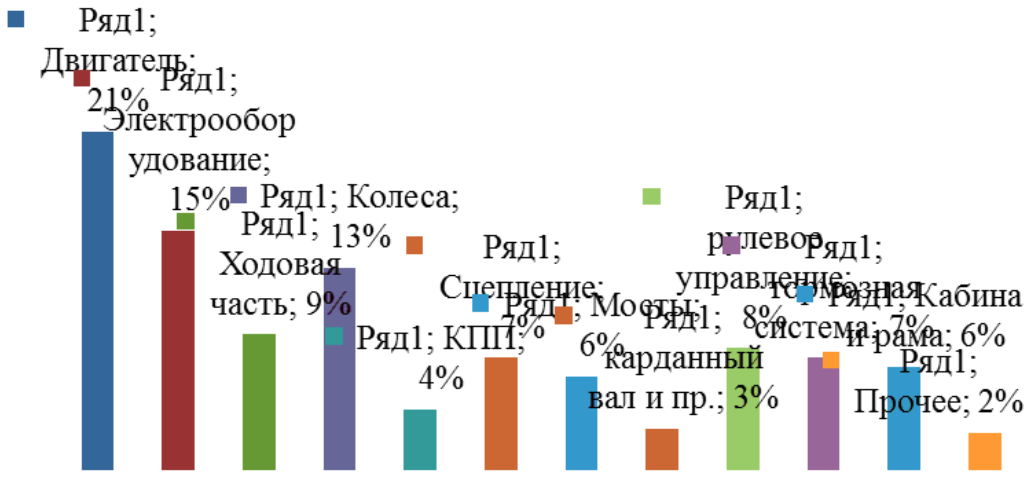


Рис.1 Распределение отказов автомобилей ЗиЛ

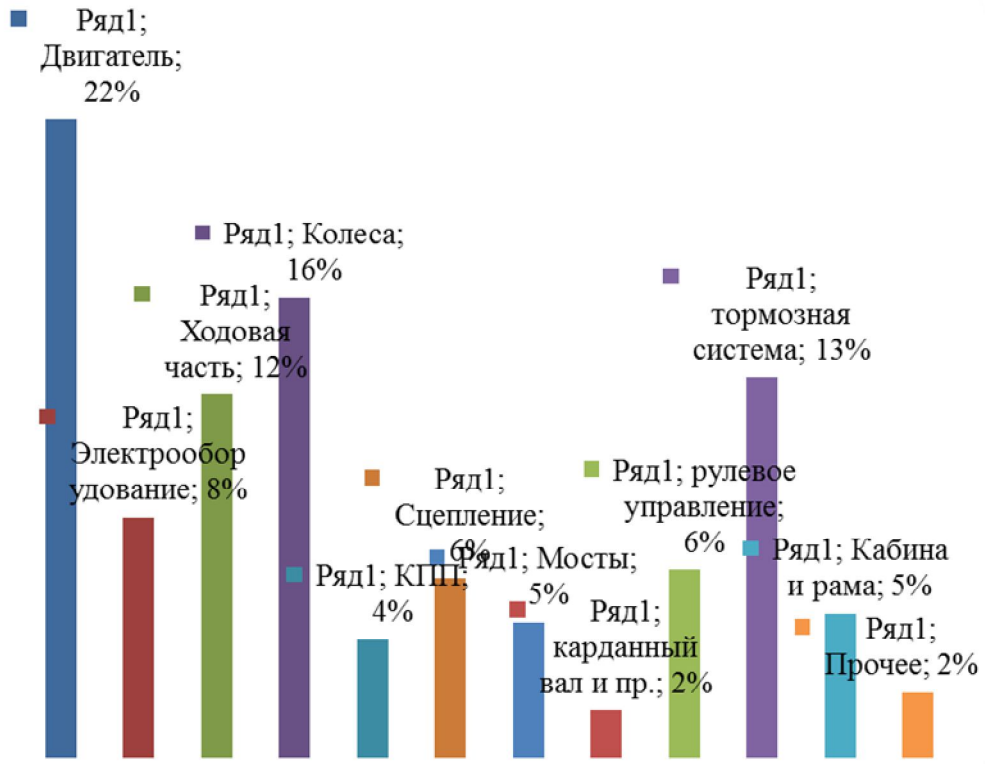


Рис.2 Распределение отказов автомобилей КамАЗ

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ УЛИЧНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ

Валиуллин К. Р., Семенова Н. Г.
Оренбургский государственный университет, Россия, г. Оренбург

Значительную долю энергопотребления городов составляет потребление электрической энергии на нужды уличного освещения, поэтому мероприятия по их энергосбережению приносят ощутимый экономический эффект. Основными направлениями мероприятий по энергосбережению уличного освещения являются: установка энергоэффективных ламп с высокими светотехническими характеристиками; разработка интеллектуальных систем управления освещением. В настоящее время второе направление имеет приоритетный характер.

Системы управления можно разделить на два класса:

Автоматизированные системы управления (АСУ) - с участием человека в контуре управления;

Системы автоматического управления (САУ) - без участия человека в контуре управления [1].

Внедрение этих систем имеет ряд преимуществ:

- уменьшение электропотребления, за счет оптимального регулирования мощности осветительных установок;
- снижение влияния человеческого фактора на систему, что уменьшает вероятность ошибок управления.
- простота технического обслуживания и диагностики систем освещения.

Все существующие автоматизированные системы управления наружным освещением можно классифицировать по нескольким критериям. Рассмотрим эти критерии, а также существующие варианты их реализации.

I Способ управления освещением.

1.1 По заранее заданному графику. Освещение включается и выключается в соответствии с графиком, который был заранее задан в специальном контроллере. График может быть составлен в соответствии с астрономическими наблюдениями, либо по другим условиям. Преимущества:

- исключена возможность ошибки управления и ложного срабатывания. Условия включения жестко заданы и не меняются с течением времени;

- наиболее простая в организации и обслуживании система. Не требуются обратные связи, анализ каких-либо величин, система настраивается однократно при вводе в работу.

Недостатки:

- низкая приспособляемость к внешним условиям. Изменение заложенных алгоритмов производится только вручную и занимает длительное время;

- низкая точность управления. Отсутствие обратных связей и невозможность предугадывания всех вариантов состояния окружающей среды значительно снижают оптимальность регулирования.

1.2 По указаниям датчиков. В качестве управляющего сигнала может быть использована информация с датчиков освещенности и/или движения.

Преимущества:

- возможность оперативного получения информации о любом объекте в системе. Датчики работают в режиме реального времени и в любой момент могут предоставить необходимую информацию о своем состоянии (уровень освещенности, наличие движения и т д.);

- приспособляемость. При правильной настройке система будет адекватно реагировать на любые внешние условия;

- гибкость. При достаточной чувствительности датчиков можно получить наиболее оптимальный режим управления.

Недостатки.

- удорожание. Усложняется первичная организация системы управления, необходима более тщательная проработка алгоритмов управления, а также усложняются аппаратная составляющая и программная реализация системы;

- возможность ложных срабатываний при отказе или неисправности датчиков.

1.3 Интеллектуальные системы управления. Уличные фонари оборудуются управляющими устройствами (контроллерами), через которые осуществляется дистанционное включение/выключение и многоуровневое регулирование яркости. Эти контролеры объединены в сеть, управление которой осуществляется адаптивной программой, позволяющей одновременно измерять, анализировать и снижать потребление энергии.

Наиболее перспективными по способу управления являются интеллектуальные системы, однако в настоящее время они являются экспериментальными и пока не находят широкого применения.

II Способ связи в системе [2].

2.1 Слаботочное управление. Осуществляется с помощью провода типа «витая пара» или подобных интерфейсов. Сигнал передается согласно

настроенному цифровому протоколу. Преимуществом такой системы является возможность индивидуального управления каждым светильником, а не только их группами. Сложность вызывает необходимость отдельной прокладки слаботочных проводов и установки блока управления для каждого отдельного светильника. Также к недостаткам можно отнести малый территориальный охват такой сети.

2.2 GSM-канал. Управляющий сигнал передается через сотовую сеть. Преимуществом такого метода являются низкие трудозатраты на организацию сети – она уже проложена оператором связи. Большим плюсом является широкий территориальный охват такой системы. Недостатком может являться невозможность управления при загруженности сотовой сети и материальные затраты, связанные с оплатой услуг оператора связи.

2.3 Силовые линии электропередачи. Передача сигнала осуществляется по силовым кабелям. Такой подход избавляет от необходимости прокладывания новой инфраструктуры, но весьма ненадежен, так как связь будет зависеть от состояния кабельных линий. Кроме того, недостатками будут являться крайняя сложность индивидуального управления и ограниченность территории применения такой связи.

2.4 Радиоканал. Данный метод во многом схож с GSM-каналом, но связь осуществляется на другой частоте. Это и налагает необходимость согласования частоты радиосигнала с вышестоящими ведомствами. Кроме того, возможны помехи в работе радиооборудования, а необходимость установки приемников и передатчиков накладывает ограничения на возможность индивидуального управления.

На наш взгляд, предпочтительно использование GSM-сети, так как ее недостатки в настоящее время становятся менее заметными.

III Количество уровней управления в системе и связи между ними [1].

3.1 Групповое управление освещением. Организация такого управления показана на рисунке 1, где ЦДП - центральный диспетчерский пункт; ПУ – отдельные пункты управления; () – группы светильников.

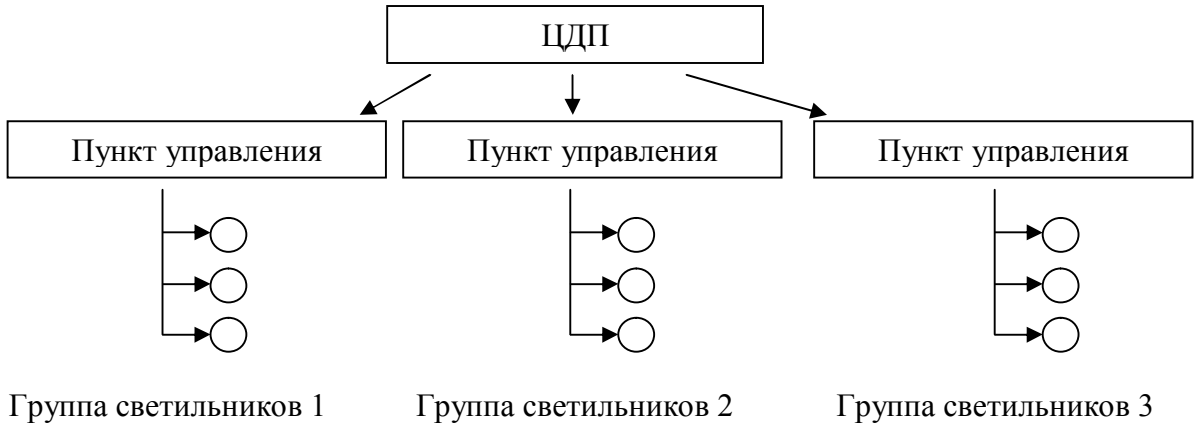


Рис.1. Групповое управление освещением

Основной недостаток такой системы в ее однонаправленности и отсутствии обратных связей между элементами.

3.2 Индивидуальное управление освещением. Данная система управления показана на рисунке 2, Она дороже, но зато позволяет организовать Индивидуальное управление каждым светильником.

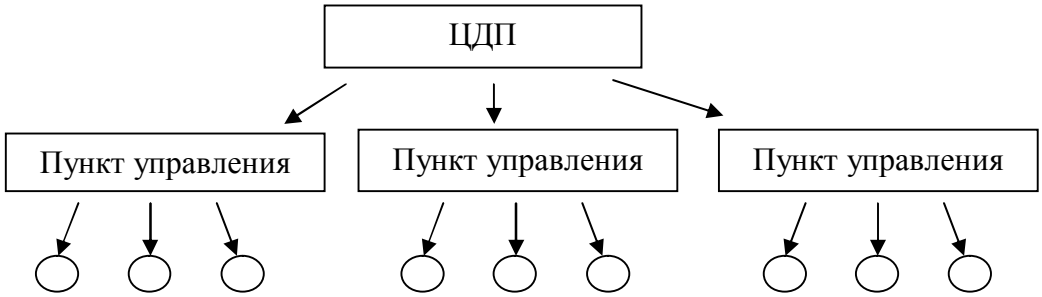


Рис. 2. Индивидуальное управление освещением

3.3 Индивидуальное управление освещением с обратными связями. В подобной системе возможно применение обратных связей между элементами системы, рисунок 3. Подобная организация усложняет и удорожает систему, но делает ее намного более гибкой и функциональной.

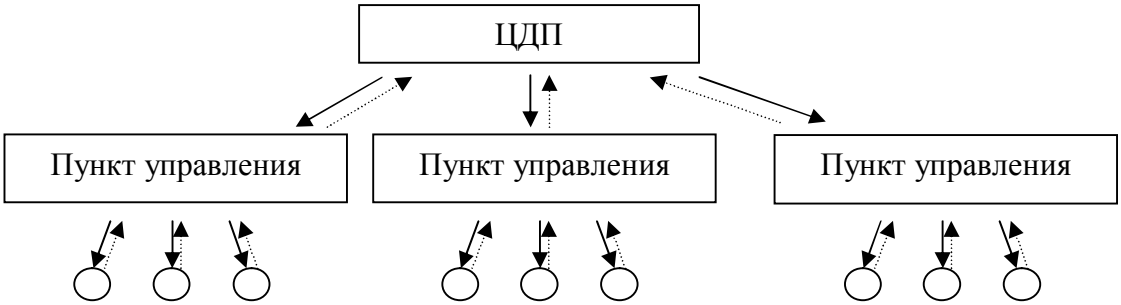


Рис. 3. Индивидуальное управление с обратными связями

3.4 Система управления освещением без промежуточных ПУ. В такой системе отсутствует промежуточное звено управления, что повышает нагрузку на ЦДП,. рисунок 4.

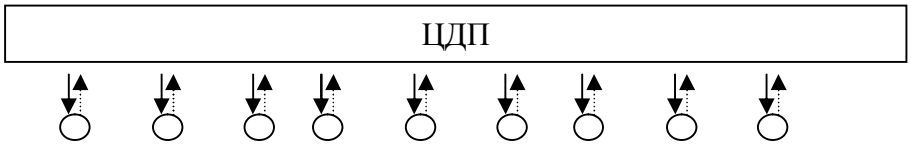


Рис. 4. Система без промежуточных пунктов управления

Так как в интеллектуальных системах управления освещения обработка данных должна осуществляться от каждого объекта системы (уличного фонаря) и принятия управляющих решений в соответствии с полученными данными и критериями оптимальности, то перспективными в настоящее время являются разработки систем с обратными связями.

IV Способ регулирования мощности, потребляемой системой [3].

4.1 Общее регулирование. Как правило, применяется в неразветвленных сетях, при единственном источнике питания. При таком регулировании все осветительные установки могут находиться либо во включенном, либо в отключенном состоянии.

4.2 Групповое регулирование. Светильники разбиваются на группы, управляемые отдельно. Частным случаем является широко распространенное пофазное регулирование. В данном случае, светильники разбиваются на группы, каждая из которых подключена к своей фазе питания. Включая/отключая одну из фаз можно изменять количество включенных светильников. В данном варианте возможна регуляция общей мощности, затрачиваемой на освещение, но регулирование мощности отдельных светильников всё еще затруднено.

4.3 Индивидуальное регулирование. Каждый светильник оснащается собственным коммутационным аппаратом и может быть включен/отключен независимо от всех остальных. В данном варианте возможно и регулирование мощности, потребляемой каждым светильником, например, при использовании двухступенчатых ПРА.

Учитывая сущность принципа работы интеллектуальных систем управления освещением, при выборе способа регулирования мощности необходимо ориентироваться на индивидуальное регулирование.

При разработке интеллектуальных систем управления освещением могут быть применены следующие методы автоматического диммирования (снижение мощности в неинтесивное время суток):

- Дискретный двухступенчатый. В данном случае освещение может быть либо включено, либо выключено.

- Дискретный многоступенчатый. Предполагает наличие нескольких ступеней с различным уровнем потребляемой мощности и освещенности.

- Плавный. Возможна установка любой мощности освещения от 0 до 100%.

Таким образом, анализ существующих систем управления уличным освещением показал, что в настоящее время приоритетной, значимой и актуальной является разработка систем управления, основанной на новых вычислительных технологиях, а именно разработка интеллектуальных систем управления, позволяющих одновременно измерять, анализировать и снижать потребление электрической энергии. Практическая реализация систем управления должна основываться на индивидуальном управлении и регулировании каждого светильника, имеющего в обязательном порядке обратную связь с ЦДП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурьев, А. В. Системы автоматизированного управления наружным освещением / А. В. Гурьев, Е. А. Букварев // Электротехника. - 2001. - № 5. - С. 4.

2. Автоматизированное управление уличным освещением. [Электронный ресурс] : офиц. сайт / «ЭнергоСовет» портал по энергосбережению. – Режим доступа : http://www.energosovet.ru/stat480.html.

3. Киричок, А. И.. Автоматизация наружного освещения как инструмент энергосбережения/ А. И. Киричок //Мир дорог.-2012г.-№63.-С. 38-40.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ В КАБЕЛЯХ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Стрыжков А.Е.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Целью данной работы является моделирование теплового поля в кабелях наиболее распространенных конструкций.

В работе рассматривались кабели марки КВВГ и КВБбШв с числом жил от одной до четырёх. Также были выбраны наиболее актуальные полимерные материалы: ПВХ, ПЭ и ТЭП. Такой выбор материалов был обоснован, разнообразными физико-механическими свойствами

материалов, что позволило более чётко проанализировать полученные результаты.

Также в ходе изучения моделирования распределения теплового поля, был изучен пакет моделирования Comsol Multiphysic. Программа позволила получить наглядную картину распределения теплового поля в конструкции кабеля, путём решения дифференциальных уравнений в частных производных.

Для выбранных конструкций кабеля построено распределение теплового поля при различном условии нагрева. В первом случае нагреву подвергалась оболочка кабельного изделия, а во втором случае, проводился нагрев токопроводящей жилы. Для первого случая были созданы условия температурного старения кабеля, оболочка нагревалась при температуре равной 373 К в течении часа. Для второго случая, был создан эффект распределения температурного поля, при воздействии температурой на токопроводящую жилу, для ПВХ - 343 К, для ПЭ и ТЭП - 363 К. Данные температуры были выбраны, с учётом того, что при протекании электрического тока по ТПЖ, жила нагревается до соответствующих температур.

Из полученных моделей распределения теплового поля, можно сделать вывод, что наиболее прогреваемой конструкцией кабеля является изделие с изоляцией и оболочкой из полиэтилена, это связано с высокой теплопроводностью полиэтилена. Самым стойким материалом оказался термоэластопласт, так как у данного материала самая низкая теплопроводность.

ДВУХСТОРОННЕЕ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЕ ПРЕССОВАНИЕ КОРУНДО-ЦИРКОНЕВОЙ КЕРАМИКИ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Дуданец А.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Магнитно-импульсное прессование – перспективный метод получения высокоплотной керамики. Однако важно учитывать, что нанопорошки содержат значительное количество адсорбированных веществ. В большинстве случаев наличие адсорбатов в исходном нанопорошке препятствует получению плотных компактов.

Количество адсорбатов в составе нанопорошка возможно уменьшить, если проводить прессование при повышенных температурах в вакууме.

На кафедре ЭКМ успешно развивается тема двустороннего магнитно-импульсного (ДМИ) прессования. Под руководством профессоров Анненкова Ю.М. и Сивкова А.А. разработаны различные конструкции МИ-прессов. Над этими тематиками работает большой коллектив.

Целью данной работы являлась разработка устройства для вакуумной дегазации порошка в ДМИП.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: во-первых необходимо провести 1) Проектирование и конструирование элементов пресса. Далее провести 2) Проектирование и конструирование вакуумной системы и в завершении 3) получить опытную партию порошковых компактов при различных режимах прессования и их сравнить.

В общем виде ДМИП изображен на рисунке 1. представляет собой симметричную конструкцию, состоящую из основных элементов: индуктора и концентратора. Вся конструкция закреплена при помощи 6 шпилек, по которым также производится параллельное соединение индукторов.

Главной задачей работы является разработка устройства для вакуумной дегазации порошка. Для создания данного устройства были сформулированы следующие требования:

– разработать конструкцию вакуумной камеры с пресс-формой, обеспечивающей вакуум на уровне 10-2 атм.,

– создать систему нагрева пресс-формы с порошком,

– разработать механически прочную конструкцию передающих усилие на пресс-форму толкателей и обеспечить вакуумно плотные соединения их в камере,

– обеспечить идентификацию температуры нагрева и охлаждения порошка в пресс-форме,

– при проектировании нагрева пресс-формы с порошком предусмотреть минимальную температурную инерционность системы.

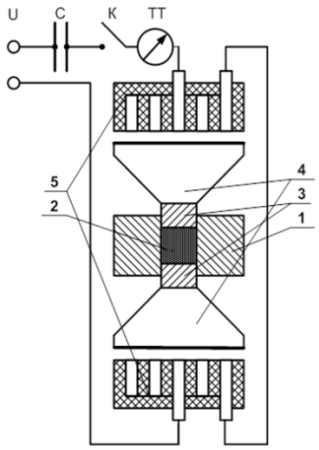


Рис. 1. Схема ДМИ-пресса: С – батарея импульсных конденсаторов, К – разрядник, ТТ – трансформатор тока, 1 – матрица пресс-формы, 2 – прессуемый порошок, 3 – пуансоны, 4 – концентраторы, 5 – индукторы

На основании данных требований, первоначально была разработана конструкция установки, представленная на рисунке 2.

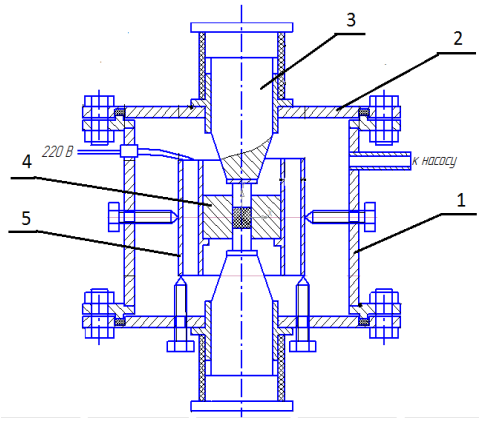


Рис. 2. Общий вид вакуумной камеры: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – толкатель; 4 – пресс-форма; 5 - печь

Установка состоит из пресс-формы, вокруг которой расположен нагреватель, толкателей для передачи усилия от концентраторов

В общем виде устройство размешенное в ДМИП представлено на рисунке 3. Оно состоит из корпуса крышек и печи для нагрева пресс-формы.



Рис. 3. Общий вид вакуумной камеры и основных элеметов ее конструкции

Прессование порошковых материалов с использованием разработанной вакуумной камеры при повышенных температурах проводилось на корундо-циркониевых порошках. В результате проделанной работы при различных технологических режимах нами были получены партии порошковых компактов. Результаты сведены в нижеследующую таблицу.

Таблица 1.

	$t_{пр}$, ^{0}C	$P_{пр}$, ГПа	Плотность, г/см^3	От. плотность, %
Статическое	20	0,4	2,6 – 2,7	48 - 50
ДМИП Без вакуума	20	0,8	3.2 – 3,4	59 - 63
ДМИП С вакуумом	20	0.8	3.6 – 3,8	67 - 70
ДМИП С температурой и вакуумом	120	1	3,92 - 4,1*	73 – 76*

Анализ результатов сведенных в таблицу позволяет сделать следующие выводы:

1. ДМИ-прессование является более перспективной технологией по сравнению со статическим прессованием, так как обеспечивает получение более плотных компактов.

2. При использовании вакуума в ДМИ-прессе плотность компактов увеличивается за счет уменьшения количества газовых включений в составе порошка.

3. При прессовании в вакууме и при повышенной температуре плотность компакта возрастает за счет удаления различных адсорбатов – в основном это вода.

4. Также в процессе проведения экспериментов был опробован режим прессования в 2 этапа: 1 – прессование образца в условиях вакуума без нагрева; 2 – прессование в условии вакуума при нагреве до 5000С, 20-ти минутной выдержкой, охлаждением до 120-2500С. В результате были получены прессовки с относительной плотностью 76 %, что является хорошим результатом проделанной работы.

Таким образом, в ходе работы была разработана установка для ДМИ-прессования корундо-цирконевой керамики при повышенной температуре в вакууме.

Отработана методика ДМИ-прессования.

Получены компакты с плотностью достигающей 76 %.

Также хотелось бы еще раз отметить, что на данный момент установка позволяет проводить прессование при температурах 250-3000С в условиях вакуума.

Выполненная работа является началом новых разработок, посвященных высокотемпературному ДМИ-прессованию корундо-циркониевой нанокерамики. В ближайшей перспективе, которой необходимо поднять температуру прессования до (1000-1200)0С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.В., Кайгородов А.С., Хрустов В.Р., Паранин С.Н., Спирин А.В. Прочная керамика на основе оксида алюминия, получаемая с использованием магнитно-импульсного прессования композитных нанопорошков // Российские нанотехнологии, 2006. – Т.1. – № 1-2. – С. 243.

2. Кайгородов А.С., Иванов В.В., Паранин С.Н., Ноздрин А.А. Роль адсорбатов при импульсном прессовании нанопорошков оксидов // Российские нанотехнологии, 2007. – Т.2. – № 1-2. – С. 112–118.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ НА ОСНОВЕ ИТТРИЙ-БАРИЕВЫХ КУПРАТОВ

Степанов К.И.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

В современном мире, как никогда, чувствуется острая необходимость в использовании большого количества электроэнергии. Существует два способа решения этого вопроса: непосредственно увеличение количества электростанций, либо переход на сверхпроводящие проводники. Оба способа имеют место быть, но, все же, наиболее перспективным является второй путь, однако он упирается в проблему создания комнатнотемпературных сверхпроводников. Решением этого вопроса занимаются во многих научно-производственных коллективах, в том числе и в лаборатории высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) ЭНИН ТПУ. В лаборатории ВТСП развивается новый подход, связанный с применением высокоинтенсивных воздействий (разрядная плазма, магнитно-импульсное прессование, диспергирование порошков). В связи со сказанным, главная задача нашей темы состоит в разработке такой технологии синтезирования материала, которая позволит получать продукт, обладающий сверхпроводящими свойствами при температурах окружающей среды. Наиболее перспективными в этом направлении, по нашему мнению, можно считать иттрий-бариевые купраты [3].

В данной работе разрабатывается способ плазмодинамического синтеза шихты для высокотемпературных сверхпроводников с использованием коаксиального магнитоплазменного ускорителя профессора Сивкова [4].

Установка представлена в виде цилиндрической трубы (рисунок 1), разделенной на две камеры: регистрирующую и рабочую. В регистрирующей камере имеется технологическое отверстие – окошко, через которое, при помощи сверхвысокочастотной камеры Photon FASTCAM SA1.1 проводится регистрация процессов, протекающие внутри установки.

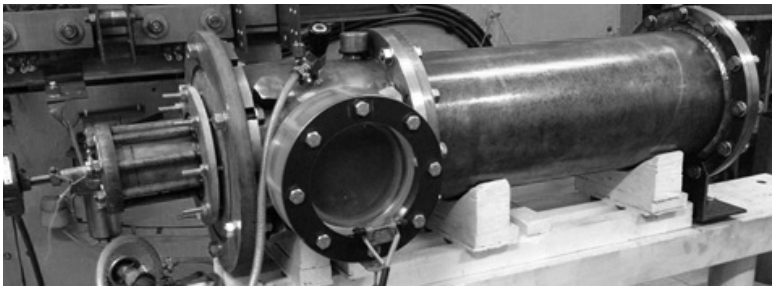


Рис. 1. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель

Главным элементом конструкции является коаксиальный ускоритель Сивкова [4], который крепится на фланце регистрирующей камеры. Ускоритель состоит из: медной трубки – ствола, внутри которого находится центральный электрод с изолятором, а также исходные оксидные порошки, являющиеся прекурсорами шихты. Сам ствол вворачивается в соленоид (ускоритель).

Работа установки заключается в следующем: при замыкании цепи импульсный ток протекает через центральный электрод и инициирует плазменный разряд. Далее под действием выталкивающего магнитного поля индуктора, плазменный поток уносит вместе с собой частички порошковой шихты (прекурсоры), а так же продукты эрозии поверхности медного ствола. В плазме, под действием высоких температур, протекают реакции, в результате чего образуется однородный порошок. Конечный продукт реакции, с наноструктурным строением под давлением выбрасывается в регистрирующую, а затем и в рабочую камеры (рисунок 3). Длительность рабочего процесса составляет около 500 мкс. На рисунке 3 представлена динамика движения плазмы в камере установки.

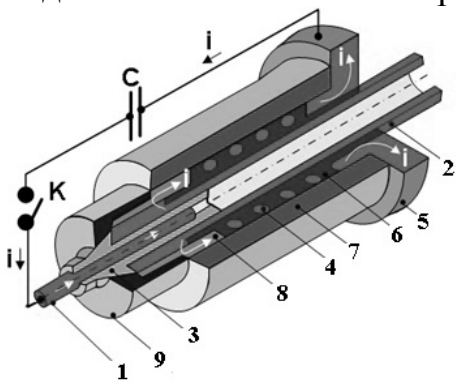


Рис. 2. Плазменный ускоритель: 1 – центральный электрод, 2 – электрод – ствол, 3 – изолятор центрального электрода, 4 – соленоид, 5 – контактный фланец, 6 – изоляция, 7 – корпус, 8 – контактный цилиндр, 9 – заглушка

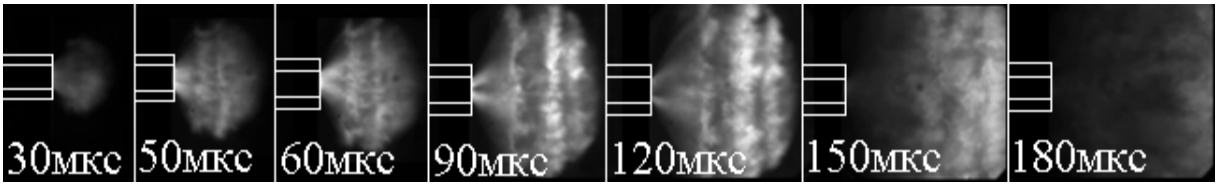


Рис. 3. Процесс горения плазмы

Анализ полученных фаз и структуры синтезированного порошка проводился на рентгеновском дифрактометре XRD Shimadzu 7000S (CuKα–излучение). Результат анализа представлен на рисунке 4.

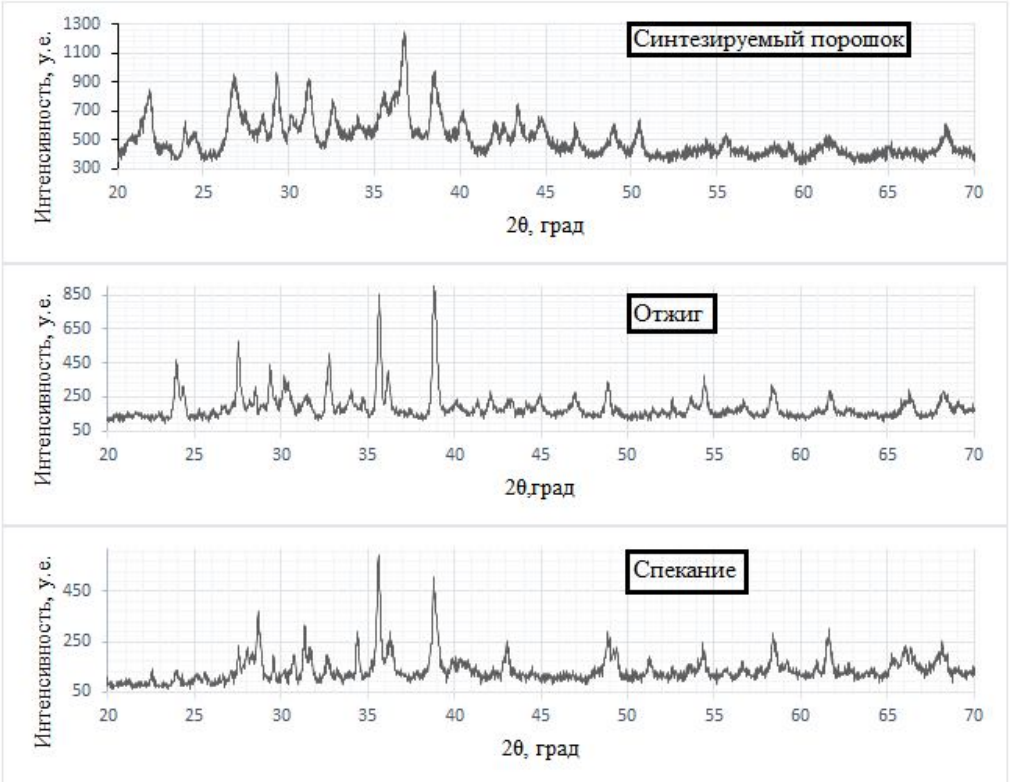


Рис. 4. Рентгенограммы синтезируемого порошка и керамики

Первый снимок – рентгенограмма исходного порошка; второй – рентгенограмма порошка после отжига при температуре 850°С, с последующей выдержкой в течении часа и третий – рентгенограмма готовой керамики, предварительно сформованной на двухстороннем магнитно–импульсном прессе [5] и спеченной при температуре 960°С в течении шести часов с контролируемым охлаждением 100 °С/ч.

В результате проделанной работе можно сделать следующие выводы.

Во-первых, что касается самой технологии синтезирования материалов, то тут есть две принципиальные особенности: 1) это одностадийность процесса, длительность которого составляет не более 500 мкс и 2) конечный продукт реакции имеет нанокристаллическую структуру, что в конечном итоге может существенно повлиять на температуру перехода образца в сверхпроводящее состояние.

Во-вторых, образец, полученный после спекания, удовлетворительно описывается эталонами, что говорит о правильном подборе соотношения исходных прекурсоров.

В-третьих, определены основные параметры системы (энергетические, технологические) влияющие и определяющие максимальное КПД всей системы.

Таким образом, в работе показана возможность синтеза шихты и керамики высокотемпературных сверхпроводников на основе иттрий бариевых купратов с использованием высокоинтенсивных технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Де Жен П. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М: ЁЁ Медиа, 280 стр., 2012.

2. Гинзбург В.Л. О сверхпроводимости и сверхтекучести. Автобиография. М.: Физматлит, 2006.

3. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. М.: МЦНМО, 2000.

4. Пат. 2243474 РФ. 7F41B 6/00. Коаксиальный ускоритель / Д.Ю. Герасимов, А.А. Сивков. Приор. 31.07.2003. Опубликовано 27.12.2004, Бюл. №36.

5. Ивашутенко А.С. Корундо-циркониевая нанокерамика, полученная с использованием высокоинтенсивных потоков энергии. Диссертация кандидата технических наук. 2010.

ТРАДИЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХПРОВОДНИКОВ ИЗ ИТТРИЙ-БАРИЕВЫХ КУПРАНТОВ

Лазарева Н.В., Выгузов Д.О.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

Открытие в 1987 году высокотемпературного сверхпроводящего материала состава YBa2Cu3O7, критическая температура которого (93К) превышает температуру кипения жидкого азота (77К), принципиально меняет экономические показатели сверхпроводниковых устройств, поскольку стоимость хладагента и затраты на поддержание необходимой температуры значительно снижаются, что радикально расширяет возможности практического использования сверхпроводимости для создания новой техники. Научно-технические программы ведущих стран предусматривают широкий комплекс работ, включающих в себя фундаментальные и прикладные исследования, направленные на решение проблемы технической реализации высокотемпературной сверхпроводимости.

Одной из важных задач в данном направлении является энергоэффективная, экономически-выгодная, доступная методика синтеза сверхпроводящих материалов.

Существуют различные способы изготовления монофазного высокодисперсного порошка высокотемпературного сверхпроводника. В качестве исходного компонента используют ультрадисперсный порошок (УДП) меди с частицами размером 0,05 - 0,15 мкм и шихту (УДП Cu, Y2O3, BaCO3 до синтеза прокаливают при 150 - 350°С 1-3 ч). Положительный эффект: монофазный высокодисперсный порошок YBa2Cu3O7 с частицами 0,5 - 1 мкм получают в процессе синтезирования, не применяя длительный помол спека после синтеза. Применение УДП Cu способствует снижению температуры синтеза до 920°С и уменьшению времени синтеза до 6 ч. Керамика YBa2Cu3O7 спеченная из порошка, полученного предлагаемым способом, имеет плотность ρ= 95% от теоретической, содержание орторомбической фазы 98 - 100%, Tc = 92 - 95 К.

Традиционная технология получения сверхпроводящей керамики на основе иттрий - бариевых купратов включает в себя четыре этапа:

- Подготовка порошков оксидов иттрия (Y), бария (Ba) и меди (Cu) в нужных пропорциях для приготовления шихты. Размеры порошинок на уровне (100 – 500) нм.
- Компактирование порошковой шихты.
- Термическое спекание компактов при температуре 9500С.
- Отжиг при температуре 4000С на воздухе в течении 2 часов (для насыщения структуры кислородом).

Определение массовой доли каждого из состовляющих производится подходящим для него методом.

Иттрий определяли комплексонометрическим методом при pH=5,5 с ксиленовым оранжевым после маскирования меди унитиолом. Для подготовки пробы измельченный продукт растворяли в соляной кислоте. 25 см3 полученного раствора помещали в колбу для титрования, прибавляли 5 см3 раствора унитиола, 10 см3 буферного раствора, разбавляли водой до 100 см3, прибавляли около 0,1 г ксиленового оранжевого и титровали раствором трилона Б до перехода розовой окраски раствора в желтую. Содержание бария в образцах состава YBa2Cu3O7 определяли гравиметрическим методом, основанным на осаждении и взвешивании бария в виде его сульфата.

Взвешенную пробу растворяли в соляной кислоте, разбавленной водой в соотношении 1:4, нагревали до кипения, медленно при перемешивании прибавляли 10 см3 горячего раствора серной кислоты с массовой концентрацией 10%. Раствор с осадком выдерживали на водяной бане 1,5-2 часа. После этого осадок сульфата бария отфильтровывали через двойной фильтр «синяя лента», промывали 5 раз горячим раствором серной кислоты с массовой концентрацией 1%, а

затем 5 раз водой. Фильтр с осадком помещали в тигель и прокаливали при температуре 8000С.

Для определения содержания меди использовали иодометрический метод. Выбранные условия пробоподготовки обеспечивают переведение всей меди образца в состояние Cu+2.

Для подготовки пробы измельченный продукт растворяли в соляной кислоте. 25 см3 этого раствора помещали в колбу для титрования, упаривали до влажных солей, прибавляли 25 см3 раствора соляной кислоты (1 моль/см3), 10 см3 раствора калия иодистого, закрывали пробкой и выдерживали в темном месте 10 мин. После чего разбавляли раствор водой до объема 100 см3 и выделившийся йод титровали раствором натрия серноватистокислого до перехода окраски раствора в светложелтую. Затем прибавляли 1 г. аммония роданистого, 2 см3 крахмала и медленно дотитровывали при тщательном перемешивании до обесцвечивания раствора.

Содержание кислорода в образцах сверхпроводящих купратов определяли йодометрическим методом, основанным на определении количества I2, выделяющегося при взаимодействии анализируемого вещества с раствором KI.

Исходные компоненты, взятые в соответствующем молярном соотношении, тщательно измельчали и смешивали в агатовой ступке.

Шихту загружают в корундовый тигель и помещают в муфельную печь, в которой проводят окисление меди и синтез. Окисление меди проводят прокаливанием шихты при 150оС в течение 2-3 ч или прокаливание проводят при 350оС в течение 1-3 ч.

Твердофазный синтез включает следующие операции: нагрев шихты на воздухе до 920оС за 4 ч, выдержка при 920оС 6 ч с двухкратным перетиранием шихты через каждые 3 ч в агатовой ступке, охлаждение шихты в печи в течение 3 ч до 400оС, выдержка при этой температуре в течение 10 ч. Далее охлаждение шихты в печи до комнатной температуры за 2 ч.

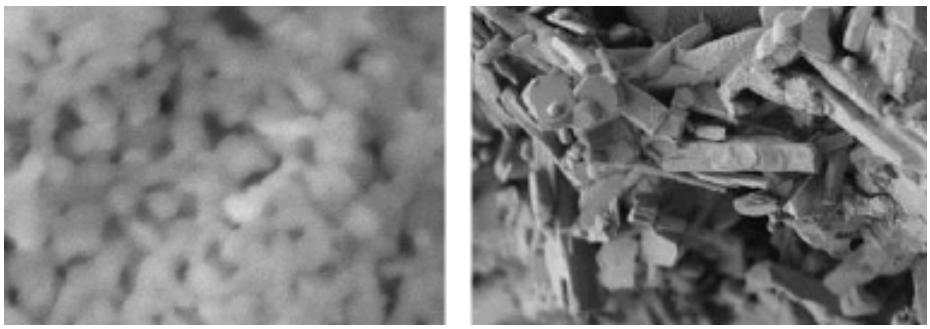


Рис.1. Иттрий-бариевый купрат YBa2Cu3O7 до процесса отжига (слева) и после процедуры отжига (справа)

На рисунке представлены изображения частиц иттрий-бариевого купрата YBa2Cu3O7 сделанные с помощью электронного микроскопа JSM-7500F. На левом изображении показана структура частиц YBa2Cu3O7 полученных пиролизом до процесса отжига с размерами зёрен около 100 нм. На правом – кристаллическая структура частиц YBa2Cu3O7 после процесса отжига.

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА НА РАЗВИТИЕ ПРОБОЯ В СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ

Барсуков Д. А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

Известно, что в настоящее время широкое применение в качестве электрической изоляции высоковольтных электрических машин, трансформаторов и др. конструкций находят различные композиционные материалы, имеющие слоистую структуру. К таким материалам относят стеклолакоткань, имидофлекс, стекломиканит, текстолит, гетинакс и многие другие. Учитывая особенности электротехнических конструкций, такие материалы могут работать в условиях резконеравномерного электрического поля. Исследования процесса электрического старения слоистых композиционных диэлектриков уже были проведены на кафедре ЭКМ Почеваловой А. В., Карпицким О.В. и Кимом С. В. В их работах было установлено, что развитие всех этапов процесса электрического старения сопровождается образованием частичных разрядов, интенсивность которых отражает динамику разрядных процессов, но не является определяющим фактором. Развитие частичных разрядов приводит к образованию объёмных зарядов. Эти заряды могут вызывать перераспределение электрического поля и, тем самым, оказывать влияние на длительность процесса старения. Изучение разрядных процессов в слоистых композиционных материалах имеет большое значение для оценки надежности ряда электроизоляционных конструкций.

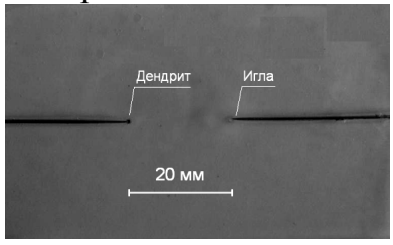


Рис. 1. Начальный этап развития разряда после приложения напряжения к образцу композиции ПММА – ПЭТФ

Развитие разряда в слоистых композиционных материалах в резконеоднородном электрическом поле при длительном воздействии приложенного напряжения происходит в три этапа:

образование дендритов шарообразной формы у острия игл при напряжении порядка половины разрядного;

промежуточное состояние, когда развитие разряда приостанавливается;

дальнейшее развитие разряда при достижении напряжения, близкого к разрядному.

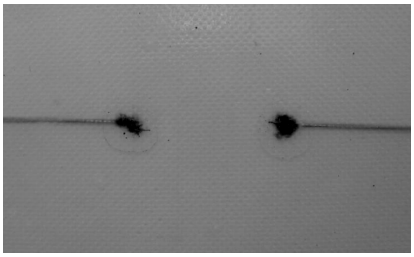


Рис. 2. Развитие разряда в композиции ПММА – стеклолакоткань при увеличении уровня воздействующего напряжения

Все эти этапы сопровождались ионизационными процессами.

Поскольку контролировать такие объемные заряды достаточно сложно, в моей работе предполагается использовать электретные заряды, возникающие при формировании термоэлектретов.

Получение термоэлектретов:

Когда в образце полимерного диэлектрика наибольший постоянный дипольный момент имеет сегмент, то ориентация таких диполей во внешнем электрическом поле возможна только при T> Tc (Tc - температура стеклования аморфной фазы полимера). После охлаждения в поле до T< Tc сегменты, а вместе с ними и дипольные моменты “застынут” в ориентированном состоянии, а образец в целом приобретет поляризацию - получится электрет. Если же дипольные моменты сегментов равны нулю, а отличны от нуля у боковых групп, электрет может быть получен, если диэлектрик выдержать в поле при температуре выше точки релаксационного перехода, при котором размораживается подвижность боковых групп, а затем охладить в поле до температур, лежащих ниже области перехода.

Наличие постоянного дипольного момента недостаточно для получения электрета. Важным условием является то, чтобы кинетическая единица, несущая дипольный момент, при “нормальных”, комнатных температурах не могла совершать повороты на большие углы, а совершала бы небольшие колебания около положения равновесия. Только тогда

поляризованное состояние диэлектрика может сохраняться длительное время.

Электреты с истинной ориентационной дипольной поляризацией, полученные по данному способу, называют термозлектретами. Схема их получения отражена на рис 3.

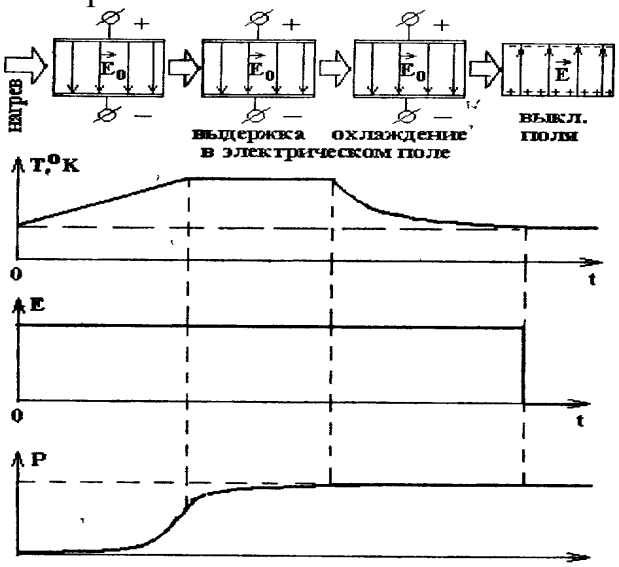


Рис. 3. Схема получения термоэлектрета с истинной поляризацией

Испытания проводятся на переменном напряжении частотой 50 Гц, при различных температурах в системе электродов игла – игла, создающих резконеравномерное электрическое поле. В качестве образцов используется комбинация из различных диэлектрических материалов (имидофлекс, стеклотекстолит, стекломиканит, стеклолакоткань и др.), наклеиваемых на подложку из полиметилметакрилата (ПММА) толщиной 3 мм с помощью эпоксидного компаунда холодного отверждения на основе смолы ЭД6 и отвердителя – полиэтиленполиамина. Количество образцов на точку составляет не менее 5. В промежутке между пластинками разных материалов размером 50×100 мм2 (на границе их раздела с подложкой) располагаются электроды игла – игла на расстоянии 20 мм.. Чтобы исключить образование воздушных прослоек и обеспечить ровную склеиваемую поверхность материала с подложкой в ней делались специальные проточки, в которые утапливались иглы. В качестве игл будут использоваться швейные иглы RTB 14539, имеющие радиус закругления порядка 50…70 мкм. Радиус закругления игл определялся с помощью горизонтального компаратора ИЗА-2 с точностью ±0,5 мкм.

Ожидается увеличение скорости развития разряда по границам раздела фаз слоистых диэлектриков вследствие более быстрого роста дендритов у острия игл и развития канала пробоя. Получение зависимости времени пробоя от величины объемного заряда

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ РАДИОЧАСТОТНЫЙ КАБЕЛЬ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПРИБОРНОГО МОНТАЖА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Потеряева Н.Л.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время наблюдается малый выпуск номенклатуры радиочастотных кабелей на российском рынке. Промышленное производство их недостаточно развито, поэтому наиболее развитые отрасли промышленности вынуждены использовать радиочастотные кабели импортного производства. Таким образом, существует значительная потребность в выпуске различных видов радиочастотных кабелей в России, а также в модернизации некоторых из них.

Научно – исследовательскому отделу «Радиочастотные кабели» ОАО «ОКБ КП» поставлена задача рассчитать конструкцию и технологические режимы производства радиочастотного кабеля для мультиплексной передачи сигналов межприборного и внутреннего монтажа радиоэлектронной аппаратуры, установленной на борту военного самолета, при частоте до 30 МГц.

Целью работы является расчет конструкции и технологических режимов производства радиочастотного кабеля, удовлетворяющего следующим требованиям:

передача максимальной мощности с минимальными потерями (минимальным затуханием);

наилучшая передача информационных сигналов (минимальное значение электрической емкости);

однородность и стабильность его электрических характеристик и, прежде всего, однородность волнового сопротивления по длине кабеля;

повышенная гибкость;

широкий диапазон рабочих температур от -55 0С до +200 0С;

круглая форма.

Существуют радиочастотные кабели импортного производства (США, Германия и Англия), предназначенные для мультиплексной передачи сигналов межприборного и внутреннего монтажа радиочастотных устройств в диапазоне частот до 30 МГц. Данные кабели производятся согласно американскому стандарту М17/176D.

Проведя анализ существующих зарубежных аналогов разработанного кабеля, были выделены общие технические характеристики (таблица 1).

Средняя стоимость зарубежного аналога составляет 9000 р за 1км длины [1, 2].

Таблица 1.

Характеристики кабеля марки М17/176-00002, КВСФ -75 и разработанного кабеля

Параметр кабеля	М17/176-00002	КВСФ - 75	Разработанный кабель
Диаметр внутреннего проводника, мм	0,6	0,6	0,6
Скрутка ТПЖ (количество проволок в жиле/диаметр проволок)	19/0,127	7/0,2	19/0,12
Материал внутреннего проводника	Медь посеребренная (высокопрочная)	Медь посеребренная (высокопрочная)	Медь посеребренная (высокопрочная)
Диаметр по изоляции, мм	1,066	1,1	1,1
Материал изоляции	Фторопласт марки ПТФЭ	Фторопласт марки ФЭП	Материал изоляции ТПЖ: Ф-4Д Материал корделя: Ф-4Д
Материал оболочки	Фторопласт марки PFA	Фторопласт Ф-4Д с перекрытием + Ф-4МБ	Фторопласт марки ФЭП
Материал экрана	Медь посеребренная	Медь луженая	Медь посеребренная
Диаметр по оболочке, мм	3,27	4,2	3,3
Диапазон рабочих температур, 0С	-55..200	-60..200	-60..200
Вес, кг/км	26,8	30.8	22.3
Волновое сопротивление, Ом	77	75	73
Электрическая емкость, пФ/м	62,5 – 90	65	66
Коэффициент затухания при f=30 МГц, дБ/м	0,25	0,28	0,29

ОАО «ОКБ КП» производит кабель марки КВСФ – 75 (таблица 1). Данный кабель используется в мультиплексных системах передачи информации в диапазоне частот до 30 МГц. Стоимость кабеля марки КВСФ-75 составляет 4000 р за 1 км длины [3].

Но кабель марки КВСФ-75 не удовлетворяет современным требованиям проектирования и монтажа РЭА, а также по массогабаритным показателям. Поэтому была поставлена задача: на базе существующего кабеля марки КВСФ-75, придерживаясь американского стандарта М17/176, рассчитать конструкцию и технологические режимы для производства нового кабеля, удовлетворяющего современным требованиям.

Для повышения класса гибкости в новой конструкции кабеля было увеличено количество скручиваемых проволок в ТПЖ с 7 до 19, сохраняя неизменным сечение ТПЖ.

Внутренний и внешний проводники разрабатываемого кабеля выполняются из посеребренной медной проволоки. Серебрение медной проволоки применяют для предохранения медной жилы от окисления при наложении изоляции из фторопласта и получения стабильных характеристик радиочастотных кабелей [4].

В данном кабеле применяется полувоздушная изоляция с кордельным заполнением, что способствует увеличению скорости распространения сигналов, повышению гибкости, приданию кабелю более круглой формы и обеспечивает уменьшение коэффициента затухания, электрической емкости и однородность волнового сопротивления по длине кабеля [4].

В качестве материалов изоляции разработанного радиочастотного кабеля с целью обеспечения заданных электрических и механических параметров использовались две марки фторопластов ПТФЭ и ФЭП.

Подобрав подходящие материалы элементов конструкции кабеля и осуществив расчет конструкции и технологических режимов для производства, были изготовлены образцы кабеля в 4 вариантах, отличающихся по используемому материалу изоляции ТПЖ и корделя.

Для всех изготовленных вариантов провели измерение конструкционных и электрическим параметров образцов, результаты которых приведены в таблице 2.

По полученным результатам измерений наиболее подходящим вариантом оказался вариант №1, где применялся материал изоляции ТПЖ и корделя фторопласт марки Ф-4Д.

Провели сравнительный анализ измеренных параметров разработанного кабеля с параметрами кабеля отечественного производства марки КВСФ-75 и кабеля импортного производства М17/176-00002, полученные характеристики оказались по некоторым параметрам лучше,

чем у кабеля отечественного производства и соответствуют американскому стандарту М17/176.

Таблица 2.

Результаты измерения конструкционных и электрических параметров разработанного кабеля

№	Материал Изоляции ТПЖ	Материал кордела	Диаметр по оболочке, мм	Диаметр по изоляции, мм	С0, пФ/м	α30МГц, дБ/м	ZB, Ом
1	Ф-4Д (ПТФЭ)	Ф-4Д (ПТФЭ)	3,3	1,1	65,85	0,29	73
2	Ф-4Д (ПТФЭ)	Ф-4МБ (ФЭП)	3,22	1,09	66,49	0,2	70,4
3	Ф-4МБ (ФЭП)	Ф-4МБ (ФЭП)	3,2	1,09	70,3	0,21	68,2
4	Ф-4МБ (ФЭП)	Ф-4Д (ПТФЭ)	3,26	1,09	68	0,21	68,9

Таким образом, характеристики разработанного кабеля по некоторым параметрам лучше, чем у кабеля отечественного производства марки КВСФ-75 и соответствуют американскому стандарту М17/176:

минимальное значение коэффициента затухания,

минимальное значение электрической емкости,

широкий интервал рабочих температур,

однородность электрических параметров по длине кабеля, прежде всего волнового сопротивления.

Разработанный кабель планируется внедрить в производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Harbour Industries/ http://www.harbourind.com

2. Giatech. Creating connectivity/ http://www.giatech.eu/

3. Каталог продукции. ОАО «ОКБ КП»/ http://www.okbkp.ru

4. Гальперович Д.Я., Павлов А.А., Хренков Н.Н. Радиочастотные кабели. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОЙ ЖИДКОСТИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ В КОНСТРУКЦИИ КАБЕЛЕЙ

Матери Т.М.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Актуальность работы:

Низковольтные кабельные изделия (КИ) эксплуатируются в условиях, когда оболочка и изоляция подвергаются одновременному воздействию многих факторов, включая действие агрессивных сред, среди которых на производстве и транспорте наиболее часто встречаются жидкие углеводороды: дизельное топливо, трансформаторное масло. В большой степени срок службы КИ зависит от способности противостоять действию этих факторов и определяется сроком службы самого слабого материала в конструкции. В России и за рубежом для производства маслостойких кабелей используют следующие материалы: термопластичные полиуретановые компаунды (TPU), полиамиды (PA), полиэтиленовые компаунды (PE), фторполимеры и специальные ПВХ-компаунды.

Данная работа позволит определить критические параметры устойчивости КИ к агрессивной среде и разработать модифицированную конструкцию кабеля с повышенной устойчивостью к воздействию агрессивной среды. Это даст производителям КИ надежные критерии выбора материалов и обеспечит надежную работу широкой номенклатуры низковольтных КИ в течение более длительного времени на транспорте и в во многих ответственных отраслях производства.

Цель:

Разработка конструкционных методов повышения устойчивости низковольтных кабельных изделий к воздействию агрессивной среды.

Разработка рекомендации по методике выбора критических параметров устойчивости к агрессивной среде.

В данной работе проведено сравнение устойчивости маслостойких проводов отечественного производства с маслостойкими кабелями марки Ölflex фирмы LAPP Cable (Германия). Отечественные провода сечением 4 мм2 представляют собой многопроволочную медную токопроводящую жилу (ТПЖ) с изоляцией полиуретанового типа и оболочкой из ПВХ пластиката. Толщина оболочки 0,8 мм.

Кабели марки Ölflex сечением 2.5мм2, марок:

- 440Р многопроволочная медная ТПЖ, с изоляцией из термопластичного эластомера, и оболочкой из TPU, не содержащие галогенов. Толщина оболочки 1,2 мм.

- 500Р многопроволочная медная ТПЖ, с изоляцией и оболочкой из TPU. Толщина оболочки 0,9 мм.

- Robust 200 многопроволочная медная ТПЖ, изоляция из термопластичного эластомера, с низкой емкостью, безгалогеновая, износостойкая безгалогеновая оболочка на базе специального термопластичного эластомера. Толщина оболочки 1,1 мм.

Обсуждение результатов.

На рис. 1 представлены зависимости набухания оболочки, мм от времени нахождения в агрессивной среде, час. На графике представлены зависимости для провода отечественного производства и кабелей производства Германии.

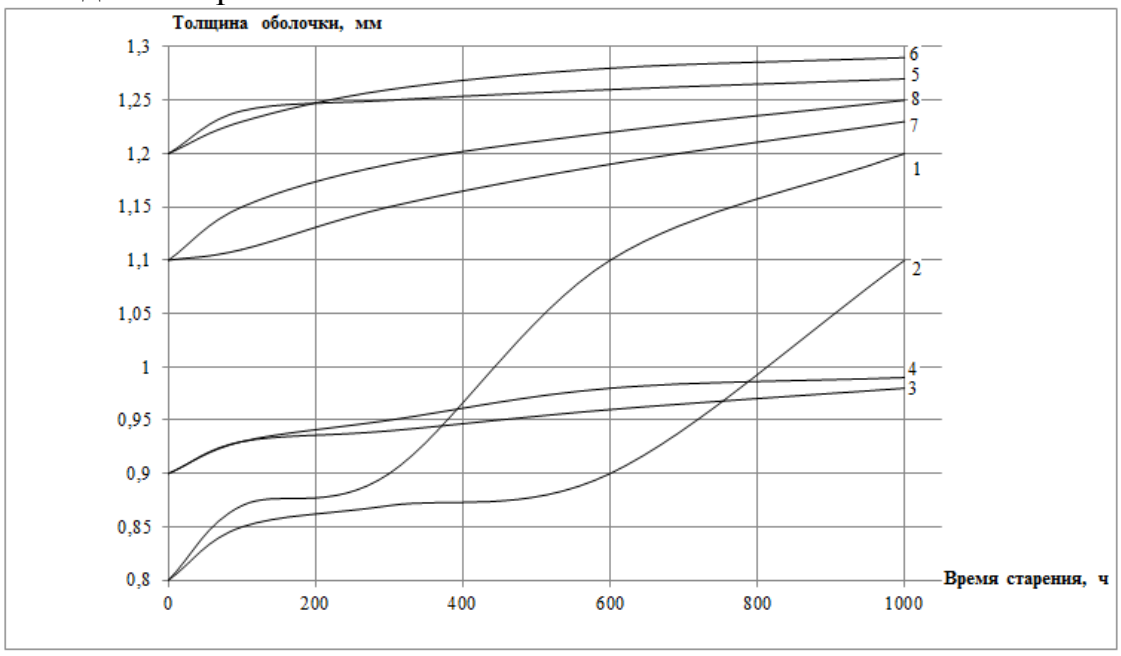


Рис. 1. Зависимость толщины оболочки, мм, от времени старения, час
1,2 – провод отечественного производства, находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе.
3, 4 – кабель производства Германии (500Р), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе.
5, 6 – кабель производства Германии (440Р), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе.
7, 8 – кабель производства Германии (Robust 200), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе

Как видно из рис. 1 толщина оболочки всех рассматриваемых в работе образцов с течением времени увеличивается.

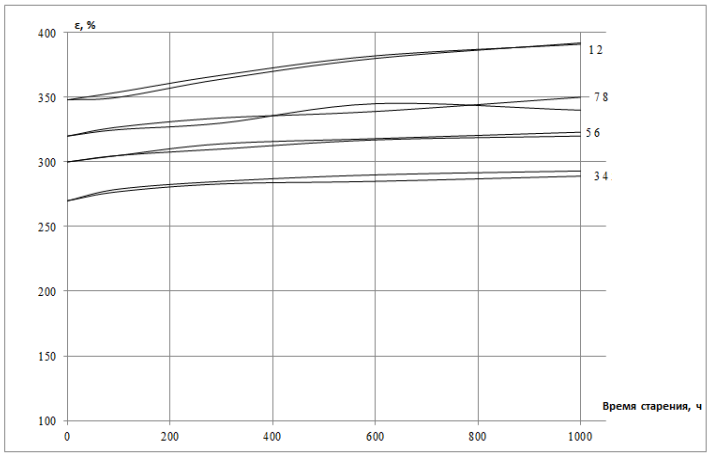


Рис. 2. Зависимость относительного удлинения, %, от времени старения, час

1,2 – провод отечественного производства, находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе; 3, 4 – кабель производства Германии (500Р), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе; 5, 6 – кабель производства Германии (440Р), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе;7, 8 – кабель производства Германии (Robust 200), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе

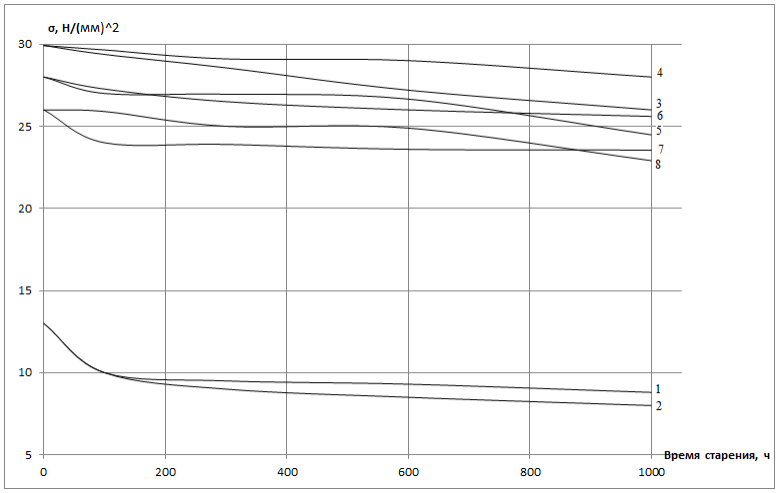


Рисунок 3. Зависимость предела прочности Н/мм2, от времени старения, час

1,2 – провод отечественного производства, находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе; 3, 4 – кабель производства Германии (500Р), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе; 5, 6 – кабель производства Германии (440Р), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе; 7, 8 – кабель производства Германии (Robust 200), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе

На рис. 2, 3 представлены зависимости относительного удлинения ε, % и прочности при разрыве σ, Н/мм 2 от времени нахождения в агрессивной среде, час., для провода отечественного производства и кабелей производства Германии.

Из сравнения данных рис. 1,2 и табл. 1,2 видно, что измеренные значения σ и ε находятся в хорошем соответствии с табличными данными.

Как видно из рис.2,3 относительное удлинение в период 1000 часов для кабелей марки Ölflex составило 10%, а для проводов отечественного производства 12%. Предел прочности уменьшается у проводов марки Ölflex за период 1000 часов на 11%, для проводов отечественного производства на 35-40%.

В целом, по результатам работы можно сделать следующие выводы:

Работа в агрессивных средах способна приводить к выходу из строя КИ за короткий промежуток времени (менее 150 часов).

Дизельное топливо оказывает большее воздействие на механические характеристики, чем трансформаторное масло.

Для кабелей и проводов, работающих в контакте с углеводородными жидкостями, в качестве оболочки более подходящим является ТЭП, по сравнению с ПВХ- пластикатом.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р МЭК 60811-2-1-2006 «Общие методы испытаний материалов изоляции и оболочек электрических и оптических кабелей».

2. http://www.prom-polymer.ru – Промышленные полимеры.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАРЕНИЯ ОДНОЖИЛЬНОГО ПРОВОДА С ИЗОЛЯЦИЕЙ И ОБОЛОЧКОЙ ИЗ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТА

Белёва Е.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время, кабели на низкое напряжение применяются практически во всех отраслях промышленности. Для этих кабелей основной причиной ухудшения свойств является тепловое старение. В последнее время в кабельной промышленности активно внедряются термоэластопласты (ТЭП). Эти материалы наиболее актуальны, но свойства ТЭП-ов изучены недостаточно, так как применяются они в качестве кабельных материалов сравнительно недавно.

Испытания на тепловое старение проводятся согласно ГОСТ Р МЭК 811-1-2-94. При этом старение образцов кабельных изделий проводится в термошкафах, то есть нагрев полимерных материалов происходит снаружи, тогда как в реальных условиях нагрев происходит со стороны токопроводящей жилы (ТПЖ). Таким образом, нагрев кабеля со стороны ТПЖ позволил бы более точно воспроизвести условия старения при его эксплуатации. В данной работе поставлена цель – провести ускоренное тепловое старение кабельного изделия по стандартной методике – в печи и при нагреве со стороны ТПЖ и сравнить результаты при различных способах старения.

Для исследования выбраны марки низковольтных кабельных изделий, простейшей конструкции: одножильный провод с изоляцией и оболочкой из ТЭП (ТЭП-1 и ТЭП-2 соответственно) двух сечений 2,5 мм2 и 120 мм2.

Как уже отмечалось, старение провода проводилось двумя способами – в печи (нагрев снаружи) и под действием токовых нагрузок (нагрев изнутри) в течении 300 часов. По ранее полученным характеристикам температуры токопроводящей жилы от величины пропускаемого тока были подобраны токовые нагрузки, обеспечивающие заданные температуры старения – 110, 120 и 130 °С.

С точки зрения теплового старения наиболее показательными являются данные по изменению механических свойств оболочки и изоляции кабельного изделия. На рисунках 1, 2, 3 и 4 представлены результаты измерения разрывной прочности σр и относительного удлинения при разрыве ε от времени старения t при температуре старения 110 °С для изоляции и оболочки провода, выполненной из ТЭП с номинальным сечением 2,5 мм2.

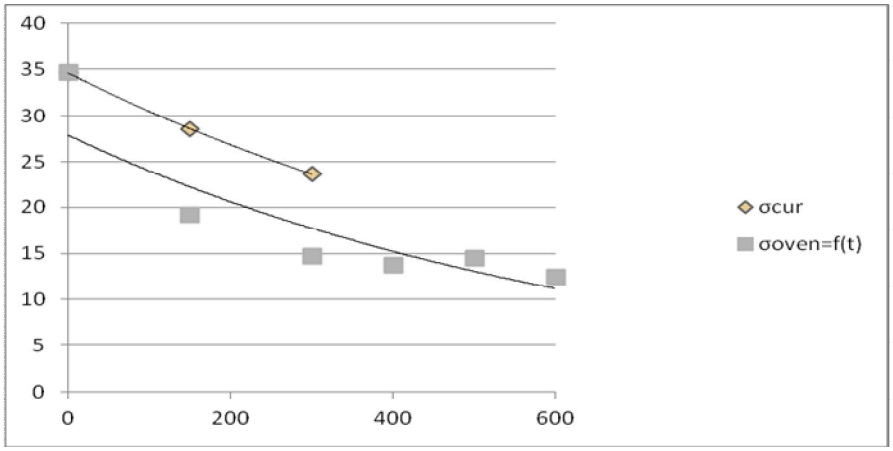


Рис. 1. Зависимость разрывной прочности σ (Н/мм2) от времени старения t (час) для оболочки провода сечением 2,5 мм2 который старился в печи (нижняя кривая) и под действием токовой нагрузки (верхняя кривая)

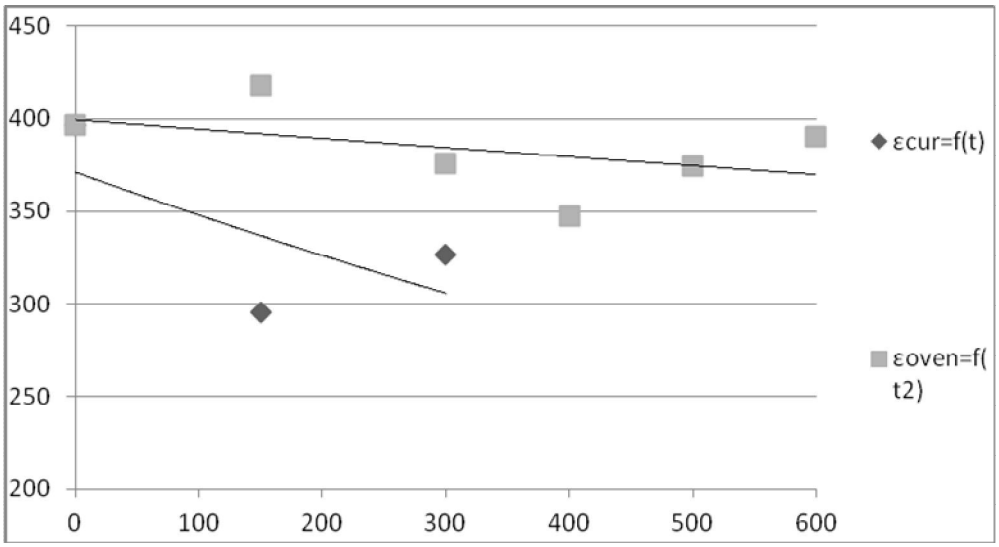


Рис. 2. Зависимость относительного удлинения ε от времени старения t (час) для оболочки провода сечением 2,5 мм2 который старился в печи (верхняя кривая) и под действием токовой нагрузки (нижняя кривая)

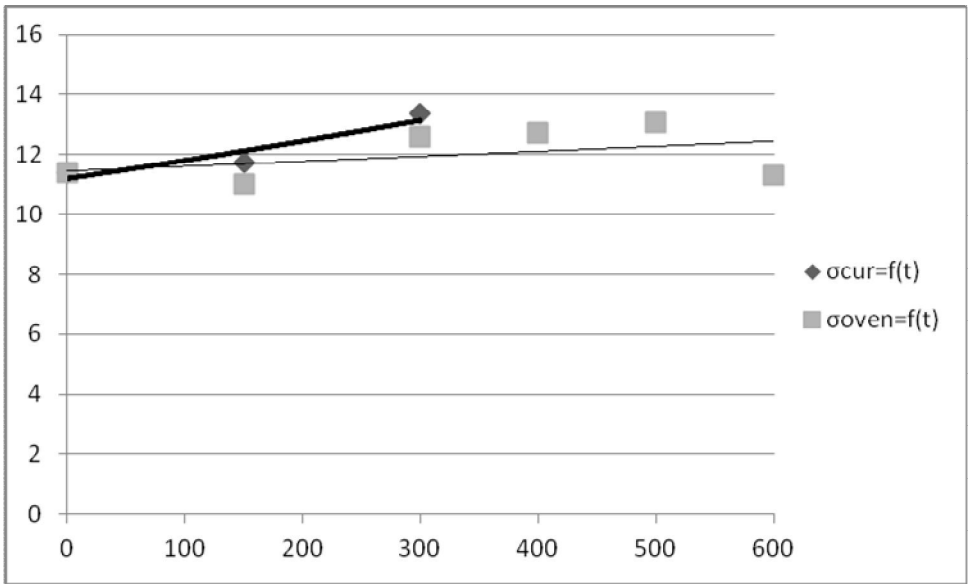


Рис. 3. Зависимость разрывной прочности σ (Н/мм2) от времени старения t (час) для изоляции провода сечением 2,5 мм2 который старился в печи (нижняя кривая) и под действием токовой нагрузки (верхняя кривая)

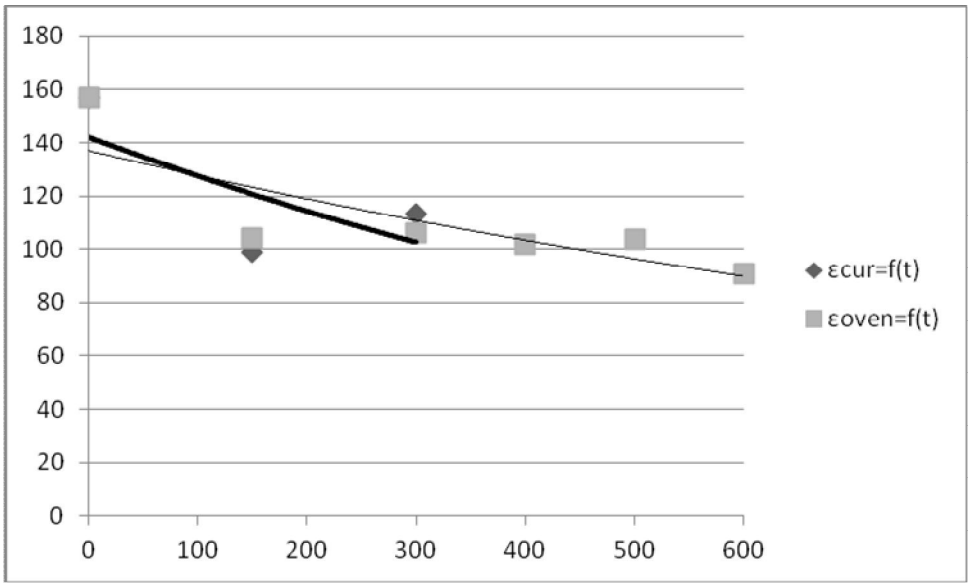


Рис. 4. Зависимость относительного удлинения ε от времени старения t (час) для изоляции провода сечением 2,5 мм2 который старился в печи (нижняя кривая) и под действием токовой нагрузки (верхняя кривая)

Значения разрывной прочности у материала оболочки для выбранного сечения (рис. 1) при старении провода в печи и под действием токовых нагрузок отличаются на 9 Н/мм2 для точки, соответствующей 300 часам старения провода. Форма кривой в обоих случаях одинакова и имеет спадающую форму.

Значения разрывной прочности у материала изоляции для данного сечения (рис. 3) при старении провода в печи и под действием токовых нагрузок отличаются на 0,76 Н/мм2 для точки, соответствующей 300 часам старения провода. В обоих случаях значение σ увеличивается. Поскольку материалом изоляции служит полиолефиновый ТЭП, то увеличение σ может быть связано с испарением пластификатора.

Значения относительного удлинения у материала оболочки (рис. 2) при старении провода в печи и под действием токовых нагрузок отличаются приблизительно на 60%, а для материала изоляции на 7% (рис. 4), для точек, соответствующей 300 часам старения провода. Во всех случаях кривые имеют спадающий характер. Для уретановых ТЭП (оболочка) ухудшение эластических свойств, при одновременном снижении прочности, происходит в результате деструкции аморфной фазы.

Такое поведение не является характерным для композиций на основе термопластичных гомополимеров, таких например, как ПВХ. Обычно снижение разрывной прочности сопровождается увеличением относительного удлинения при разрыве.

Структурные изменения ТЭП при тепловом старении могут быть связаны с изменением структуры аморфного полимера, что приводит к изменению механических характеристик. Возможно, что структурные изменения ТЭП при тепловом старении обусловлены перестройкой «мягкой» и «жесткой» фаз.

Таким образом, для материала оболочки, разница между разрывной прочностью при различных способах старения, составляет 9 Н/мм2, а разница между относительным удлинением 60%. А для материала изоляции эти показатели составили 0,76 Н/мм2 и 7% соответственно. Как видно, отличие в значениях в обоих случаях не велико. Отсюда можно заключить, что оба способа старения одинаково изменяют свойства материалов, т.е. предложенный способ старения – под действием токовых нагрузок, может адекватно воспроизвести традиционный, основанный на старении в печи.

В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Разработана методика, позволяющая проводить старение кабельного изделия при нагреве со стороны ТПЖ;
2. Получено хорошее соответствие между расчетными и экспериментальными данными, что позволяет судить об адекватности полученных зависимостей;
3. Определены температуры старения образцов кабельных изделий;
4. Проведено старение образцов провода при различных способах нагрева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Холден и др. Термоэластопласты / пер. с англ. 3 – го издания под ред. Б.Л. Смирнова – СПб.: ЦОП «Профессия», 2011. – 720 стр.

2. ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 1-1. Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки и расчет потерь.

3. Кабели и провода. Основы кабельной техники/А.И. Балашов, М.А.Боев, А.С.Ворондов и др. Под ред. И.Б.Пешкова. – М.: Энергоатомиздат, 2009 – 470с.

4. Павлов Н.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях. – М.:Химия, 1982, 224 с.

КРУГЛЫЙ СТОЛ 4.
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

АУТСОРСИНГ КАК ИНСТРУМЕНТ СОКРАЩЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Видяев И.Г.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск

Сегодня, повышая энергоэффективность промышленного предприятия, его руководство, в первую очередь, думает о привлечении инвестиционных ресурсов для проведения мероприятий по обновлению энергетических фондов, оптимизации имеющихся энергетических мощностей предприятия, внедрения автоматизированных систем контроля и потребления энергии, но незадумывается о возможности передачи задач и функций эффективного обеспечения энергоресурсами предприятия сторонней организации. Даже если это несет выгоду для предприятия. В промышленных отраслях этот процесс получил название аутсорсинг.

Термин «аутсорсинг» (outsourcing) появился в иностранной литературе в середине 80-х прошлого столетия, и перешел в русский во второй половине 90-х годов. Собственно название концепции отражает её суть – передача вовне части собственных ресурсов (функций, бизнес-процессов) сторонней компании [1]. Казалось бы – зачем?

В недавнем прошлом большинство промышленных предприятий строились по принципу самодостаточности. Например, на такое металлургическое предприятие достаточно было завести тонны железной руды и шихтовых материалов, и можно было вывозить с него готовую продукцию.

С развитием рыночных отношений выяснилось, что закупать у субподрядчиков или даже конкурентов ряд сырья или услуг бывает выгоднее, чем производить самим. Даже с учетов высоких транспортных расходов. Рано или поздно производственным предприятиям придется сделать выбор: осуществлять полный цикл разработки и производства продукта или передать часть второстепенных функций на аутсорсинг. Передаются специализированным компаниям управление производством и распределением электроэнергии, тепловой энергии и воды [2]. Постепенно в России создается инфраструктура, позволяющая более свободно выбирать внешние пути решения внутренних проблем. Особенно заметно стало развитие всевозможного аутсорсинга после кризиса 1998 года, когда

многие компании удосужились подсчитать свои затраты на содержание замкнутого бизнес-цикла.

Годными для аутсорсинга считаются функции зрелые, то есть те, в которых не прогнозируется инновация, способная дать компании стратегическое преимущество. Поэтому компании идут на аутсорсинг для того, чтобы сосредоточиться на своей основной деятельности, а не заниматься управлением столовыми, уборщиками, начислением в пенсионные фонды, вылавливанием компьютерных вирусов.

Итак основным движущим мотивом аутсорсинга является желание руководства компании сконцентрировать ресурсы организации на основном виде её деятельности, отдав все второстепенное «на сторону». «Мы занимаемся только тем, что умеем делать хорошо!» Отчасти аутсорсинг – это «волна» от концепции специализации бизнеса, в качестве основного конкурентного преимущества, которая была популярна в последнее время в стратегическом менеджменте.

Другими факторами привлекательности аутсорсинга является ситуация, когда внешний поставщик услуг способен обеспечить экономию и/или более высокий уровень качества услуг за счет специализации, более дешевой рабочей силы или эффекта масштаба. Аутсорсинг может позволить экономить энергоресурсы организации. Еще одним двигателем, менее очевидным на первый взгляд для организации, является возможность учиться у своего поставщика услуг. Аутсорсинг привел к стремительному росту целого ряда новых профессий и видов бизнеса, связанных с управлением рабочей силой, которую более никто не хочет иметь у себя в организации в постоянном штате. Как правило, это или очень низкооплачиваемые и малопрестижные виды работы (такие, как уборка помещений), или сверхспециализированные профессии, где поддержание необходимого профессионального уровня сотрудников или их загрузка для организации представляется проблематичным (примером является обслуживание компьютерных систем для небольшой организации).

Какие преимущества и проблемы способен принести аутсорсинг в организацию [3,4]:

1. «Плюсы» аутсорсинга:

- Возможность повысить прибыльность и энергоэффективность бизнеса.
- Концентрация руководителей на основном бизнесе. Талантливых менеджеров всегда не хватает. Не отвлекайте их от главного дела компании. Пусть о побочных вещах позаботятся другие.
- Использование чужого опыта.

- Внедрение передовых технологий. Специализированная энергетическая компания раньше любой отраслевой фирмы знакомится с новыми технологиями.
- Повышение качества и надежности обслуживания. Аутсорсинговая компания обычно дает гарантии и несет финансовую ответственность за качество выполняемых работ.
- Укрепление потенциала роста. Для аутсорсинговой компании увеличение объема вашего бизнеса, вероятно, не станет такой проблемой, как для собственной службы.

2. «Минусы» аутсорсинга:

- Опасность передачи слишком большого количества жизненно важных функций в чужие руки.
- Угроза отрыва руководящего звена от бизнес-практики. Если все вопросы за менеджеров решают другие, то зачем они нужны?
- Угроза утечки внутренней информации.
- Может быть потерян непосредственный контроль над процессом. Аутсорсер сам решает – как выполнять возложенную на него функцию, что может не совпадать с видением компании.

На рынке аутсорсинга, как и на любом другом, встречаются мошенники.

В качестве примера плюсов и минусов аутсорсинга вы можете вспомнить проблемы и преимущества бытового аутсорсинга – приглашения в дом домработницы или няни для ребенка.

В заключение, уже зная о преимуществах и недостатках аутсорсинга, хотелось бы еще раз дать ему определение. Итак «аутсорсинг» – это передача не критических для жизни организации функций, бизнес-процессов, энергоресурсов внешнему поставщику, в целях повышения их качества и экономии (концентрации) энергоресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Видяев И.Г. Ресурсоэффективность отрасли: учебное пособие / И.Г. Видяев, Т.Р. Рахимов, С.О. Тимаков; Томский политехнический университет. − Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 231 с.

2. Ермошкин Н. Что дает аутсорсинг? // Ведомости. – 2004. − № 82.

3. Аутсорсинг как вид заёмного труда: быть или не быть? // 4dk.ru/process/consultations/2012/1/3105/. 24.09.2012.

4. Аутсорсинг. Полезная информация для бизнеса. http://www.outsort.ru/page/49/. 24.09.2012.

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И БИЗНЕСС-ПРОЦЕССОВ

Лаптев И.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Затраты на программное обеспечение составляют значительную долю IT-бюджета компании, иногда превышающую затраты на оборудование или оплату труда IT-специалистов. В нашей стране исторически сложилось пренебрежительное отношение к обязанности платить за лицензионное программное обеспечение. Но в связи со вступлением в ВТО, вопросы «лицензионной чистоты» программного обеспечения становятся все актуальнее. Не говоря уже об административной и уголовной ответственности, которая может возникнуть в случае выявления нелицензионного ПО в организации контролирующими органами, вся работа организации может быть парализована на длительное время из-за изъятия оборудования, на котором было установлено нелицензионное ПО.

Для сокращения затрат на программное обеспечение и повышения эффективности его использования разработаны различные методы и технологии: Автоматизированный контроль использования ПО производится при помощи специальных программных продуктов, которые периодически «обходят» компьютеры организации и просматривая реестр компьютера «подсчитывают» программное обеспечение, установленное на компьютере. Таким образом системный администратор регулярно получает отчеты о наличии программного обеспечения, установленного на персональных компьютерах сотрудников и серверах организации.

Это позволяет: выявлять несанкционированно установленное ПО; выявлять нелицензионное программное обеспечение и сравнивать количество установленных в организации единиц ПО с количеством имеющихся в наличии лицензий на него; отслеживать устаревшие версии ПО и заменять их на новые; анализировать частоту использования ПО.

Существуют так же средства, специализированные именно для автоматизированного контроля наличия лицензий на программное обеспечение. Они идут немного дальше просто контроля лицензионности ПО, и предназначены для планирования необходимого количества лицензий. Лицензии обычно выдаются на какой-то ограниченный срок, поэтому отследить – когда он истечет и заложить в инвестиционный план закупку новой лицензии, при определенном количестве ПО становится нетривиальной задачей, непосильной для одного человека. Если учесть еще тот фактор, что во многих организациях инвестиции планируются за

несколько лет вперед, оправданность автоматизации лицензионного контроля становится однозначно оправданной. Помимо исключения штрафов за использование нелицензионного ПО, подобные продукты позволяют подобрать оптимальное ценовое предложение от поставщиков. Сейчас поставщики ПО предлагают довольно разнообразные схемы лицензирования, основывающиеся не только на количестве компьютеров, на которых установлено ПО, но и например по количеству ядер процессоров, по сетевым подключениям к серверу и т. д. Есть специализированные схемы для учебных заведений, для малого бизнеса, для разработчиков программного обеспечения, для временного использования ПО и т. д. Это позволяет значительно сэкономить, если вы знаете точно, сколько лицензий, для каких условий, и на какой срок вам нужно.

Анализ использования программного обеспечения в организации может выявить еще одну возможность сократить расходную часть IT-бюджета организации. Зачастую различные виды вспомогательного ПО (лингвистические переводчики, графические редакторы, программы сканирования и записи на оптические диски) используются отдельно взятым человеком достаточно редко – один раз в неделю, месяц, а иногда и в несколько месяцев. Тем не менее, такое программное обеспечение необходимо, поэтому приходится покупать лицензии на весь коллектив. Если речь идет например о графических редакторах, стоимость одной лицензии может составлять несколько тысяч USD. То есть полная стоимость необходимого пакета ПО может составлять несколько сотен тысяч USD. В данном случае «обобществление» вспомогательного ПО поможет в разы сократить неэффективные расходы. Необходимые программы устанавливаются на выделенный ПК или сервер, на который через «удаленный рабочий стол» (RDP) может подключиться любой сотрудник организации. Таким образом любой сотрудник может воспользоваться необходимым ПО. Поскольку пользуется он им редко – небольшое удлинение процедуры подключения не составит особого труда, а экономический эффект налицо.

В последнее время активно обсуждается использование «облачных» технологий для сокращения расходов организации. Первым шагом в сторону «облаков» была идея «аутсорсинга» (outsourcing). Заключалась она в том, что некоторые некритические IT-процессы (например ремонт IT-оборудования) организация может не организовывать внутри себя самостоятельно, а передавать на исполнение сторонним организациям. Таким образом организация сокращает непрофильные расходы, доверяя дело профессионалам с хорошим опытом.

Продолжением этой концепции стала идея «передать» в чужие руки и некритическое IT-оборудование (вместе с расходами на его функционирование, модернизацию, обслуживание и т. д.). Название «облако» (cloud) эта концепция получила скорее всего из-за характерного элемента на блок-схемах, которым обычно обозначают нечто, не относящееся к теме блок-схемы.

Особенно это удобно для небольших организаций или проектов, действующих ограниченное время. Иметь сервер баз данных, почтовый сервер и сервер выхода в интернет – это уже жизненная необходимость для любой организации, а организовывать собственный маленький ЦОД будет для небольшой компании непосильным излишеством. «Облачная» компания «нарезает» свои мощные сервера «кусочками» – виртуальными серверами, предоставляя их в аренду в качестве выделенного, изолированного от других сервера. Арендуя виртуальный сервер «облачной» компании, арендатор получает постоянно современное, отказоустойчивое, обслуживаемое на высоком профессиональном уровне «оборудование», действующее ровно столько сколько нужно. Дальнейшим развитием концепции «IT-облаков» стала аренда не только виртуальных серверов, а и программного обеспечения. Вместо того чтобы покупать, развертывать и поддерживать работу программного обеспечения, компания может арендовать уже готовый сервис. Так, сотрудник загрузив в браузере «облачный» текстовый редактор MS Word, может создать в нем текстовый документ точно так же как и в обычном, установленном на стационарном компьютере. Если вам нужно на неделю воспользоваться бухгалтерской программой для сдачи налоговой отчетности – дешевле будет взять её в аренду, чем покупать на всю жизнь.

Понимание путей повышения ресурсоэффективности может быть достигнуто в ходе оптимизации бизнес-процессов. Чаще всего такой проект инициирует руководство организации в условиях некоего кризиса, когда ищет кардинальные способы реорганизации деятельности. В некоторых компаниях описание, анализ и оптимизация бизнес-процессов – это перманентный процесс, которым занимается отдельная служба. В любом случае, для повышения ресурсоэффективности необходимо включить её, в ходе анализа и моделирования бизнес-процессов, в качестве одного из критических факторов успеха (КФУ). Таким образом, скорректированная модель бизнес-процессов позволит добиться оптимального расходования ресурсов в ходе производственного процесса

Пример: Допустим речь идет об оптимизации деятельности хлебобулочного цеха. Проанализировав бизнес-процессы, рабочая группа предложила оптимальную модель работы с точки зрения взаимодействия с поставщиками и сбытовыми организациями. Включив в перечень

критических факторов, при помощи которых оценивается эффективность процесса такой параметр как экономия ресурсов, рабочая группа предложила перевести производство в ночную смену. В структуре затрат хлебобулочного производства затраты на электроэнергию составляют значительную долю. Тарифы на электроэнергию постоянно растут, следовательно доля прибыли в конечной цене продукта будет постоянно снижаться. Поставщики электроэнергии недавно ввели раздельные тарифы для дневного и ночного потребления электроэнергии. Разница между оплатой средней нормы потребления электроэнергии за месяц по дневному и ночному тарифу, с запасом покрывает необходимые затраты для перевода производства в ночной режим. После того как первичные затраты окупятся, цех, работающий в ночном режиме, увеличит норму прибыли.

Потенциал оптимизации ресурсоэффективности организации может располагаться подчас в довольно неожиданных для её сотрудников ньюансах деятельности. Зачастую это происходит потому, что никто никогда не анализировал работу компании с этого ракурса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Монастырный Е.А., Видяев И.Г. Оценка взаимного влияния социальной и инновационной систем региона // Экономика и управление. – 2009. – № 2.5. – С. 40-46.

2. Монастырный Е.А., Видяев И.Г. Методические подходы к моделированию социально-экономической системы региона // Экономика и управление. – 2008. – № 1. – С. 64-68.

3. Мартюшев Н.В. Программные средства для автоматического металлографического анализа // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 79-79.

4. Видяев И.Г. Комплексная модель региональной системы инновационного типа // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – № 6 (312). – с. 24-27.

5. Мартюшев Н.В., Синогина Е.С., Шереметьева У.М. Система мотивации студентов высших учебных заведений к выполнению научной работы // Вестник Томского государственного педагогического университета = Tomsk State Pedagogical University Bulletin. – 2013. – № 1. – с. 48-52.

6. Yakovlev A.N., Kostikov K.S., Martyushev N.V., Shepotenko N.A., Falkovich Yu.V. Institute of high technology physics experience in masters of engineering and doctoral training: the platform for cooperation with russian and international companies in the domain of material science and physics of high

energy systems // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – № 11-3 (55). – с. 261-263.

РЕЗИДЕНТНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Горелова А. Ю., Кристаль М. Г
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Изготовление серийных деталей на автоматизированном оборудовании производится, как правило, по уже отлаженным технологическим процессам. Однако, не всегда удается обеспечить требуемое качество изделия. Это связано с тем, что элементы технической системы подвергаются в процессе обработки изнашиванию, тепловым, силовым и динамическим воздействиям, которые добавляют к исходным погрешностям траектории формообразования и настройкам станка дополнительные погрешности, связанные с указанными факторами [1].

Кроме того, начало отладки того или иного технологического процесса обработки начинается с назначения требуемых режимов, справочные данные по которым обладают существенным разбросам по значениям. Это связано с разбросом, как механических свойств обрабатываемого материала, так и режущих свойств инструментов.

При изготовлении на станках с ЧПУ дорогостоящих изделий с высокими требованиями к качеству поверхности, необходимо максимально компенсировать эти погрешности. Для обеспечения жесткости станка в современных СЧПУ предусмотрена система самодиагностики, и процесс механической обработки начинается только при условиях исправности всех узлов станка и отсутствия ошибок в программе (несоответствующий инструмент, невыполнимый контур, некорректные перемещения).

Управляющая программа генерируется либо самой СЧПУ, либо загружается в неё перед началом обработки. Среди параметров, которые вводятся в некоторые СЧПУ до начала обработки помимо режимов и инструментов, необходимо ввести ещё и допустимый износ инструмента. Такие системы предполагают возможность автоматического контроля состояния инструмента. Например, система ЧПУ SINUMERIK 840D sl ShopTurn оснащена специальным щупом, который позволяет контролировать износ инструмента в автоматическом режиме [2].

Однако в указанной СЧПУ не предусмотрена возможность активного контроля качества изготовления изделий по какому-либо диагностическому параметру. Перемещения по координатам производится строго по программе и не подвергается коррекции.

Существует ряд методов, позволяющих обеспечивать надежность и производительность работы токарных и фрезерных станков с ЧПУ в автоматическом режиме, путем определения допустимой скорости резания по оперативной информации о свойствах контактируемых пар на основе измерения термоЭДС пробного хода на фиксированных режимах обработки. Схема регистрации и обработки сигнала термоЭДС на станке с ЧПУ представлена на рис.1. [3].

Однако, как пишут сами авторы, на точность измерений оказывают влияние вторичные (паразитные) термоЭДС, возникающие в местах перехода от режущей пластины к корпусу инструмента и искажающие истинное значение полезного сигнала [3].

В литературе приводится пример систем ЧПУ, позволяющих корректировать перемещение по координатам в зависимости от пластической деформации заготовки, рассчитанной по математической модели. Описанные системы производят коррекцию перемещения по управляемым координатам после каждого шага программы [4]. В этом случает к погрешности, связанной с математической моделью прибавляется погрешность датчика перемещения и опять же нельзя гарантированно говорить об обеспечении заданного качества изделия.

Но эти методы имеют еще несколько существенных недостатков, главным из которых является необходимость установки дополнительного оборудования на станок для съема диагностического сигнала.

Известна система, позволяющая производить коррекцию режимов обработки по нескольким диагностическим параметрам. В качестве параметров выбраны: температура в зоне резания и нагрузочные характеристики резания. Основными элементами являются: токарный станок с числовым программным управлением (ЧПУ), на котором производится размерная обработка деталей по заданной программе; внешняя ЭВМ, управляющая ходом протекания процесса обработки по заданному критерию; измерители параметров процесса резания, которые включают датчики и устройства измерения, выполняющие необходимые преобразования сигналов и передачу их в управляющую ЭВМ. Информация, получаемая от измерителей параметров процесса, является входной для системы управления процессом; устройства управления параметрами обработки, которые включают в себя устройства формирования управляющих воздействий и исполнительные механизмы, через которые эти воздействия реализуются на станке с ЧПУ [5].

Недостатком указанной системы является отсутствие возможности корректировки управляющей программы в процессе обработки.

Таким образом, актуальной задачей является выбор диагностического сигнала, метода регистрации и создание системы коррекции режимов обработки по величине этого сигнала.

Учитывая то, что СЧПУ производит передачу управляющей программы на станок построчно и непрерывно, необходимо вводить коррекцию «налету», что создает дополнительные трудности при разработке такой системы.

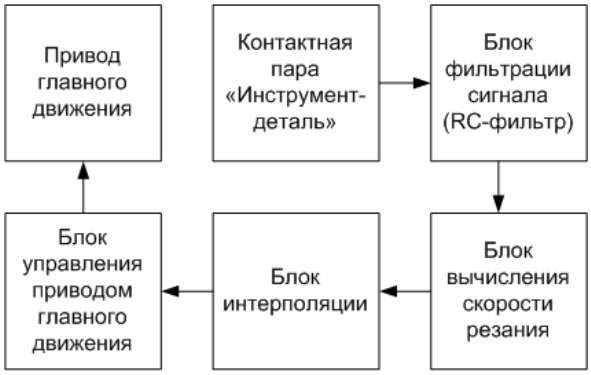


Рис.1. Регистрация и обработка сигнала термоЭДС

Предложено модифицировать СЧПУ путем создания резидентной программы. Необходимость разработки предложенного типа программы обусловлена тем, что данные, содержащиеся в строке программы, требуется «подменять» параллельно с выполнением. Вызов программы осуществляется автоматически перед началом обработки и её выполнение происходит одновременно с выполнением программы обработки. После каждого шага программа получает значение диагностического параметра и при достижении величины порогового значения производит процентное изменение режимов обработки. При наличии изменений в режимах часть программы обработки мгновенно подменяется на скорректированную и продолжается обработка (рис. 2). Зеленым обозначена стандартная часть СЧПУ станка, желтым цветом показан модифицирующий блок (резидентная программа) .

Стандартная часть СЧПУ получает CLDATA в качестве входящего файла и производит трансляцию в коды станка. Далее производится расчет коррекции координат по вычисленной пластической деформации заготовки. Запуск блока «Выполнение кадра» вызывает резидентную программу, которая осуществляет: получение диагностического сигнала, обработку этого сигнала и коррекцию режимов обработку в процентах. По результатам расчета коррекции программа производит подмену части обрабатывающей программы .

Запрограммированная подача или ускоренный ход соответствует 100% и может регулироваться от 0% до 120%, при ускоренном ходе только до 100%. Заново установленная подача появляется как абсолютное значение и в процентах на индикации состояния подачи на дисплее ЧПУ.

Запрограммированное число оборотов шпинделя соответствует 100% и может регулироваться от 50 до 120%. Заново установленное число оборотов шпинделя появляется как абсолютное значение и в процентах в индикации состояния шпинделя на дисплее. Возможность пропорциональной коррекции режимов уже существует в некоторых система, однако, эта функция доступна только оператору станка. Регулировка вводиться с пульта оператора и никак не отображается в управляющей программе [2].

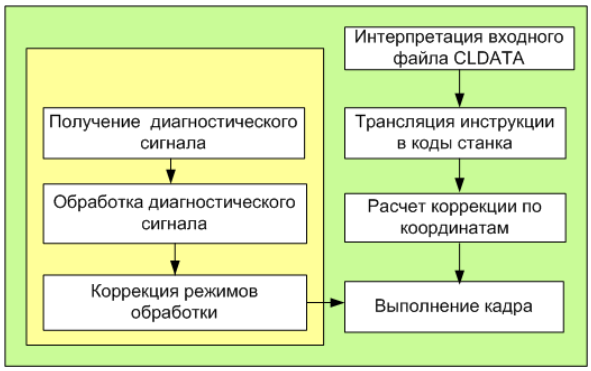


Рис. 2. Модифицированная СЧПУ

Проблема выбора диагностического параметра и его оценки является до сих пор однозначно не решенной.

Модификация СЧПУ резидентной программой позволит повысить точность изготовления детали за счет своевременного ввода коррекции режимов обработки. Для назначения диапазонов значений датчика и допустимых процентных изменений режимов необходимо произвести дополнительные исследования и раскрыть подробнее взаимодействие модулей ЧПУ между собой и с приводами станка. Эта информация является закрытой, так как содержит коммерческую тайну.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев С. Н., Маслов А. Р., Схиртладзе А. Г. Обеспечение качества деталей при обработке резанием в автоматизированных производствах: учебник. Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 412 с.

2. © ООО Siemens 2008 A-446 SINUMERIK 840D sl Управление/ программирование ShopTurn (BATsl). Выпуск 01/2008

3. Пат. 2312750 Российская Федерация, МПК B 23 Q 17/09. Способ контроля состояния режущих кромок сборных многолезвийных инструментов / Плотников А.Л., Крылов Е.Г. – Опубл. 20.12.07, Бюл. №35.

4. Петраков Ю. В., Драчев О. И. Автоматическое управление процессами резания: учебное пособие. тарый Оскол: ТНТ, 2011. – 408 с.

5. Безъязычный В. Ф. Метод подобия в технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2012. – 320 с.

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Беккер А. В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Одним из наиболее значимых направлений совершенствования производства является внедрение ресурсоэффективных технологий, позволяющих максимально рационально использовать ресурсы, увеличивать объем производства без применения дополнительных капитальных затрат, сокращать вред от антропогенного воздействия на окружающую среду.

Большинство нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) России появились в два послевоенных десятилетия. С 1945 по 1965 г. было введено в эксплуатацию 16 заводов, или более половины действующих на сегодняшний день в РФ.

За 1966—1991 гг. в СССР было построено только 7 новых НПЗ, из них 6 — вне России (в Лисичанске, Мозыре, Мажейкяе, Чарджоу, Чимкенте и Павлодаре). Единственным новым нефтеперерабатывающим предприятием, построенным после 1966 г. на территории РСФСР, стал Ачинский НПЗ, введенный в эксплуатацию в 1982 г. Кроме того, в 1979 г. была организована переработка нефти в Нижнекамске («Нижнекамскнефтехим») для обеспечения потребности в сырье нефтехимического производства[1].

Для оценки качества использования нефтяного сырья, в нефтепереработке используется такой процентный показатель как глубина переработки нефти, показывающий долю легких углеводородов в продукте. Низкие показатели означает недостаточно глубокую переработку нефти, а значит неэффективное использование нефтяного сырья.

Как отмечается в исследовании РБК.research «Нефтеперерабатывающая отрасль России и рынок нефтепродуктов 2013», глубина переработки нефти в России по итогам 2012 г. не превысила 71%[2].

Средняя глубина переработки в США составила за 2011-2012 г. 95%, в Европе 90%.

Внедрение ресурсоэффективных технологий в России целесообразно будет рассматривать после выхода нашей нефтеперерабатывающей промышленности на уровень США и Европы, низкая глубина переработки нефти является тормозящим фактором развития эффективного использования ресурсов.

Проблемой низкой глубины переработки нефти занимаются руководства многих российских компаний, основной способ борьбы с проблемой – замена оборудования и более совершенное технологическое оснащение. Например, в 2011 году Ачинский НПЗ переработал 7,508 млн. тонн нефти, впервые в своей истории преодолев рубеж в 7,5 млн. тонн. Глубина переработки составила 62,32%. С 2008 года по 2010 год на Ачинском НПЗ был реализован ряд инвестиционных проектов. Ведены в эксплуатацию комплекс химводоподготовки, установка утилизации сероводородного газа и производства гранулированной серы, полигон хранения отходов производства и потребления. Завершен перевод ТЭЦ завода на совместное сжигание жидкого и газообразного топлива. Для увеличения глубины переработки нефти и выполнения требований Технического регламента на предприятии продолжается реализация комплексного проекта развития завода, который предусматривает строительство комплекса по производству нефтяного кокса, комплекса гидрокрекинга, второй установки изомеризации, объектов общезаводского хозяйства[3].

Таким образом, особенностью внедрения ресурсоэффективных технологий в нефтегазовую промышленность является комплексный подход к организации производства и использование современных технологических возможностей и решений для переработки природных энергоносителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. По данным Министерства энергетики Российской Федерации, Нефтеперерабатывающая промышленность России. [Электронный ресурс]: свободный доступ; 2003 г. URL: http://geo.1september.ru/2004/13/13.htm (Дата обращения: 15.10.2012)

2. РБК Research, Нефтеперерабатывающая отрасль России и рынок нефтепродуктов.[Электронный ресурс]:свободный доступ; 2013 г. URL:

http://marketing.rbc.ru/news_research/08/04/2013/562949986483705.shtml (Дата обращения: 19.10.2012)

3. ОАО «Роснефть» Ачинский нефтеперерабатывающий завод, [Электронный ресурс]: свободный доступ 2013 г. URL: http://achnpz.ru/index.php (Дата обращения: 19.10.2012)

СОЗДАНИЕ ПРИКЛАДНОЙ БИБЛИОТЕКИ МОДЕЛЬНОЙ ОСНАСТКИ В СРЕДЕ КОМПАС-3D

Висторопский А.Д., Жохов Р.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Очень часто при создании сборок в программе КОМПАС-3D используются модели, отличающиеся друг от друга только значениями своих параметров. Обычно это типовые детали – втулки, кольца, пластины и т.п. При вставке в сборку модели с диска в этой сборке не создается копия модели, а формируется ссылка на ее файл. Таким образом, для вставок типовых моделей, имеющих различные комбинации значений параметров, необходимо иметь на диске столько файлов этих моделей, сколько вставок предполагается сделать.

Для решения этой проблемы и сокращения времени создания сборок, создают одну параметрическую модель и уже при вставке в сборку изменяют ее параметры. Такие модели хранятся в собственных библиотеках или уже имеющихся в среде КОМПАС-3D. Модели, созданные в библиотеке, не являются отдельными файлами, а входят в единый файл библиотеки.

Использование в работе библиотеки моделей упрощает поиск готовых компонентов, создание однотипных моделей и ускоряет создание сборок.

Одним из направлений НИРС на кафедре ЛХОМ ДГТУ является «Моделирование литейных процессов». В настоящие время ведется работа над созданием библиотеки литейной оснастки для ПГС форм.

Для создания библиотеки в меню «сервис» выбирали «менеджер библиотек» и в контекстном меню команду «добавить описание – библиотеки документов» (рис.1). Созданной библиотеке присваивали соответствующее название.

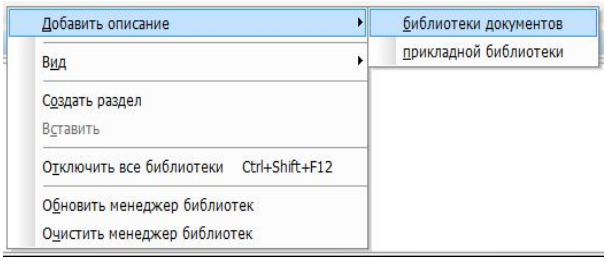


Рис.1. Создание библиотеки

Для удобства поиска в библиотеке созданы разделы, в которых будут храниться определенные модели-исходники.

В библиотеке можно создать новую модель-исходник или загрузить уже имеющуюся модель (рис.2).

Модели могут иметь различные комбинации параметров, но при этом модель-исходник не будет менять свои размеры.

При выборе модели-исходника в менеджере библиотеки изображается ее 3D-модель и комментарии к ней (рис. 3).

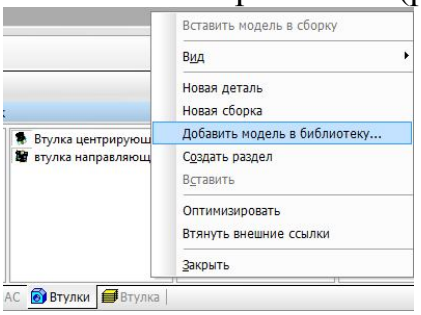


Рис.2. Добавление модели-исходника в библиотеку

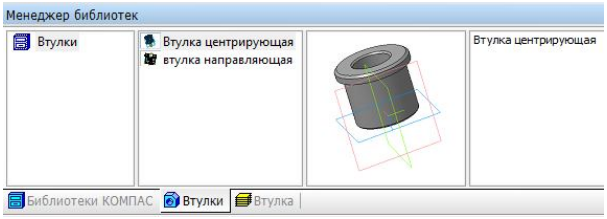


Рис. 3. Раздел библиотеки «Втулки»

При создании новой модели-исходника выполняли ее параметризацию. Для этого были проставлены размеры на те параметры, которые в дальнейшем будут изменяться, а также установлены ограничения на эскизы модели при помощи команд: перпендикулярно, параллельно, коллинеарность, равенство длин (радиусов) и т.п. (рис. 4).

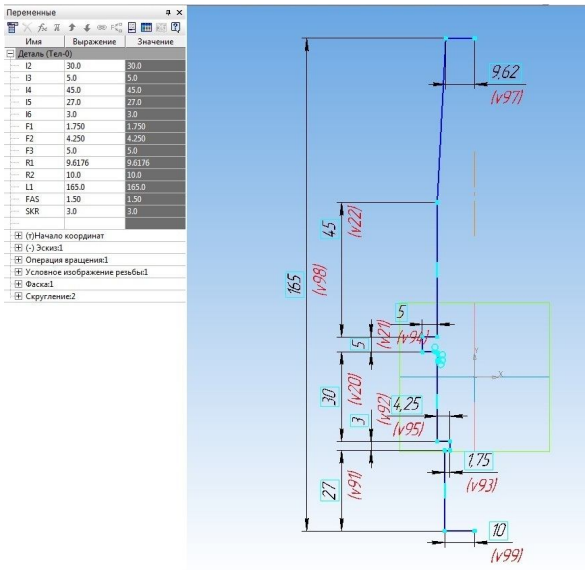


Рис.4. Параметризация эскиза штыря

После простановки размеров и ограничений, используя вкладку «переменные», каждой переменной присвоено обозначение латинскими буквами. При выделении каждой переменной, как внешней (переменные поменяют цвет на синий), и при использовании команды в меню «таблицы переменных» - «читать внешние переменные» в таблице отображаются все выделенные переменные и комментарии к ним (рис.5).

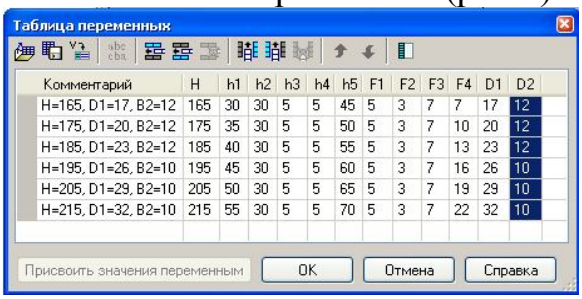


Рис.5. Таблица переменных

Если предполагалось, что модель-исходник будет иметь только определенные комбинации параметров или наиболее часто используемые, то их задавали в этой таблице переменных. Для этого в меню выбирали «добавить строку» и в появившейся новой строке задавали новые параметры модели.

Для более удобного использования таблицу переменных сохраняли в разрешении .xls, которое можно открыть в программе Microsoft Office Excel. Для того чтобы синхронизировать переменные из таблицы Excel в КОМПАС, необходимо указать путь к таблице переменных в программе КОМПАС-3D.

Чтобы вставить модель-исходник в сборку необходимо выбрать ее в библиотеке, после чего появится ее фантом и таблица параметров. Значения параметров можно выбрать как из готовых, созданных в таблице переменных, так и задать их самому (рис.6).

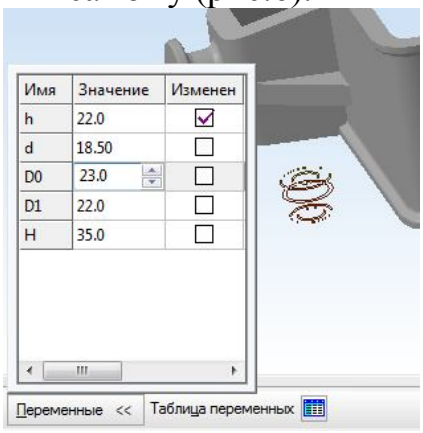


Рис.6. Вставка модели в сборку

Разработаны параметрические модели: штырей (рис.7), подмодельных плит (рис.8), опок (рис.9), втулок (рис. 10) в соответствии с действующими стандартами.

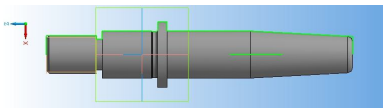


Рис.7. Модель штыря центрирующего

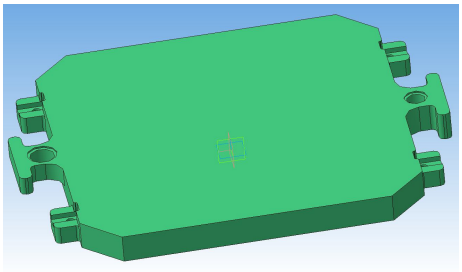


Рис.8. Подмодельная плита

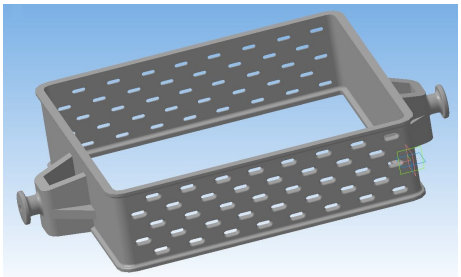


Рис.9. Опока

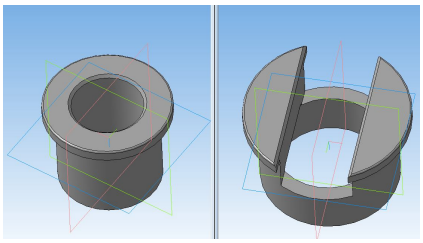


Рис.10. Втулки центрирующая и направляющая

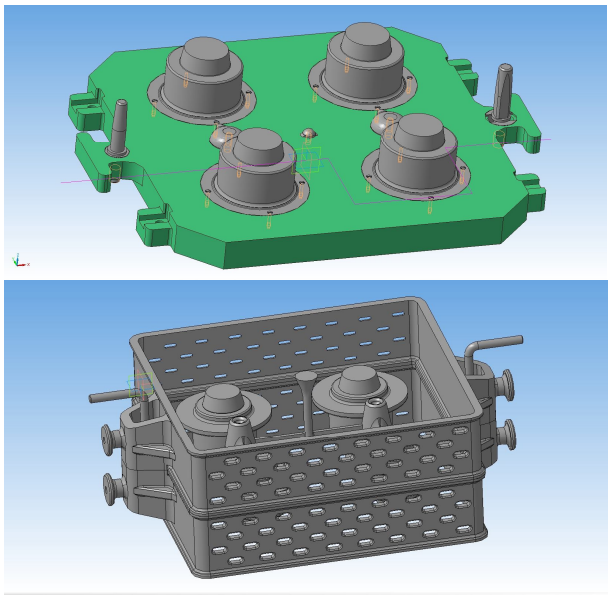


Рис. 11. Модели плиты модельной нижней
полуформы и формы в сборе

Эти разработки применены при выполнении графической части курсового проекта по «Технологии литейного производства», что упростило и сократило время построения сборок (рис. 11).

СОВРЕМЕННЫЕ СТАНДАРТЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕРВЕРА

Видяев И.Г.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск

Широкое развитие в последнее время получила технология кластеризации серверов. Кластер – это объединение серверов в группу, которая с точки зрения пользователя воспринимается как единый сервер. То есть запросы пользователя поступают в единую точку входа, а дальше кластер решает – какой конкретно физический сервер будет его обрабатывать. Кластеризация серверов обычно преследует две цели –

повышение надежности (отказоустойчивости) и повышение вычислительной мощности (или балансировка нагрузки) сервера.

Отказоустойчивость достигается за счет того, что при отказе аппаратных или программных компонент одного сервера, работающие процессы без приостановки работы автоматически «переползают» с него на работоспособные серверы. После чего администраторы могут приступить к устранению неисправности, даже отключив сервер – пользователи ничего не заметят. Отказоустойчивое кластерное решение более ресурсоэффективно, чем обычные сервера, за счет того, что кластер использует совместно дисковые массивы и ленточные хранилища – отдельному серверу не требуются собственные большие жесткие диски. Таким образом уменьшается совокупная стоимость владения и потребляемая системой электроэнергия. Так же общее дисковое или ленточное хранилище более равномерно загружается, более легко резервируется, и поддерживает «горячую» замену вышедшего из строя винчестера – что так же упрощает его обслуживание, а значит – уменьшает стоимость владения [1].

Кластер так же используют для легкой масштабируемости вычислительной мощности – если бы мы попытались нарастить вычислительную мощность сервера за счет замены его комплектующих на более мощные, это обошлось бы нам очень дорого. Закон увеличения мощности мейнфрейма – «увеличение производительности в два раза стоит в четыре раза дороже» оказал фатальное влияние на распространение больших ЭВМ. Он привел к повсеместной замене больших ЭВМ с подключенными к ним терминалами, на локальные вычислительные сети из персональных ЭВМ и небольших серверов. Но отдельным серверам сложно работать совместно – большие вычислительные задачи приходится разделять на части, а это не всегда возможно. Вычислительный кластер формируется из по-прежнему относительно недорогих серверов, которые тем не менее работают как единое целое. Соответственно, когда вам требуется нарастить мощность кластера, вы просто добавляете в него еще один недорогой сервер, который тут же включается в работу. Таким образом уменьшается стоимость владения вычислительной системой, а так же её ресурсопотребление. Ведь увеличение нагрузки на сервер обычно происходит постепенно, а мощность сервера наращивается ступенчато – значит определенное время сервер будет работать недогруженным вхолостую. Кластерные технологии позволяют «сгладить» кривую увеличения производительности и приблизить к её к кривой существующей нагрузки. Еще одно свойство кластера – автоматическая балансировка нагрузки между физическими серверами, очень успешно

работает с другой технологией оптимизации работы серверов – виртуализацией серверов.

В сочетании с кластерной технологией мы получаем гибко масштабируемую отказоустойчивую аппаратную базу, на которой можем размещать множество виртуальных программных серверов. Такой подход особенно удобен для небольших организаций, где вычислительные потребности не очень большие, но требуется тем не менее наличие почтового сервера, котроллера домена, сервера баз данных, сервера доступа во внешнюю сеть и т. д. Там где раньше требовалась целая компьютерная стойка, с большим энергопотреблением, мощным источником бесперебойного питания, специализированным охлаждением и выделенным системным администратором, теперь работает два-три физических сервера, объединенных в кластер, на котором развернуты все необходимые виртуальные сервера. Эффект для стоимости владения и ресурсоэффективности налицо. Кроме этого, на порядок повышается и отказоустойчивость серверов, так как даже при поломке одного из физических серверов, нагрузка автоматически перераспределится между оставшимися [2].

Первоначально сервера делали в обычных корпусах для персональных компьютеров. Потом стали делать в специализированных больших корпусах (big tower) с улучшенным источником питания и охлаждением. Растущая сложность решаемых задач и новые области применения вычислительной техники требовали все больших вычислительных мощностей. А возможности улучшения инфраструктуры IT-оборудования существуют не всегда. Необходимость увеличить вычислительную мощность, используя уже имеющуюся инфраструктуру привели к попыткам минимизации размера серверов. Результатом этих усилий стала стандартизация размера и формы серверов, для размещения их в серверной стойке. Все серверное оборудование стали приводить к серверной единице измерения высоты – «unit» (1U = 1,75 дюйма). В таком сервере используются уменьшенные по размеру комплектующие, в том числе винчестеры, что позволяет добиваться минимальных размеров. Обычно если винчестер в сервере располагается горизонтально – он имеет размер 1 юнит, если вертикально – 2 юнита, более крупное оборудование может иметь и большую высоту. Следующим шагом в миниатюризации серверного оборудования стало появление blade-серверов (от английского «blade» – лезвие). Поскольку миниатюризация комплектующих достигла своего предела, появилась идея «вынести» за рамки сервера все, без чего процессор сможет работать самостоятельно и объединить эти функции для группы серверов. Это такие части как источники питания, вентиляторы, крупные дисковые массивы, сетевые карты и т. д. Основу blade-сервера

составляет «шасси», которое объединяет функции питания, охлаждения, коммутации отдельных лезвий. А в шасси может размещаться около десятка «лезвий». В сочетании с технологиями кластеризации и виртуализации серверов, blade-технологии позволяют получить еще более недорогое, компактное, удобное в обслуживании и ресурсосберегающее серверное решение.

Виртуализация рабочих станций.

Виртуализация рабочих мест сотрудников (VDI – Virtual Desktop Infrastructure) – это следующий логический шаг развития технологий виртуализации серверов. Виртуализация рабочих мест сотрудников предполагает перемещение процессов обработки и хранения данных сотрудников на сервер организации. Это позволяет использовать в качестве рабочей станции менее дорогое оборудование. Оно фактически необходимо только для организации терминального интерфейса с вычислительной системой, расположенной на сервере. Помимо просто недорогого компьютера существуют специализированные терминальные устройства (так называемые «тонкие клиенты»), размером не больше офисного калькулятора или модема, с потреблением электроэнергии – 5-10 ватт, к которому подключается клавиатура, монитор, принтер и т. д. [3]. Итак, преимущества виртуализации рабочих станций [4]:

Снижаются прямые затраты на закупку, модернизацию, ремонт парка рабочих станций.

На порядок упрощается процесс управления виртуальными рабочими станциями (снижается стоимость владения!):

все рабочие станции получают тот набор программного обеспечения, который им предоставляет администратор;

установка нового приложения на любое количество таких станций занимает несколько минут;

упрощается и становится более надежным резервирование данных пользователей, и сокращается время их восстановления в случае повреждения например вирусной атакой;

централизованная антивирусная защита данных (поскольку хранятся они на сервере);

повышение защиты данных от несанкционированного доступа.

Сокращается энергопотребление парка рабочих станций. Работник может получить доступ к своей рабочей станции из любого места в здании, а при использовании Интернет – из любого офиса организации и из дома [5]. Или с мобильного устройства – находясь в транспорте или в командировке.

Наконец при поломке рабочей станции, простой в работе снижается до нескольких минут, необходимых для замены типового оборудования и загрузки виртуальной машины пользователя.

Есть у концепции VDI и свои проблемы – значительная нагрузка на сетевую инфраструктуру и серверное оборудование, пока не значительное различие в стоимости «тонкого клиента» и простейшего ПК, дороговизна программного обеспечения для виртуализации. В настоящий момент финансовый эффект заметен в крупных организациях (несколько сотен компьютеров). Но технологии не стоят на месте, постоянно увеличивая разрыв в совокупной стоимости владения традиционным парком рабочих станций и парком виртуальным, в пользу последнего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Монастырный Е.А., Видяев И.Г. Оценка взаимного влияния социальной и инновационной систем региона // Экономика и управление. – 2009. – № 2.5. – С. 40-46.

2. Монастырный Е.А., Видяев И.Г. Методические подходы к моделированию социально-экономической системы региона // Экономика и управление. – 2008. – № 1. – С. 64-68.

3. Видяев И.Г. Комплексная модель региональной системы инновационного типа // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – № 6 (312). – с. 24-27.

4. Мартюшев Н.В., Синогина Е.С., Шереметьева У.М. Система мотивации студентов высших учебных заведений к выполнению научной работы // Вестник Томского государственного педагогического университета = Tomsk State Pedagogical University Bulletin. – 2013. – № 1. – с. 48-52.

5. Yakovlev A.N., Kostikov K.S., Martyushev N.V., Shepotenko N.A., Falkovich Yu.V. Institute of high technology physics experience in masters of engineering and doctoral training: the platform for cooperation with russian and international companies in the domain of material science and physics of high energy systems // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – № 11-3 (55). – с. 261-263.

6. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. MATERIALS AND ENGINEERING SCIENCE (УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 2. – С. 126-127.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ СИГНАЛА ФАЗ В КОМПЬЮТЕРНОМ АНАЛИЗЕ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ

Бубёнов С.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Компьютерный анализ структуры материалов в настоящее время активно развивается и имеет достаточно хорошую перспективу. Теоретические основы количественного анализа разработаны Салтыковым С.А. [1], однако его использование затруднялось отсутствием быстродействующих ЭВМ.

В настоящее время на рынке программных продуктов существует несколько программ по оценке количественных характеристик металлографической структуры [2,3[. Одной из проблем предлагаемых программ является определение принадлежности составляющих микроструктуры к той или иной фазе. На этапе микроанализа эта проблема решается созданием цветового или светового контраста составляющих микроструктуры при травлении шлифа. Если учесть, что каждый цвет при

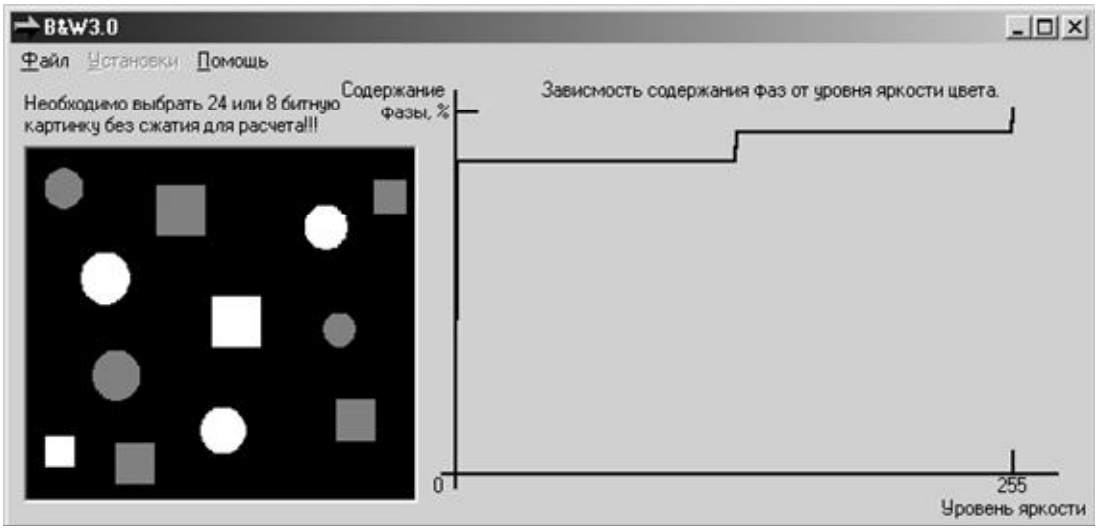


Рис. 1. График зависимости количества фаз рисованной структуры от уровня яркости фаз

хранении информации в ЭВМ представлен виде чисел то для идентификации фаз необходимо определить нижнюю и верхнюю границы уровня яркости соответствующей фазы [4].

В настоящей работе рассматривается 3 возможных способа определения уровня сигнала фаз:

1. Точечный

2. Графический
3. Визуальный

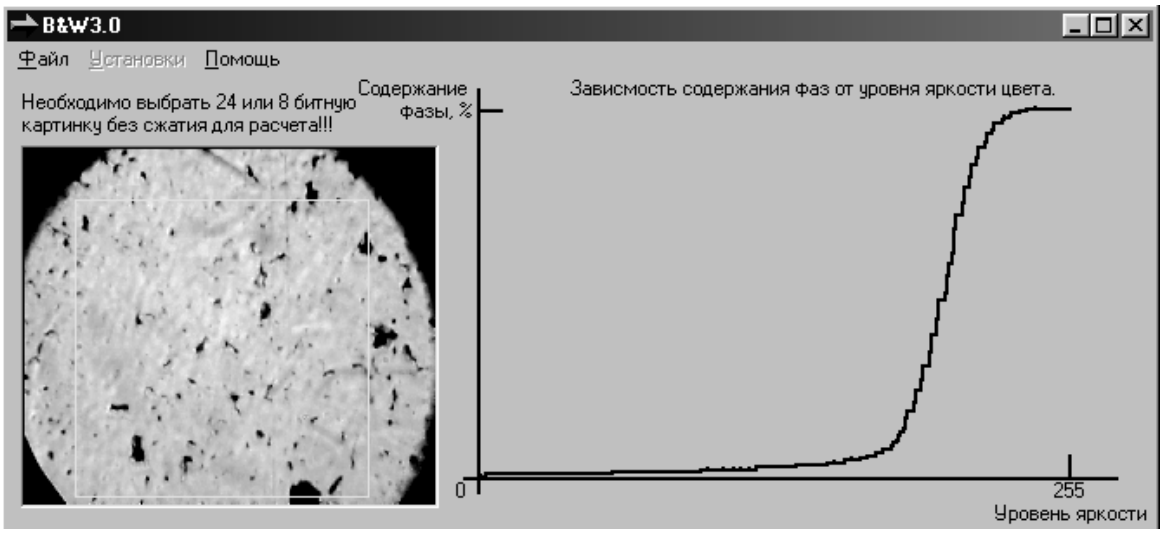


Рис.2. График зависимости количества фаз реальной структуры от уровня яркости

При точечном методе в разработанной программе /3/ уровень яркости определяется в нескольких точках на различных частицах одной и той же фазы нажатием левой кнопки мыши. Максимальный (для темной фазы) или минимальный (для светлой фазы) уровень будет определяющим для расчета. При этом могут возникать неточности из-за пропуска частиц фазы с более высоким или низким уровнем яркости.

При втором методе уровень яркости фаз определяется из графической зависимости количества фазы от уровня яркости. Графическая зависимость представляет собой интегральную характеристику количества фаз во всем интервале уровней яркости (от 0 до 255). Например, если черная фаза имеет уровень яркости 0, а серая 50 и выше, то графическая зависимость имеет вид прямой линии до значения 50 по абсциссе, а значение по ординате соответствует количеству черной фазы и т.д. В идеальном случае, например, для рисованной структуры, зависимость имеет вид ступенчатой кривой (рис. 1). Каждая ступень на графике означает переход от одной фазы к другой. Задача построения интегральной характеристики количества фаз автоматизирована и решается с помощью компьютера [5].

Для реальных структур эта зависимость будет иметь такой же характер, но на углах появятся закругления и наклон ступеней (рис.2). Радиус закруглений зависит от ширины переходной зоны для фаз с различной яркостью, а наклон вызван наличием интервала яркости для

данной фазы. В рассматриваемом случае двухфазная структура состоит из небольшого количества темной фазы и матрицы серого цвета. Верхний уровень яркости для темной фазы и нижний уровень для матрицы определяется величиной уровня яркости соответствующей середине первой кривой сопряжения.

Для этого метода проведена работа по оценке влияния обработки изображения (изменение яркости и контрастности) с помощью программы FotoShop [6]. В табл.1 приведены значения уровней яркости и контрастности и соответствующие им количество темной фазы реальной структуры рис.2.

Таблица 1.

Уровень контрастность	
значение	% черной фазы
0	8,48
20	8,48
40	8,48
60	8,48
Уровень яркость	
значение	% черной фазы
0	8,48
20	8,48
40	4,34
60	2,58

Из таблицы следует, что изменение степени контрастности не оказывает влияние на содержание фаз, тогда как повышение уровня яркости приводит к уменьшению доли черной фазы. Таким образом, обработка изображения не приводит к повышению точности определения количественных характеристик структуры и, поэтому, главный упор необходимо делать на качество подготовки металлографического шлифа и его травления.

При втором методе так же существует некоторая (хотя и значительно меньшая чем при первом) неточность в определении уровня яркости фаз.

С этой точки зрения наиболее перспективным представляется третий метод. При определении уровня сигнала фазы визуальным методом предлагается следующий алгоритм: изменение уровня яркости вызывает перекодировку цвета фазы и пользователь меняет уровень яркости до тех пор, пока все частицы искомой фазы не изменят цвет. Таким образом, определяется верхний уровень для темной фазы и нижний для светлой. Верхний уровень для темной фазы является нижним для промежуточной

фазы, а нижний уровень светлой фазы для промежуточной фазы будет верхним.

Результаты исследование представленные в настоящей работе выполнены при поддержке гранты Президента РФ МК-6661.2013.8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мартюшев Н.В., Петренко Ю.Н., Егоров Ю.П. Производство поршневых колец компрессоров высокого давления // Литейное производство. – 2008. – № 8. – С. 24-26.

2. Мартюшев Н.В., Семенков И.В. Структура и свойства бронзовых отливок при различных скоростях охлаждения // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 1-1.

3. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на структуру и свойства бронз, содержащих свинец // Металлургия машиностроения. – 2010. – № 4. – С. 32-36.

4. Мартюшев Н.В. Параметры дендритной структуры медных сплавов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2011. – № 11-3 (54). – С. 229-232.

5. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на свойства отливок из бронзы брос 10-10 // Литейное производство. – 2011. – № 6. – С. 11-13.

6. Мартюшев Н.В. Программные средства для автоматического металлографического анализа // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 79-79.

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ

Беккер А. В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Обеспечить человечество высоким качеством жизни позволяет в настоящее время высокое развитие науки и техники, которые тесно связаны с использованием природных ресурсов.

Огромное значение, на протяжении последнего столетия, имеют природные энергоносители. Экономика нашего государства построена на добыче, переработке и продаже полезных ископаемых. Именно поэтому актуальной на сегодняшний день проблемой является рациональное и эффективное использование этих ресурсов.

Одним из главных энергоносителей является жидкое углеводородное топливо, в качестве сырья для данного вида топлива, в основном, используют нефть. Диапазон способов использования нефти возрастал по мере обнаружения все новых запасов. Изобретение двигателя внутреннего сгорания привело к тому, что бензиновая фракция нефти стала жизненно важна для работы транспорта.

При развитии и совершенствовании производства общество, безусловно, стремится наиболее рационально использовать все затраты и ресурсы, снизить их расход на единицу производимой продукции. Оптимизируя трудоемкость, материалоемкость, фондоемкость и капиталоемкость производства, можно повысить производительность труда, выпуск продукций на единицу материальных затрат, фондоотдачу и капиталоотдачу, т.е. эффективность производства в целом. Таким образом, оценка эффективности производства в современных условиях сводная к эффективному ресурсопотреблению.

Высокая доля энергии в себестоимости химической продукции обусловила необхожимость ее рационального и экономичного использования в производстве. Критерием экономичного использования энергии всех видов является коэффициент использования энергии, равный отношению количества энергии, теоретически необходимой на производство единицы продукции, к количеству энергии, практически затраченной на это. Для высокотемпературных эндотермических процессов коэффициент использования тепловой энергии не превышает 70%, то есть до 30% энергии уходит с продуктами реакции в виде тепловых потерь.

Рациональное использование энергии в химическом производстве означает применение методов, повышающих коэффициент использования энергии. Эти методы можно разделить на две группы: разработка энергосберегающих технологий и улучшение использования энергии в производственных процессах. К первой группе относятся:

-разработка новых энергоэкономных технологических схем;

-повышение активности катализаторов;

-замена существующих методов разделения продуктов производства на менее энергоемкие.

Ко второй группе энергосберегающих мероприятий можно отнести:

-уменьшение тепловых потерь за счет эффективной теплоизоляции и уменьшения излучающей поверхности аппаратуры;

-использование вторичных энергетических ресурсов [1].

Необходимо также учитывать эффективное использование природных ресурсов не только на стадии переработки, но и на стадии получения и транспортировки:

-использование технологий, обеспечивающих максимально эффективное извлечение ресурсов из недр;

- минимизировать потери пир транспортировке (аварии на нефте- и газопроводах, морского и наземного транспорта).

Нельзя говорить о ресурсоэффективном производстве, не рассматривая стратегию предприятий в данном направлении. Основными условиями формирования ресурсоэффективной стратегии должны стать:

- создание механизмов стимулирования ресурсо- и энергросбережения на предприятиях;

- совершенствование финансирования и реализации программ и проектор

по эффективному использованию всех видов ресурсов;

- создание и использование прогрессивных техники, технологий и

материалов, обеспечивающих качественное улучшение эффективности ресурсо- и энергопотребления;

- внедрение на предприятиях системы контроля за ходом реализации

ресурсосберегающих программ и мер ответственности за их исполнение[2].

Таким образом можно сделать вывод, что для предприятий нефтехимической промышленности, как и для любого другого предприятия, для оценки ресурсоэффективности необходимо использовать технико-экономические показатели. Основным подходом к оценке экономической эффективности является сопоставление двух величин: экономического эффекта или результата и размера производственных затрат или ресурсов. Показатели экономической эффективности производства дают представление о том, ценой каких затрат достигается экономический эффект. Также необходимо учитывать специфику производства, проводить оценку ресурсоэффективности с помощью такого показателя, как коэффициент использования энергии. На основании контрольно-аналитических отделов необходимо делать выводы об эффективности использования ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананенков А.Г., Мастепанов А. М. Газовая промышленность России на рубеже XX и XXI веков: некоторые итоги и перспективы.- М.: ООО «Газойл пресс», 2010.- 304 с.

2. Игнатов В.Г., Бутов В.И. Регионоведение (экономика и управление): Учебное пособие. – М.: ИКЦ «МарТ», 2004

НАДЕЖНОСТЬ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ТРОЛЛЕЙБУСА

Николаев Д.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

В наши дни, электрический транспорт, используемый для перевозки пассажиров, получил большое распространение во многих городах России, и в частности в Томске. Так в 2011 году в Томское трамвайно-троллейбусное управление поступило 48 новых троллейбусов, а общий парк троллейбусов составляет 105 единиц. Также возросла тенденция использования муниципального транспорта и соответственно увеличилась нагрузка на транспорт [4].

Для приведения в движение троллейбуса необходим тяговый электродвигатель (ТЭД). Тяговый электродвигатель (или электродвигатели, если их несколько) приводит троллейбус в движение посредством передачи создаваемого им вращающего момента через специальные механизмы (тяговая передача) ведущим колесам, а также используется в процессе электродинамического или рекуперативного торможения [5]. Таким образом, надежность троллейбуса непосредственно зависит от ТЭД. Моделирование эксплуатационной надежности ТЭД является важной частью расчета безотказной работы троллейбуса.

Для достижения заданной надежности тяговых электродвигателей в эксплуатации, особую роль занимают экспериментальные оценки, которые позволяют оценить фактические показатели надежности. Количественные показатели надежности экспериментально можно определить по результатам лабораторных ускоренных испытаний и эксплуатационных испытаний. Последние на сегодняшний день являются основным источником информации об отказах изделий [1].

Объект изучения: троллейбус АКСМ-321. АКСМ-321 — белорусский низкопольный троллейбус большой вместимости для внутригородских пассажирских перевозок. Относится к третьему поколению троллейбусов, разработанных заводом. Базовая модель имеет с транзисторную систему управления на IGBT-модулях и двигателем переменного тока.

В качестве тягового электродвигателя на троллейбусе АКСМ-321, используется асинхронный двигатель российского производства, марки ДТА-1У1.

С точки зрения надежности асинхронный двигатель представляет собой систему, все элементы которой соединены логически последовательно и не имеют резервирования.

Поэтому, под надежностью системы, или в данном случае двигателя, понимается результирующая надежность при заданной структуре и известных значениях надежности всех входящих в нее блоков и элементов. Разбиение системы на блоки осуществляется на базе единства функционирования изделия и происходящих в нем физических процессов. При этом пользуются так называемым методом «слабых звеньев», сущность которого состоит в следующем: при исследовании рассматриваются те элементы или блоки электрической машины или системы, надежность которых в данных условиях минимальна. Сама модель «слабейшего звена» представляет собой систему с последовательным соединением элементов, в которой при отказе одного элемента выходит из строя вся цепь. Так, в асинхронном двигателе такими элементами являются подшипниковый узел, обмотка статора и ротор.

Рассмотрим вероятность безотказной работы (ВБР) на всех интервалах времени, для каждого из узлов тягового электродвигателя, для этого необходимо составить таблицу. В таблице 1 приведены данные для расчета ВБР тягового электродвигателя.

Таблица 1.

Расчет ВБР тягового электродвигателя в целом

P(s)	0	5000	10000	15000	20000	25000
Рпу	1	0,72	0,3	0,1	0,09	0,08
Рос	1	0,93	0,88	0,76	0,64	0,7
Рр	1	0,95	0,9	0,88	0,88	0,61
Ртэд	1	0,64	0,24	0,07	0,05	0,03

По данным из таблицы 1, построим кривую вероятности безотказной работы тягового электродвигателя в целом (рисунок 1).

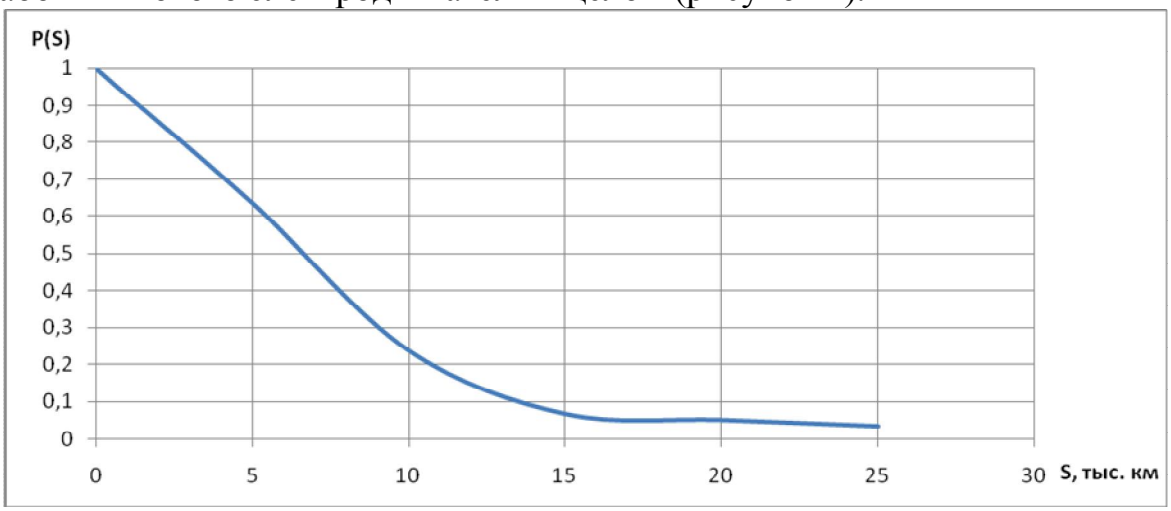


Рис. 1. Кривая вероятности безотказной работы ТЭД

Из кривой вероятности безотказной работы двигателя в целом (рисунок 1) видно, что уже к 15 тыс. км ВБР двигателя крайне мала. Это объясняется тем, что основное количество отказов подшипниковых узлов, происходит после пробега более 5 тыс. км.

Проведенные исследования показывают, что долговечность тягового электродвигателя, и его конструктивных деталей определяется условиями эксплуатации.

Ниже на рисунке 2 приведена гистограмма среднего пробега до отказа для каждого из узлов тягового электродвигателя троллейбуса.

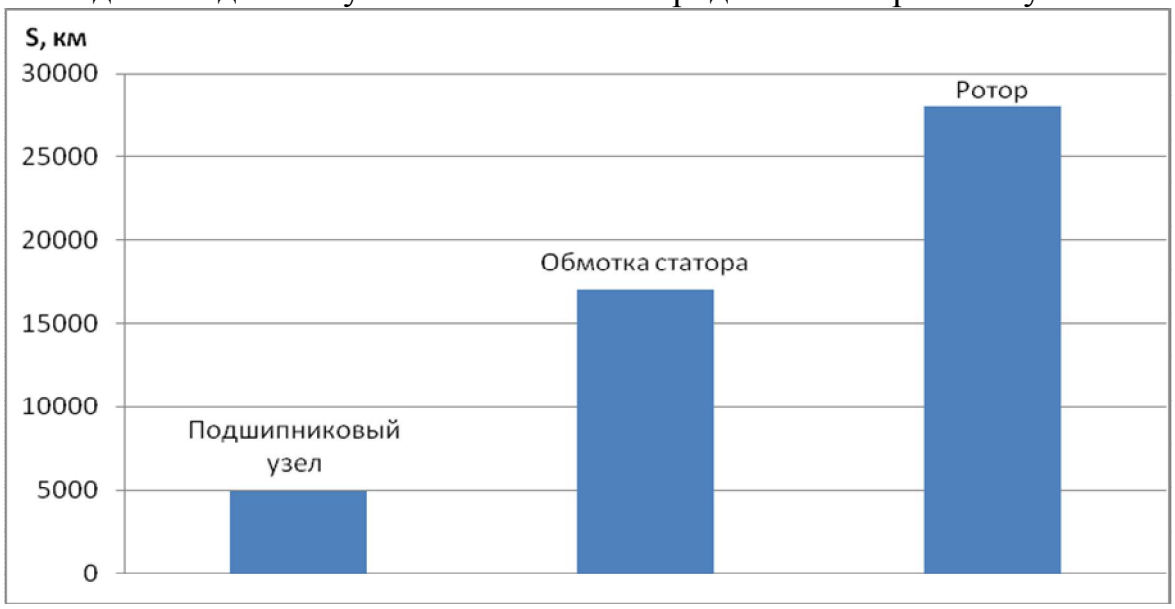


Рис. 2. Гистограмма среднего пробега до отказа для каждого из узлов ТЭД троллейбуса

Из гистограммы видно, что больше всех средний пробег до отказа имеет ротор 28 тыс. км, затем обмотка статора 17 тыс. км. и подшипниковый узел 5 тыс. км. Таким образом, видно насколько сильно подшипниковый узел уступает по среднему пробегу до отказа по сравнению с другими узлами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обеспечение надежности асинхронных двигателей/ Захарченко П.И., Шириин И.Г., Ванеев Б.Н., Гостищев В.М.; УкрНИИВЭ. - Донецк, 1998. - 324 с.

2. Сборник задач по надежности электрических машин: учебное пособие / Н. Л. Кузнецов. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.-408 с.: ил.

3. Кузнецов Н. Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов / Н. J1. Кузнецов - М.: Издательский дом МЭИ, 2006. -432с.

4. http://tomsk.sibnovosti.ru/transport/134800-v-tomsk-postupili-novye-trolleybusy - В Томск поступили новые троллейбусы от 10.05.2012.
5. http://ru.wikipedia.org/wiki/тяговый_электродвигатель от 10.05.2012

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО КОНТАКТОРА

Суетина Н.И.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Создание коммутационной аппаратуры большей мощности для нужд судовой энергетики, является важной и актуальной задачей. Одна из основных тенденций развития судовой электроэнергетики - постоянный рост мощностей судовых электростанций и установленного электрооборудования. Так, средняя мощность судовых электростанций морских судов удваивается каждые 20 лет и в настоящее время достигает десятков тысяч киловатт. По мере роста мощностей судовых электростанций усложняется их структура, а также структура электрических сетей, совершенствуются системы автоматического регулирования, управления, защиты и контроля [1]. При этом увеличение мощности контакторов, применяемых в системах управления судовой электроэнергетической системой не должно существенно влиять на их массу и габариты. В связи с этим было принято решение о разработке методики оптимального проектирования контактора.

По результатам сравнительного анализа контакторов для систем управления судовой энергосистемой принято решение о том, что поляризованный контактор серии КНП является наиболее оптимальным вариантом. Решение принято на основании предъявляемых требований к коммутационной аппаратуре подвижных средств водного транспорта. Поляризованный контактор серии КНП обеспечивает наибольшую компактность при прочих равных условиях, широкий диапазоном рабочих температур, высокую коммутационную и механическую износостойкость. Кроме того, данная конструкция обеспечивает требуемые высокие параметры по механической стойкости [2].

При оптимизационном расчете поляризованного контактора необходимо решить следующие задачи:

- выбрать наиболее целесообразную конструкцию контактора и тип магнитной системы.

- определить оптимальный вариант основных размеров электромагнитной системы контактора. Данная задача решается на этапе параметрической оптимизации.

На этапе структурной оптимизации обосновано применение поляризованного контактора с мостовой схемой магнитной цепи. Данная конфигурация обеспечивает конструкции контактора устойчивость к механическим воздействиям. Обоснованно применение постоянного магнита, как вспомогательного источника энергии. Что делает данный контактор энергоэффективным, за счет снижения энергопотребления.

На этапе параметрической оптимизации контактора определен критерий оптимальности и варьируемые параметры. В качестве критерия оптимальности выбран минимальный габаритный объем электромагнитной системы. Критерий оптимальности выбран исходя из специфики применения контактора, так как контактор применяется на подвижных средствах, т.е. в условиях ограниченного пространства, то габаритный объем позволяет объективно оценить экономию площади, необходимой для размещения контакторов [3]. Для достижения минимального габаритного объема за варьируемые параметры выбраны плотность тока и соотношение высоты обмотки к ее ширине.

На основе теории процессов функционирования контактора и методик его проектирования была разработана методика оптимального проектирования [4]. Главным отличием этой методики от уже существующих является наличие блока оптимизации. В этом блоке осуществляется варьирование параметров. Алгоритм расчета оптимального контактора представлен на рисунке 1.

В методике приняты следующие ограничения: температура нагрева катушки и время срабатывания контактора. Температура $\vartheta_{к.н}$ не должна превышает допустимую для принятого класса изоляции, это обеспечивает необходимый срок службы изоляции, а время срабатывания контактора не должно превышать 0,15с, что обеспечивает высокое быстродействие аппарата.

Данная методика была реализована в программе Mathcad. Был произведен расчет контактор на номинальный ток 50 А и получен габаритный объем магнитной системы контактора. Предложенная методика позволяет добиться его уменьшения на 25% и может быть применима для оптимального проектирования поляризованного контактора серии КНП с целью минимизации его массогабаритных параметров. Практически доказано, что предложенная методика обеспечивает уменьшение габаритов конструкции.

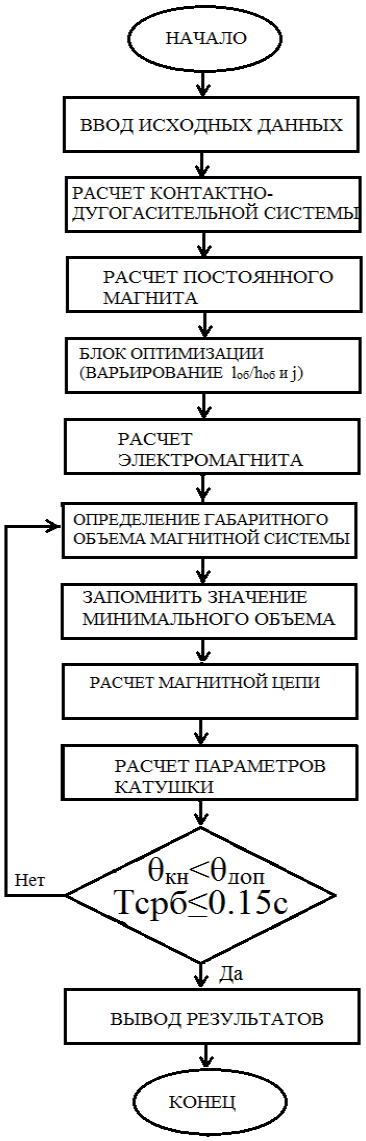


Рис. 1. Схема алгоритма расчета контактора

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Артемов, В. П. Волошин, А. Я. Шквар, В. П. Шостак. Системы судовых энергетических установок. – Л.: Судостроение, 1990. – 376 с.

2. ГОСТ РВ 20.39.304-98 Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования стойкости к внешним воздействующим факторам. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 1990. – 58 с.

3. Реклейтис Г. Оптимизация в технике. – М.: Мир, 1986. – 349 с.

4. Декабрун И.Е. Электромагнитные поляризованные реле и преобразователи. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 112 с.

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ РАСЧЁТЫ АСИНХРОННОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

Кашеутов Д.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Вентиляторы главного, а также местного проветривания различной производительности используются в подземных выработках, в производствах, где окружающий воздух содержит взрывоопасные, огнеопасные или химические активные примеси. Для привода таких вентиляторов обычно используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором.

В настоящее время для привода вентиляторов высокой производительности существует потребность в создании высоковольтных с номинальным напряжением 6,3 кВ взрывозащищённых четырёхполюсных асинхронных двигателях мощностью 200 кВт и выше. Использование для таких вентиляторов серийных высоковольтных взрывозащищённых двигателей типа ВАО, 1ВАО не всегда оправдано из-за их пусковых свойств, конструктивных особенностей и массогабаритных показателей.

Для привода высокопроизводительных вентиляторов, конкурентоспособных на внутреннем и внешнем рынке, нужны свои асинхронные двигатели. Эти двигатели должны быть компактными, хорошо встраиваться в вентиляционную установку, иметь улучшенные пусковые свойства, удовлетворять эксплуатационно-техническим требованиям, предъявляемым к асинхронным двигателям для привода вентиляторов и при минимальных габаритных размерах обеспечивать КПД не ниже двигателей аналогов. Проектирование и создание таких асинхронных двигателей является актуальной задачей.

Для проектируемого асинхронного двигателя (Рн=200 кВт, Uн=6,3 кВ, р=2) заданы наружный диаметр D_i = 660 мм и длина l_1 = 310 мм сердечника статора, числа пазов статора и ротора – Z_1 = 60, Z_2 = 50.

Одним из определяющих факторов оптимизационных расчётов электродвигателя является выбор количества СР эффективных проводников в пазу статора. Просчитаны варианты двигателей с числом проводников в пазу статора 32, 34 и 36. По результатам расчетов построены графики зависимостей, рис. 1-4.

Критерий оптимальности проектируемого двигателя – КПД≥0,94 при минимальной массе меди обмотки статора. Ограничения по пусковым

характеристикам – кратность пускового тока $I_{i} \leq 6$, кратность пускового момента $M_{i} \geq 0,7$.

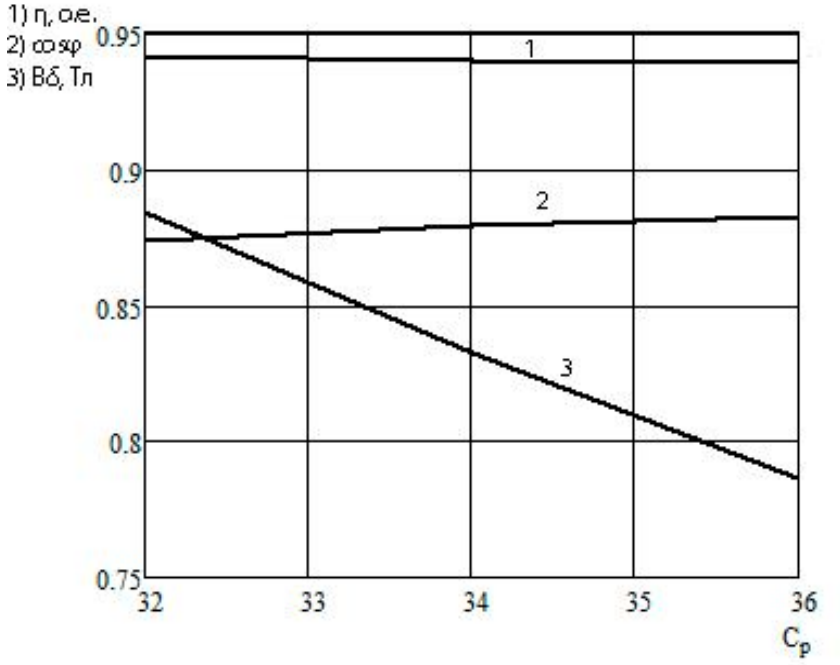


Рис. 1 Зависимость КПД, cosφ и индукции в зазоре от количества эффективных проводников

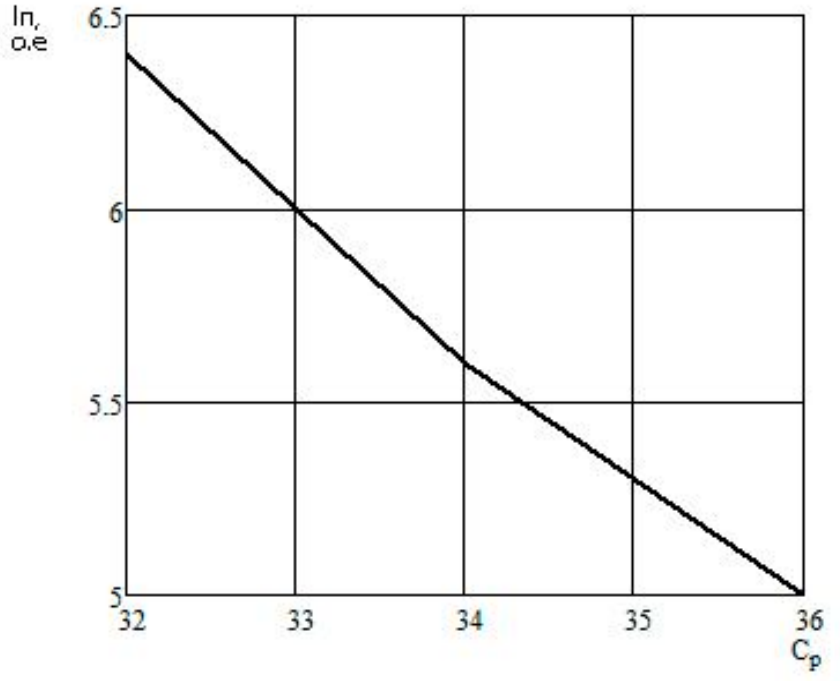


Рис. 2 Зависимость кратности пускового тока от количества эффективных проводников

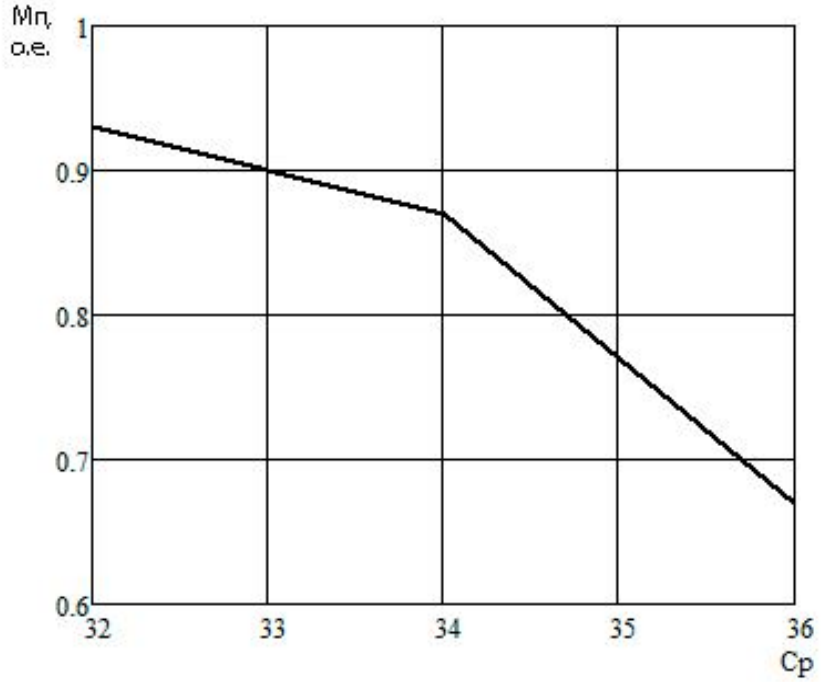


Рис.3 Зависимость кратности пускового момента от количества эффективных проводников

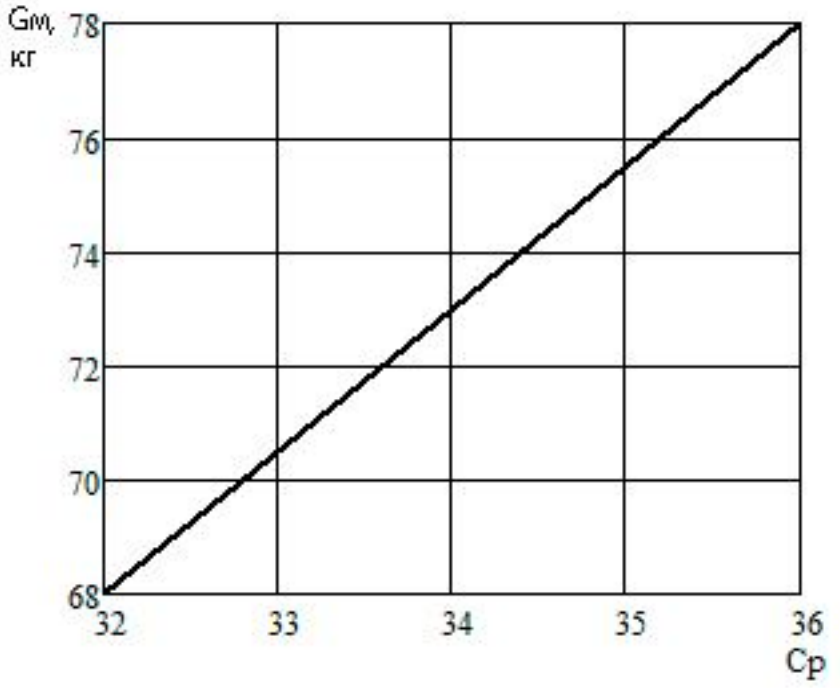


Рис.4 Зависимость массы обмотки от количества эффективных проводников

Как видно из графиков, при увеличении числа эффективных проводников, энергетические показатели практически не изменяются: КПД не значительно снижается, а $\cos\varphi$ так же не значительно увеличивается. Однако на пусковые характеристики это сказывается довольно сильно. Наибольшую кратность пусковых моментов имеет двигатель с количеством эффективных проводников Ср = 32. Но, пусковые токи у такой машины получаются завышенными, т.е. не удовлетворяют ограничениям. С увеличением числа проводников кратность пускового тока снижается, но уменьшается и кратность пускового момента и при Ср = 36 пусковой момент становится ниже допустимого значения. Так же при увеличении числа проводников увеличивается масса меди, что не желательно с экономической точки зрения, т.к. это увеличивает стоимость машины. Для данного двигателя наиболее оптимальным является вариант с количеством эффективных проводников Ср = 34. Индукция в воздушном зазоре при таком количестве проводников так же наиболее предпочтительна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копылов И.П., Клоков Б.К., Морозкин В.П. и др. Проектирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 2002. – 767 с.
2. Баклин В.С., Пушкарёв И.И. Алгоритм оптимизационных расчётов высоковольтных асинхронных двигателей // Известия Томского политехнического университета. –2011. – Т. 318. – № 4. – С. 132–136.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Кормилин Ю. А., Гирник А. С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Автоматический выключатель служит для нечастых включений и отключений электрических цепей и защиты электроустановок от перегрузки и коротких замыканий, а также недопустимого снижения напряжения.

В результате расчета токоведущего контура был произведен расчет размеров сечения шины по термической стойкости, номинальному току. Также произведен расчет площади сечения и размера гибкого соединения,

контактного сопротивления коммутирующих контактов, расчет на термическую, динамическую стойкость.

Дугогасительная решетка дает возможность значительно сократить длину дуги и гасить ее в ограниченном объеме при малых звуковом и световом эффекте. Возникающая при отключении электрической цепи между контактами дуга втягивается в решетку, за счет электро- и аэродинамических сил.

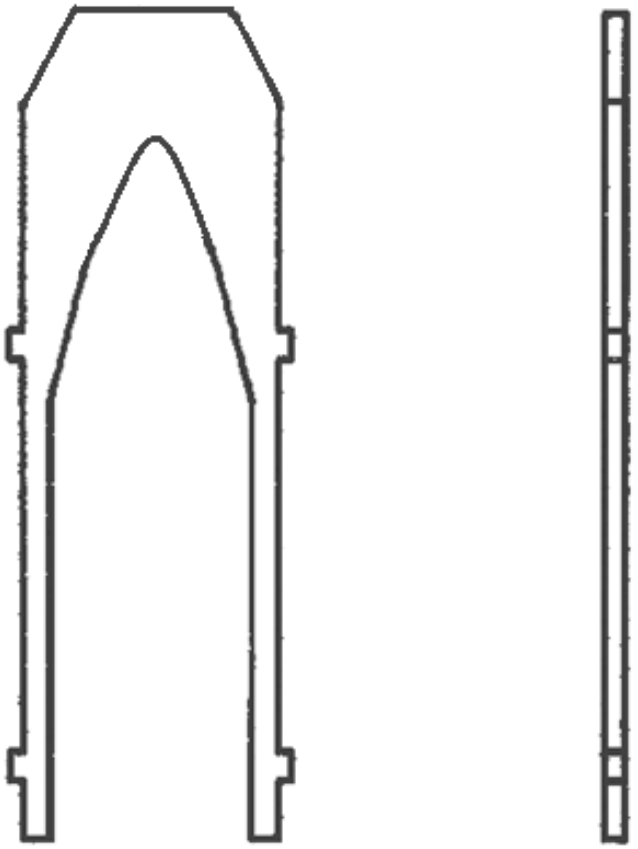


Рис. 1. Форма пластины дугогасительной решетки

Электромагнит устройство, создающее магнитное поле при прохождении электрического тока. Обычно электромагнит состоит из обмотки и ферромагнитного сердечника, который приобретает свойства магнита при прохождении по обмотке тока.

Для успешной работы электромагнита необходимо, чтобы тяговые характеристики электромагнита превышали противодействующие.Именно поэтому расчет электромагнита начат с расчета пружин.

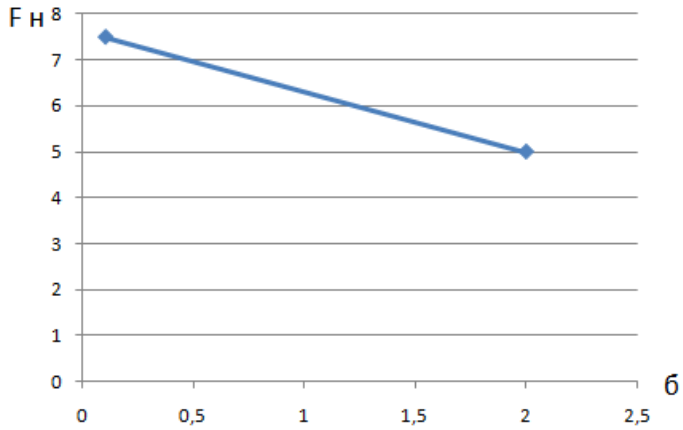


Рис. 2. Механическая характеристика пружины

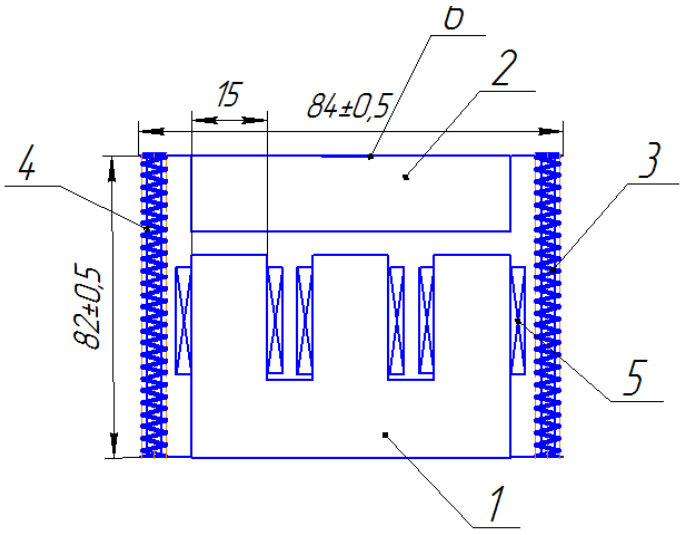


Рис. 3. Разработка эскиза электромагнита

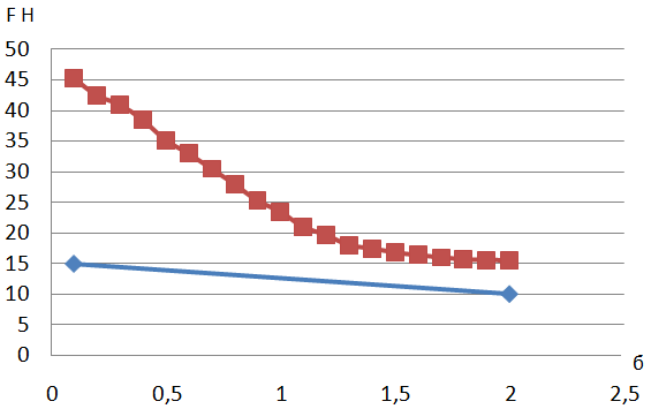


Рис. 4. Согласование механической и тяговой характеристики

Основной и наиболее важной частью технологической подготовки сборочного производства является проектирование технологического процесса сборки.

Технологический процесс сборки представляет собой совокупность операций по соединению деталей в определенной, технически и экономически целесообразной последовательности для получения сборочных единиц и изделий, полностью отвечающих установленным требованиям. Чем технологичней устройство, тем дешевле, именно поэтому решение технологических проблем очень актуально.

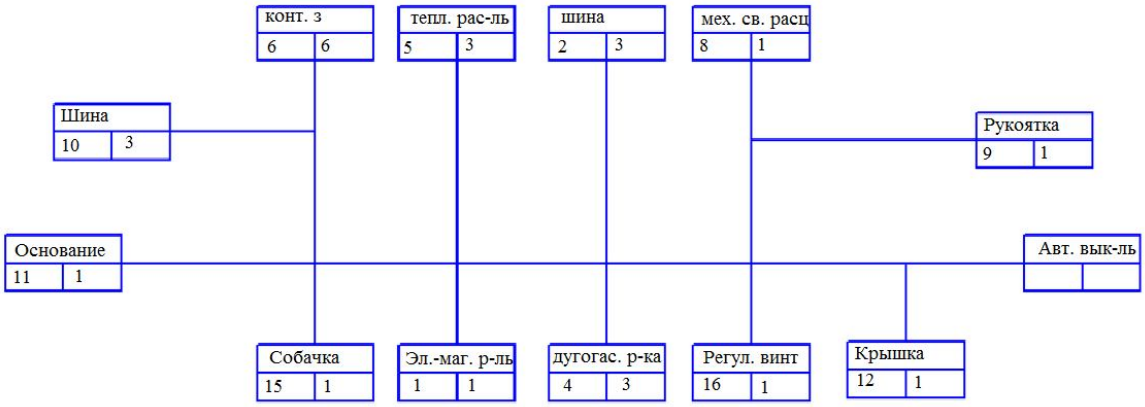


Рис. 5. Схема общей сборки автоматического выключателя

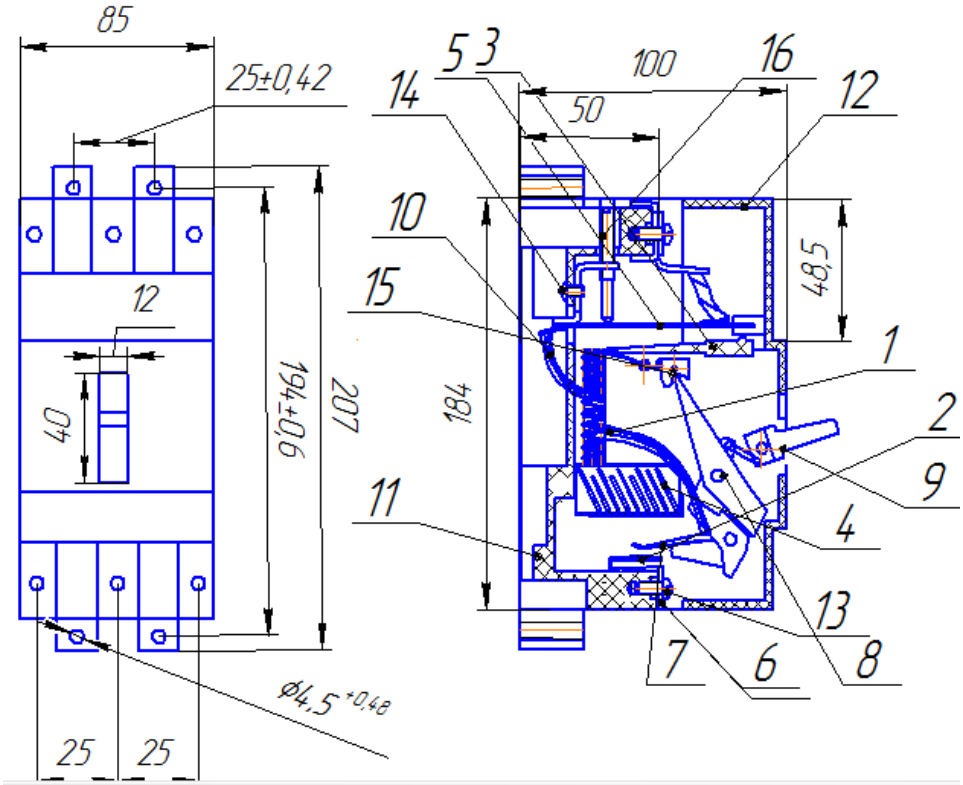


Рис. 6. Сборочный чертеж автоматического выключателя

ЛИТЕРАТУРА

1. Сахаров П. В. Проектирование электрических аппаратов (Общие вопросы проектирования). Учебное пособие для студентов электрических вузов. - М.: Энергия, 1971.

2. Таев И. С. Электрические аппараты управления: Учебник для вузов по спец. Электрические аппараты. 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1984

3. Копылов Ю.В. «Расчёт магнитной цепи постоянного тока». Учебное пособие. Томск. Изд. ТПИ, 1985

4. Буль Б. К. Основы теории и расчёта магнитных цепей. М.-Л., издательство Энергия, 1964

5. Чунихин А. А. Электрические аппараты (общий курс). Учебник для энергетических и электротехнических институтов и факультетов. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Энергия, 1975.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРОЛЛЕЙБУСОВ МАРКИ АКСМ - 321

Черепенников О.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Надежность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. [4]

В данном случае объектом является троллейбус марки АКСМ – 321, который широко применяется во многих городах России и стран СНГ.

АКСМ-321 – белорусский низкопольный троллейбус большой вместимости для внутригородских пассажирских перевозок, выпускаемый серийно с 2001 года на Белкоммунмаше. Относится к третьему поколению троллейбусов, разработанных заводом.

В Томском городском унитарном муниципальном предприятие «Трамвайно-Троллейбусное управление» (ТГУ МП «ТТУ») троллейбусы этой марки появились в 2010 г. Эксплуатация показала что машины имеют ряд конструктивных изъянов, которые приводят к отказам. Основную долю отказов составляет неисправности тягового электропривода.

На троллейбусах марки АКСМ – 321 установлен асинхронный двигатель марки ДТА-1У1, мощностью 180кВт.

Основные неисправности двигателя приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Неисправности двигателя

Отказавший узел	Вид отказов	Причина отказов
Обмотка статора	Витковое замыкание	Дефекты изготовления, естественный износ и старение
	Межфазное замыкание	
	Пробой корпусной изоляции	
	Снижение сопротивления изоляции	
	Обрыв в схеме соединения	
	Обугливание и пробой изоляции, перегорание и замыкание проводников	Перегрев обмотки
	Снижение сопротивления изоляции	Интенсивное проникновение влаги внутрь
Ротор	Выплавление обмотки ротора	Дефекты изготовления
	Задир ротора о статор	Естественный износ подшипника
Подшипниковый узел	Разрушение и заклинивание подшипника	Недостаточная смазка, проникновение пыли и влаги

На рис. 1 показана динамика выхода из строя тягового электродвигателя.

Использовались данные по отказам двигателей в период с июня 2012 года по июнь 2013 года.

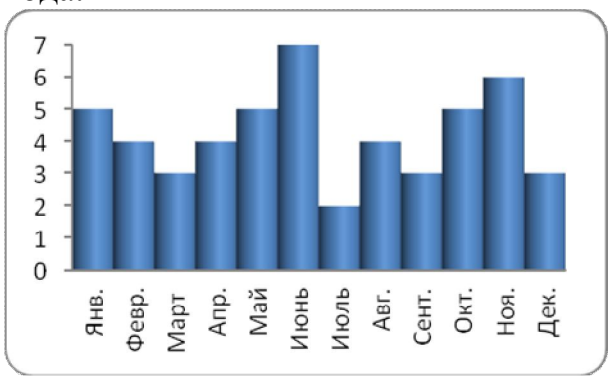


Рис. 1. Динамика выхода из строя тягового электродвигателя зависимости от времени года

Суммарное количество отказов за данный период равняется 51.

В таблице 2 приведены данные отказов асинхронных двигателей в период с июнь 2012 года по июнь 2013 года.

Таблица 2.

Причина отказа	Количество отказов
Неисправность подшипников	34
Неисправность обмотки статора	9
Неисправность ротора	8
Всего	51

Произведем расчеты надежности троллейбусов по методике, изложенной во 2 источнике.

Определим статистическую вероятность отказов за весь период по формуле (1)

$$P^* = \frac{m}{n}$$

, где m-число отказов узла n- общее число отказов

Статическая вероятность отказов подшипников:

$$P^*_{П} = \frac{m}{n} = \frac{34}{51} = 0.667$$

Статическая вероятность отказов обмотки статора:

$$P^*_{ОС} = \frac{m}{n} = \frac{9}{51} = 0.176$$

Статическая вероятность отказов из-за неисправностей ротора:

$$P^*_{Р} = \frac{m}{n} = \frac{8}{51} = 0.157$$

На рис. 2 представлена гистограмма вероятностей отказов двигателей.

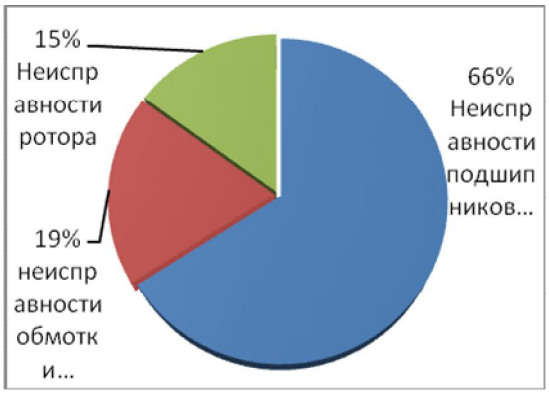


Рис. 2. Отказы основных узлов тягового электродвигателя ДТА 1У1

Вывод: для повышения вероятности безотказной работы рекомендуется, либо заменить эти элементы более надежными, либо зарезервировать их элементами с более большей вероятностью безотказной работы. Но на практике данные рекомендации выполнить не всегда является возможным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт ТГУ МП ТТУ www.ttu.tomsk.ru.
2. Кузнецов Н.Л.. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов.- М.: Изд Дом МЭИ, 2006. - 432 с.
3. Википедия. Троллейбус АКСМ-321// www.ru.wikipedia.org 2012.URL: http ://ru.wikipedia.org/wiki/АКСМ-321.
4. Колесников С.В. Разработка метода расчета эксплуатационной надежности электродвигателей трамваев, выработавших заданный технический ресурс: авто- реф. дис. канд. техн. наук.- Казань, 2002. - 19 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОГАБАРИТНОГО ИНДУКЦИОННОГО ЛИНЕЙНОГО ДАТЧИКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО – ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА С РАБОЧИМ ХОДОМ ШТОКА ± 15 ММ

Абрамовская А.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В обратной связи систем управления космической, авиационной техники, оборудования нефтяной и газовой промышленности для контроля за перемещением штоков приводных механизмов применяются датчики линейного перемещения. К подобным датчикам устанавливаются требования работоспособности как при высоких температурах окружающей среды до 150 °С, так и при низких – до минус 250°С, как при пониженном давлении до $1{,}33 \cdot 10^{-10}$ Па, так и при повышенном давлении рабочей жидкости до 22 МПа. Надежную работу и высокую точность измерения для такой техники обеспечивают дифференциально-трансформаторные датчики линейного перемещения типа ЛДТ(LVDT). Принципиальная электрическая схема датчика приведена на рис.1.

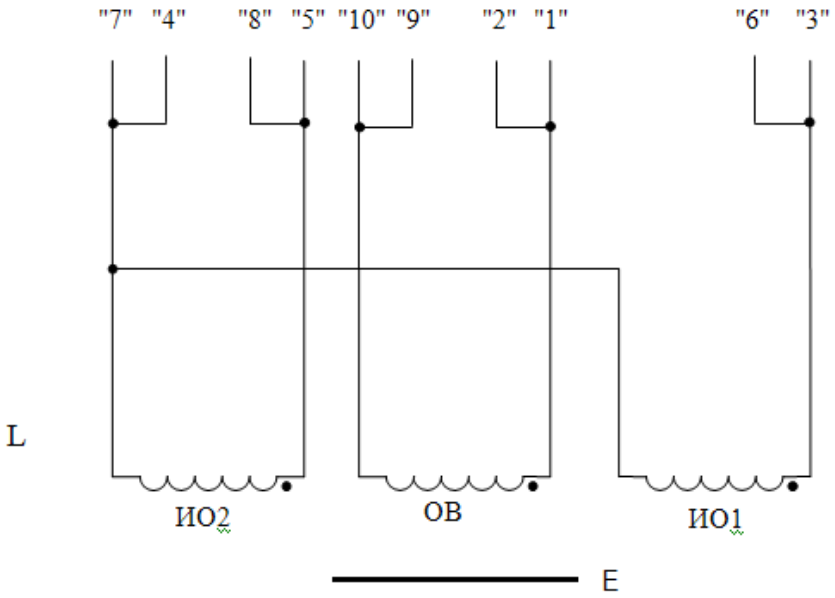
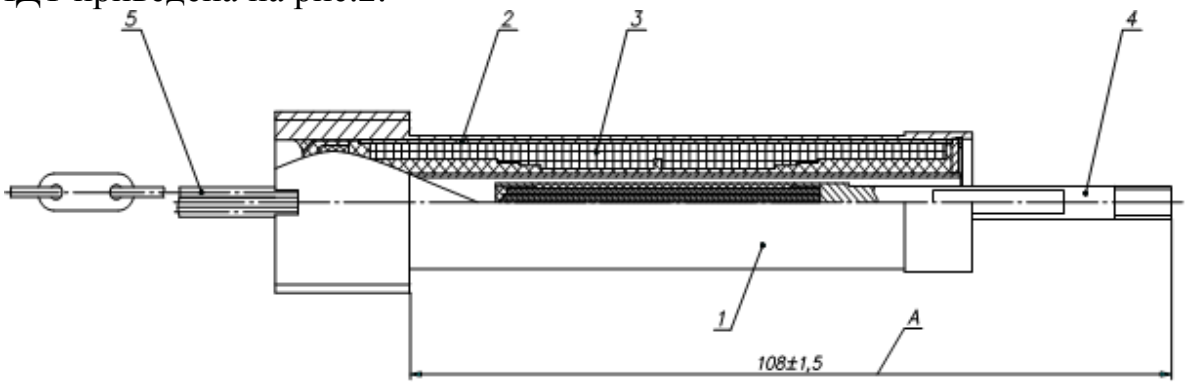


Рис.1. ОВ - обмотка возбуждения; ИО1, ИО2 - измерительные обмотки

Таблица 1.

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
L	Катушка	1	
E	Подвижная часть	1	

Совершенствование обратной связи систем управления включает в себя использование положительных результатов в части миниатюризации датчиков линейного перемещения. Конструктивная схема датчика типа ЛДТ приведена на рис.2.



1 - корпус; 2 - магнитопровод; 3 - катушка; 4 - подвижная часть датчика; 5 – выводы;

Рис.2. Конструктивная схема датчика типа ЛДТ

Процесс создания малогабаритного датчика включает в себя работу по получению минимальных размеров его основных узлов: штока, включающего в себя подвижную часть магнитопровода (сердечник), и катушки, состоящей из обмоток первичной и вторичной электрических цепей. Эти узлы определяют габаритные размеры. От соотношения длины сердечника и катушки зависит закон распределения витков в обмотках вторичной цепи. В большинстве датчиков типа ЛДТ сердечник перемещается внутри катушки в пределах ее осевого размера. Его длина выбирается исходя, из тока потребления датчика и составляет не менее двух рабочих ходов. Дальнейшее уточнение размеров связано с обеспечением требуемой линейности выходной характеристики. При этом у датчиков с выходной характеристикой, представляющей собой зависимость выходного напряжения от перемещения сердечника, требуемая линейность может обеспечиваться за счет изменения плотности распределения витков в обмотках вторичной цепи. В последнее время в датчиках типа ЛДТ используется инвариантная схема представления выходной характеристики, поскольку она значительно уменьшает эксплуатационные погрешности измерения перемещения(погрешности от колебания напряжения питания, частоты, температуры, давления, механических перегрузок). В датчиках с инвариантной схемой получение нелинейности менее 0,8 % за счет изменения плотности распределения витков во вторичной обмотке по длине каркаса без изменения длины сердечника труднодостижимо. Основная задача при создании таких датчиков – это поиск варианта изменения потокосцеплений первичной и двух вторичных обмоток в зависимости от хода, обычно являющихся нелинейными функциями, таки, чтобы алгоритм разности напряжений этих обмоток отнесенной к их сумме давал бы линейную функцию.

При проведении дальнейших работ по миниатюризации и повышению точности измерения датчиков типа ЛДТ изготовлен образец с рабочим ходом ± 15 мм, в конструкции которого были приняты изменения, такие как: были убраны стакан и вилка.

В результате проведенных испытаний были получены следующие параметры и характеристики датчика представленные в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры датчика

№	X, mm	U1, В	U2, В	Выходная характеристика	Крутизна	Средняя крутизна	Нелинейность
1	-15,0	1,2776	5,0768	0,597885	0,039859	0,039626	0,294
2	-13,0	1,6275	5,1799	0,521844	0,040142		0,564
3	-11,0	2,0262	5,2248	0,441125	0,040102		0,441
4	-9,0	2,4584	5,2084	0,358689	0,039854		0,173
5	-7,0	2,9117	5,1296	0,275814	0,039402		-0,132
6	-5,0	3,3627	4,9878	0,194611	0,038922		-0,296
7	-3,0	3,7911	4,7812	0,115500	0,038500		-0,284
8	-1,0	4,1784	4,5101	0,038177	0,038177		-0,122
9	1,0	4,5111	4,1784	0,038288	0,038288		-0,113
10	3,0	4,7831	3,7949	0,115202	0,038401		-0,309
11	5,0	4,9900	3,3704	0,193723	0,038745		-0,371
12	7,0	5,1330	2,9245	0,274092	0,039156		-0,277
13	9,0	5,2114	2,4734	0,356288	0,039588		-0,029
14	11,0	5,2270	2,0418	0,438202	0,039837		0,195
15	13,0	5,1817	1,6436	0,518380	0,039875		0,272
16	15,0	5,0794	1,2924	0,594338	0,039623		-0,005

X – Перемещение;

U2, U1– текущие значения выходного напряжения измерительных обмоток, В.

На рис. 3 приведена зависимость выходной характеристики от перемещения.

Выходная характеристика рассчитывается по формуле:

$$\gamma = \frac{U_1 - U_2}{U_1 + U_2}$$

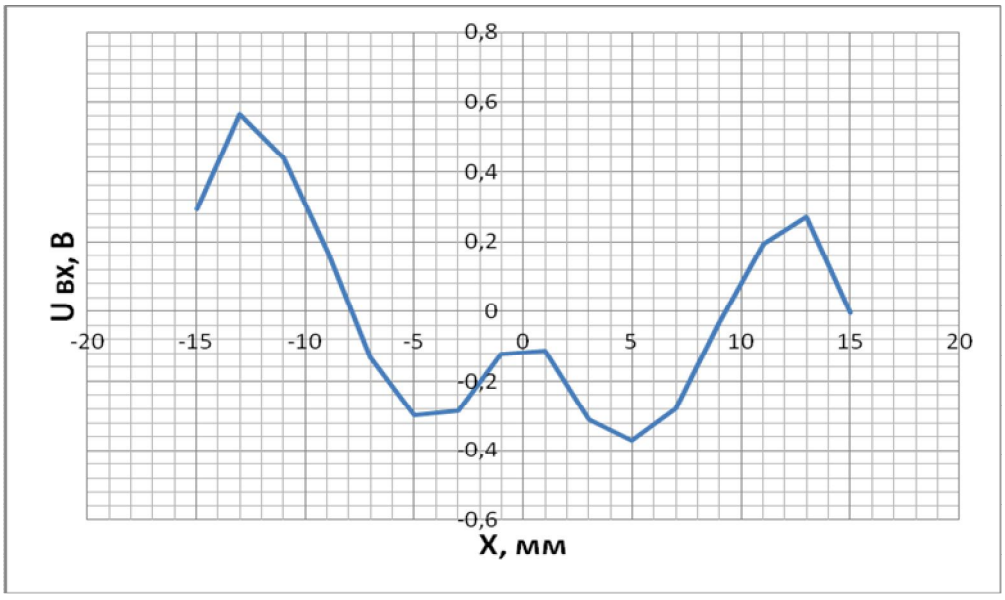


Рис.3. Зависимость выходной характеристики от перемещения

Конфигурация зависимостей обеспечивает нелинейность выходной характеристики менее ±0,8. Крутизна данной характеристики стабильна. Практические значения нелинейности, полученные на образце, приведены на рис.4.

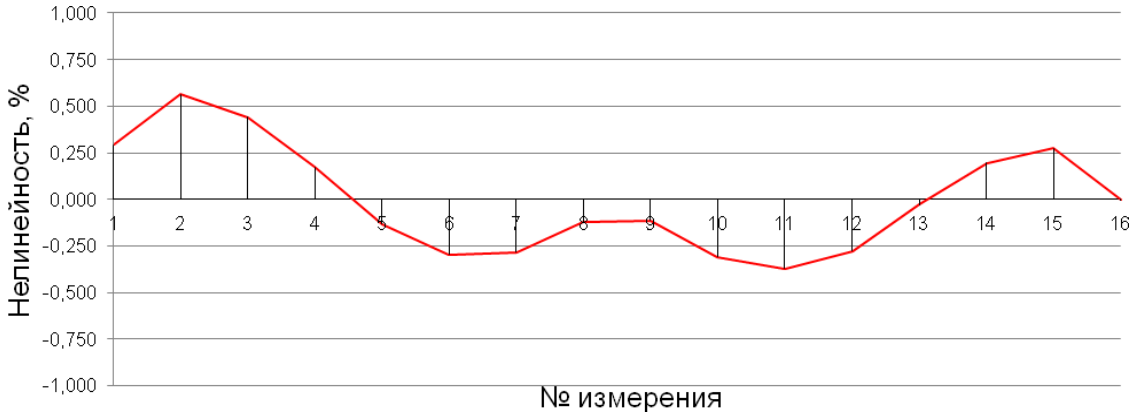


Рис.4. Практические значения нелинейности

Нелинейность выходной характеристики, % определялась по формуле:

$$n - \frac{(\frac{\gamma_i}{K_{ср}} - x_i)}{30} \cdot 100\%$$

Где γ_i - текущее значение отношения разности к сумме выходных напряжений измерительных обмоток;

Кср - средняя крутизна выходной характеристики, 1/мм;

xi - текущее значение перемещения подвижной части, мм;

30 - рабочий ход подвижной части в обе стороны от нулевого положения, мм.

Крутизна выходной характеристики определялась по формуле:

$$K = \frac{\gamma_i}{x_i}$$

На основе схемы замещения одного канала датчика (рис. 5) выведены аналитические соотношения для выходных напряжений в секциях вторичных обмоток.

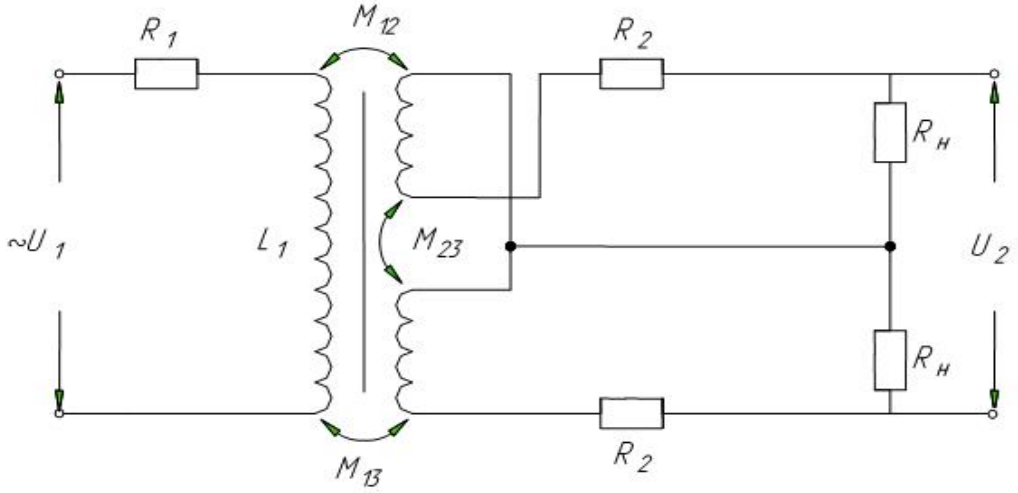


Рис.5. Схема замещения одного канала датчика

Выходное напряжение секции с активным сопротивлением R_2:

$$U_2 = \frac{j\omega M_{12} U_1 R_н}{(R_1 + j\omega L_1)(R + j\omega(L_2 - M_{23})) + \omega^2 M_{12}^2 - \frac{\omega^2 M_{13}^2 (R + j\omega(L_2 - M_{23}))}{(R + j\omega(L_2 - M_{23}))}}$$

Выходное напряжение секции с активным сопротивлением R_3:

$$U_3 = \frac{j\omega M_{13} U_1 R_н}{(R_1 + j\omega L_1)(R + j\omega(L_3 - M_{23})) + \omega^2 M_{13}^2 - \frac{\omega^2 M_{12}^2 (R + j\omega(L_3 - M_{23}))}{(R + j\omega(L_2 - M_{23}))}}$$

Где M_{12}, M_{13}, M_{23} - взаимные индуктивности обмоток;

L_1, L_2 – индуктивности обмоток;

U_1 - напряжение питания датчика;

$R_н$ - сопротивление нагрузки датчика.

Расчет выходного напряжения по этим соотношениям для исходного положения сердечника дает погрешность 10 %.

Итак, предлагаемый вариант схемно-конструктивного исполнения дифференциально-трансформаторного датчика типа ЛДТ на рабочий ход ±15 мм позволил получить:

- длину датчика 108 мм, что на 20 мм меньше, чем у прототипа;
- нелинейность выходной характеристики менее 0,8 %, что на 0,2% меньше чем у прототипа.

Датчик предназначен для преобразования возвратно-поступательного перемещения штока привода регулятора расхода газа газораспределительной станции в пропорциональные ему соотношения сигналов переменного тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савченко М.Г., Марьянов Г.М., Филлипов В.И., Колокольцов В.Н., Исаев А.А.. / Компенсация погрешностей индукционных бесконтактных датчиков положения //Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. науч. Трудов. Конф. НПЦ «Полюс». Томск,2001.

2. Шидлович Л.Х. / Дифференциальные трансформаторы и их применение // – М: Энергия, 1966.

3. Савченко М.Г, Марьянов Г.М., Филиппов В.И. / Двухканальные датчики типа ЛДТ на одном магнитопроводе. // Электронные и электромеханические системы и устройства, : Сб. нач. трудов. Новосибирск: наука, 2007.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ ПРИВОДНОГО ДВИГАТЕЛЯ ГИДРОИМПУЛЬСНОГО МЕХАНИЗМА БУРИЛЬНЫХ МАШИН

Юровский П. Г.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Прогрессивным направлением в развитии машин и механизмов ударного действия является создание силовых импульсных систем с гидравлическим приводом [2]. Исследования вращательного бурения, режущим инструментом с наложением на него высокоэнергетических упругих колебаний, показали возможность в 2-2,5 раза интенсифицировать процесс разрушения горных пород, в 1,5-2 раза повысить износостойкость

режущего инструмента, на 2-3 категории крепости пород по шкале проф. М.М. Протодьяконова расширить область эффективного применения вращательного бурения скважин при повышении производительности труда на 40-70 % [3].

Учитывая эти обстоятельства, разработан гидроимпульсный силовой механизм, который может быть использован вместо ударных узлов бурильных машин вращательно-ударного действия, либо в качестве источника высокоэнергетических направленных упругих колебаний для бурильных машин вращательного действия.

Импульсы давления жидкости формируются следующим образом. При работе гидропульсатора, плунжер совершает возвратно-поступательное движение, при этом создаются импульсы давления жидкости, которые передаются в гидроцилиндр. Так как гидроцилиндр поджат упругой силой, происходит его раскачка вместе с инерционной массой m. При этом происходит периодическое преобразование кинетической энергии массы m в потенциальную энергию деформированной системы жидкости и рукава – повышению давления в системе и обратно. При режиме работы системы близкого к резонансному, возникают импульсы давления значительной величины, которые через поршень и буровую штангу передаются на обрабатываемую среду.

Для вывода уравнений, описывающих данную систему, полагаем, что между двумя следующими друг за другом силовыми импульсами, гидроцилиндр неподвижен. Вводим следующие обобщенные координаты: x1 – координата перемещения корпуса гидроцилиндра; x2 – координата перемещения плунжера (рис. 1).

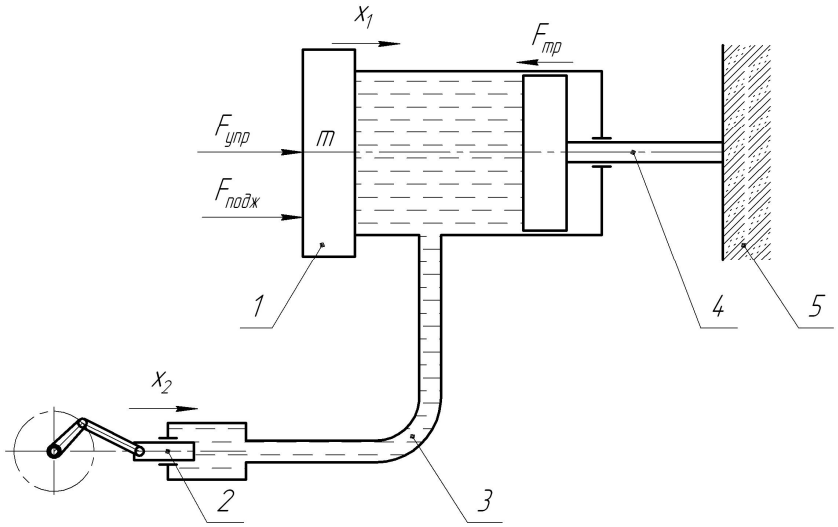


Рис. 1. Модель гидроимульсного механизма:1 – гидроцилиндр с активной массой; 2 – плунжер; 3 – рукав высокого давления (РВД); 4 – бурильный инструмент; 5 – разрушаемая порода

Учитывая принятые допущения, дифференциальное уравнение движения гидроцилиндра можно представить в виде:

$$m\frac{d^2x_1}{dt^2}+k_{\text{ТР}}\frac{dx_1}{dt}+c\,x_1=F_{\text{ПОДЖ}}-p\,S_{\text{ГЦ}}, \quad (1)$$

где m – масса, прикрепленная к корпусу гидроцилиндра; $k_{\text{ТР}}$ – коэффициент трения между поршнем и гидроцилиндром; с – жесткость пружины; р – давление в гидроцилиндре; $F_{\text{ПОДЖ}}$ – постоянное усилие поджима; $S_{\text{ГЦ}}$ – площадь поршня гидроцилиндра.

Уравнение расходов:

$$S_{\text{ГЦ}}\frac{dx_1}{dt}+S_{\text{ПЛ}}\frac{dx_2}{dt}=C_V\frac{dp}{dt}, \quad (2)$$

где $S_{\text{ПЛ}}$ – площадь плунжера, C_V – коэффициент упругости гидросистемы, определяющий расход на деформацию элементов гидросистемы и сжимаемость жидкости.

Основным деформируемым элементом, в данном случае, будет рукав высокого давления, деформациями гидроцилиндра и плунжера можно пренебречь. Коэффициент упругости для рукавов высокого давления рассчитывается по формуле:

$$C_V=\frac{V_{\text{РВД}}}{E_{\text{ПР}}},$$

где $V_{\text{РВД}}$ – объем рукавов высокого давления, $E_{\text{ПР}}$ – приведенный модуль упругости, учитывающий сжимаемость жидкости и деформацию рукавов.

Проинтегрировав выражение (2) получили

$$S_{\text{ГЦ}}\,x_1+S_{\text{ПЛ}}\,x_2=C_V\,p+C_1, \quad (3)$$

где С1 – постоянная интегрирования.

Подставляем начальные условия $x_1=0,\ x_2=0,\ p=\frac{F_{\text{ПОДЖ}}}{S_{\text{ГЦ}}}$ в (3), находим постоянную интегрирования

$$C_1=-C_V\frac{F_{ПОДЖ}}{S_{ГЦ}}.$$

Из выражения (3) находим

$$x_1=\frac{C_V}{S_{\text{ГЦ}}}p-\frac{S_{\text{ПЛ}}}{S_{\text{ГЦ}}}x_2-\frac{C_V F_{\text{ПОДЖ}}}{S_{\text{ГЦ}}^2}. \quad (4)$$

Плунжер движется по закону $x_2=r\sin(\omega t)$, где r – радиус кривошипа привода плунжера. Подставляем закон движения плунжера в выражение (4) и дважды дифференцируем

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{C_V}{S_{\text{ГЦ}}}\frac{dp}{dt} - \frac{S_{\text{ПЛ}} r\omega\cos(\omega t)}{S_{\text{ГЦ}}},$$

$$\frac{d^2x_1}{dt^2} = \frac{C_V}{S_{\text{ГЦ}}}\frac{d^2p}{dt^2} + \frac{S_{\text{ПЛ}} r\omega^2\sin(\omega t)}{S_{\text{ГЦ}}}.$$

Полученные выражения подставляем в (1), получаем

$$\frac{m C_V}{S_{\text{ГЦ}}}\frac{d^2p}{dt^2} + \frac{m S_{\text{ПЛ}} r\omega^2\sin(\omega t)}{S_{\text{ГЦ}}} + \frac{k_{\text{ТР}} C_V}{S_{\text{ГЦ}}}\frac{dp}{dt} - \frac{k_{\text{ТР}} S_{\text{ПЛ}} r\omega\cos(\omega t)}{S_{\text{ГЦ}}} +$$

$$+\frac{c C_V}{S_{\text{ГЦ}}}p - \frac{c S_{\text{ПЛ}} r\sin(\omega t)}{S_{\text{ГЦ}}} - \frac{c C_V F_{\text{ПОДЖ}}}{S_{\text{ГЦ}}^2} = F_{\text{ПОДЖ}} - p\, S_{\text{ГЦ}}.$$

Преобразуем выражение к виду

$$(m C_V)\frac{d^2p}{dt^2} + (k_{\text{ТР}} C_V)\frac{dp}{dt} + (c C_V + S_{\text{ГЦ}}^2)p = \left(F_{\text{ПОДЖ}} S_{\text{ГЦ}} + \frac{c C_V F_{\text{ПОДЖ}}}{S_{\text{ГЦ}}}\right) +$$

$$+\left(c S_{\text{ПЛ}} r - m S_{\text{ПЛ}} r\omega^2\right)\sin(\omega t) + (k_{\text{ТР}} S_{\text{ПЛ}} r\omega)\cos(\omega t). \qquad (5)$$

Вводим обозначения

$$m_1 = m C_V,\ \ \mu = k_{\text{ТР}} C_V,\ \ C_P = c C_V + S_{\text{ГЦ}}^2,\ \ d = F_{\text{ПОДЖ}} S_{\text{ГЦ}} + \frac{c C_V F_{\text{ПОДЖ}}}{S_{\text{ГЦ}}},$$

$$a = c S_{\text{ПЛ}} r - m S_{\text{ПЛ}} r\omega^2,\ \ \ b = k_{\text{ТР}} S_{\text{ПЛ}} r\omega.$$

Тогда выражение (5) приобретает вид

$$m_1\frac{d^2p}{dt^2} + \mu\frac{dp}{dt} + C_P\, p = d + A_B\sin(\omega t + \alpha), \qquad (6)$$

где $A_B = \sqrt{a^2 + b^2},\ \text{tg}(\alpha) = b/a.$

Делим (6) на m_1 и получаем дифференциальное уравнение вынужденных колебаний с вязким сопротивлением [1]. Обозначим:

$$2h = \mu/m_1,\ \ k^2 = C_P/m_1,\ \ d_1 = d/m_1,\ \ H_0 = A_B/m_1.$$

После подстановки в (6) получаем

$$\frac{d^2p}{dt^2} + 2h\frac{dp}{dt} + k^2\, p = d_1 + H_0\sin(\omega t + \alpha). \qquad (7)$$

Решением уравнения (7) будет:

$$p = \frac{d_1}{k^2} + A\sin(\omega t + \gamma), \quad \text{где} \quad A = \frac{H_0}{\sqrt{\left(k^2 - \omega^2\right)^2 + 4h^2\omega^2}}.$$

Из полученного решения можно найти требуемую частоту приводного двигателя плунжера, при которой система находится в резонансе и амплитуда скачка давления максимальна:

$$\omega = k = \sqrt{\frac{c}{m} + \frac{S_{\text{ГЦ}}^2}{m C_V}}.$$

СИЛОВЫЕ КОММУТАЦИОННЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ГАЛЛИЯ ДЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Ерофеев Е.В., Кагадей В.А.*, Казимиров А.И., Федин И.В.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск
*ЗАО «Научно-производственная фирма «Микран», г. Томск

Приборы на основе нитрида галлия не новы. Они изучаются с 1980-х годов. Первыми приборами на нитриде галлия стали светодиоды, которые за последние 20 лет нашли широкое применение. Затем на передний план вышли AlGaN/GaN гетероструктурные полевые транзисторы, или транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT), отличающиеся высокими значениями мощности и рабочей частоты. Они в основном применяются в высокочастотных усилителях мощности систем военного и гражданского назначения. Сегодня, когда растут требования к снижению энергопотребления и уменьшению габаритов электронной аппаратуры, GaN транзистор оказался одним из самых перспективных приборов, способных заменить мощные кремниевые полевые транзисторы в компактных импульсных источниках питания, DC/DC- преобразователях, разумных сетях электропитания, электроприводах [1]. Силовые GaN транзисторы, значительно превосходят характеристики своих кремниевых аналогов. К основным преимуществам которых можно отнести значительное уменьшение массо-габаритов, повышенный КПД, а также улучшенные надежностные характеристики [2]. Поэтому исследования и разработки в данном направлении с каждым годом приобретают все большую актуальность.

В данной работе представлены результаты разработки силовых коммутационных транзисторов на основе нитрида галлия для создания высокоэффективных вторичных источников электропитания.

В экспериментах по созданию силовых GaN транзисторов использовались эпитаксиальные гетероструктуры, выращенные на подложках сапфира. Технологический маршрут изготовления транзистора включал в себя операции по формированию меза-изоляции с помощью плазмохимического травления гетероструктуры в индуктивно-связанной плазме, формирования омических контактов на основе композиции Ti/Al/Mo/Au, а также затворной металлизации на основе Pd. Формирование субмикронного затвора транзистора с длиной основания 0,5 мкм выполнялось методом электронно-лучевой литографии. Внешний вид и морфология поверхности элементов транзистора исследовались методом электронной микроскопии. Параметры изготовленных транзисторов по

постоянному току исследовались с помощью измерителя характеристик полупроводниковых приборов Л2-56.

Микроскопические изображения тестового GaN транзистора с шириной затвора W=100 мкм, а также его канальной области приведены на рис.1.

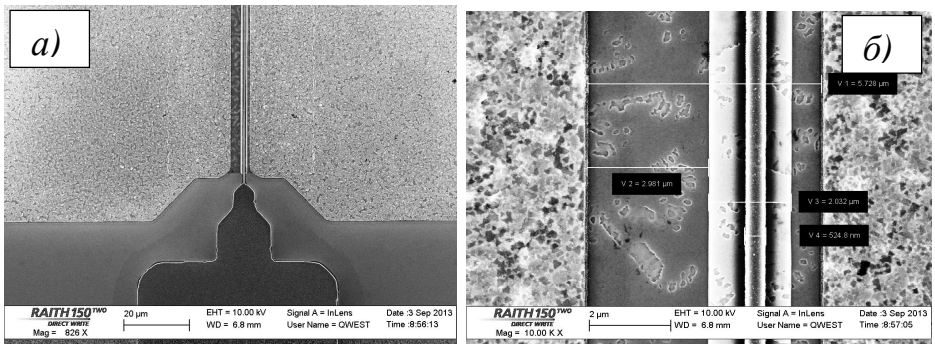


Рис. 1. Микроскопические изображения тестового GaN транзистора с шириной затвора W=100 мкм (а) и канальной области транзистора (б)

На рис. 2 представлена типовая вольт - амперная характеристика разработанного нормально-закрытого GaN транзистора на пластине сапфира. Пороговое напряжение отпирания транзистора составило Uпор = +1.4 В.

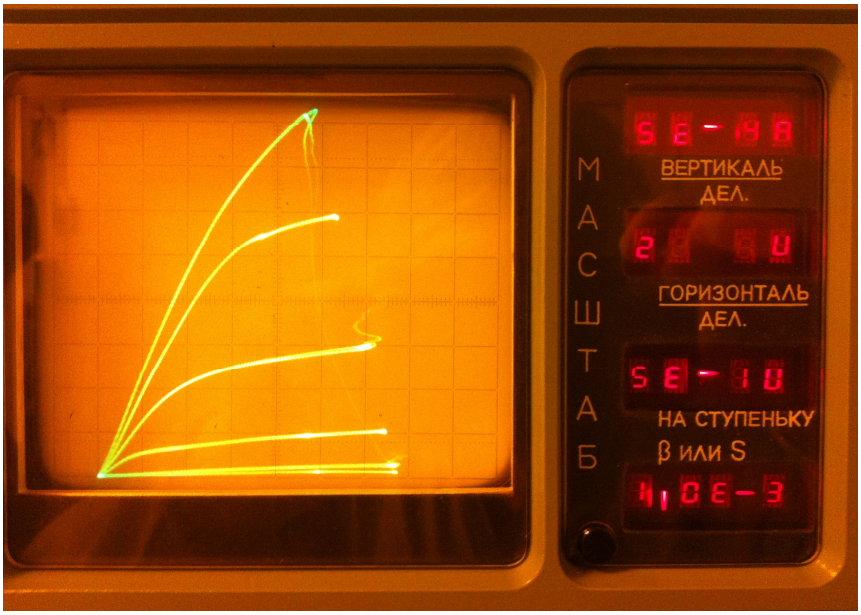


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика тестового GaN транзистора на пластине сапфира

На рис. 3 представлено микроскопическое изображение периферии сильноточного GaN транзистора с шириной затвора W = 120 мм.

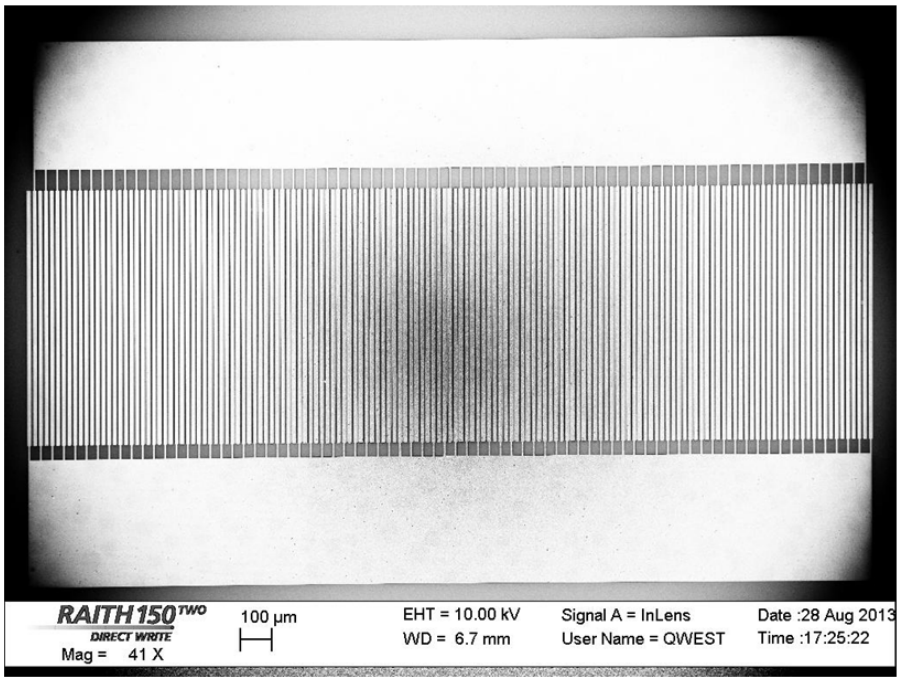


Рис. 3. микроскопическое изображение периферии сильноточного GaN транзистора с шириной затвора W = 120 мм

Следует сказать, что для различных конструкций GaN транзисторов при напряжении на затворе Uз = -5 В и расстоянии сток-исток от 3,6 до 17,6 мкм получены напряжения пробоя между стоком и истоком от 120 до 250 В. При этом значения приведенного сопротивления транзистора в открытом состоянии составляют 0,2 и 5,8 мОм х см2, соответственно.

Полученные в работе результаты измерения параметров транзисторов соответствуют зарубежным аналогам, представленным в работах [3]-[6], а также делают перспективным их использование при создании высокоэффективных вторичных источников электропитания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Briere M. GaN-based Power Device Platform. The arrival of a new paradigm in conversion technology. – www.powersystemdesign.com

2. GaN-on-Silicon wafers: the enabler of GaN power electronics. – Power Devices, 2012, №4, p. 6-9.

3. J. Würfl, O. Hilt, E. Bahat-Treidel, R. Zhytnytska, K. Klein, P. Kotara, F. Brunner, A. Knauer, O. Krüger, M. Weyers, G. Tränkle.

Technological approaches towards high voltage, fast switching GaN power transistors // ECS Trans. – 2013. – V. 52. – №1. –PP. 979–989.

4. J. Würfl, O. Hilt, E. Bahat-Treidel, R. Zhytnytska, P. Kotara, O. Krüger, F. Brunner, M. Weyers. Breakdown and Dynamic Effects in GaN Power Switching Devices // 40th International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS), Kobe, Japan, May 19-23. – 2013.

5. O. Hilt, E. Bahat-Treidel, E. Cho, S. Singwald and J. Würfl. Impact of Buffer Composition on the Dynamic On-State Resistance of High-Voltage AlGaN/GaN HFETs // 24th Int. Symp. on Power Semiconductor Devices and ICs (ISPSD), Bruges, Belgium. – 2012. – V.14. – PP. 345–348.

6. G. Meneghesso, A. Zanandrea, A. Stocco, I. Rossetto, C. De Santi, F. Rampazzo, M. Meneghini, E. Zanoni, E. Bahat-Treidel, O. Hilt, P. Ivo, J. Würfl. GaN-HEMTs devices with Single- and Double-heterostructure for power switching applications // IEEE Int. Reliab. Phys. Symp. (IRPS), Monterey, CA, USA. – 2013. – PP. 3C1.1 – 3C1.7.

ПРИВОДЫ ТЯГОВЫХ АППАРАТОВ

Бурец А.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

На подвижном составе рельсового и электрифицированного безрельсового транспорта находят применение разнообразные электрические аппараты, такие как, автоматические выключатели, контакторы, контроллеры, разъединители. Они производят значительную, а иногда и основную часть операций по управлению режимами тяговых электродвигателей, вспомогательных машин, преобразователей и т.д. с целью изменения скорости движения подвижного состава.

Существует много типов приводов, которые используются в тяговых аппаратах. А именно – мускульный, пружинный, электромагнитный, пневматический и электродвигательный.

Несмотря на широкое применение автоматики и дистанционного управления, работа подвижного состава в целом подчинена действиям человека (машиниста, водителя), который переключает соответствующие аппараты. Таким образом, движущую силу в некоторых аппаратах создают мускулы человека. Различают ручной и ножной мускульные приводы. Обычно мускульный привод имеют разъединители, кнопки, рубильники и контроллеры. Сила мускул человека передается аппарату посредством рукояток, маховиков и педалей.

Пружины применяют в тяговой аппаратуре очень широко и в первую очередь в качестве привода для осуществления рабочих перемещений частей аппаратов. Иногда предварительно заведенный пружинный привод является главным элементом, определяющим основные функции аппарата, например пружинный привод полуавтоматического контроллера. Чаще пружинный привод осуществляет перемещение подвижных частей аппарата в сторону, противоположную их первоначальному движению, вызванному действием другого, основного привода, например возвращение в исходное положение частей контроллера троллейбуса, контакторов, кнопок и др. Кроме того, пружины широко используют для создания нажатия контактов, защелок и т.д.

Электромагнитный привод является в настоящее время основным приводом мощных масляных выключателей, как наиболее простой конструктивно, дешевый и надежный в работе. В качестве источника питания электромагнитных приводов постоянного тока обычно применяется аккумуляторная батарея. В основу конструкции этих приводов положен принцип электромагнитного действия на железный сердечник катушки, обтекаемой током. При прохождении тока по катушке сердечник, втягиваясь в нее, производит операцию включения или отключения. Применяется данный привод в тяговых контактрах. Тяговая характеристика электромагнитного привода приведена на рисунке 1.

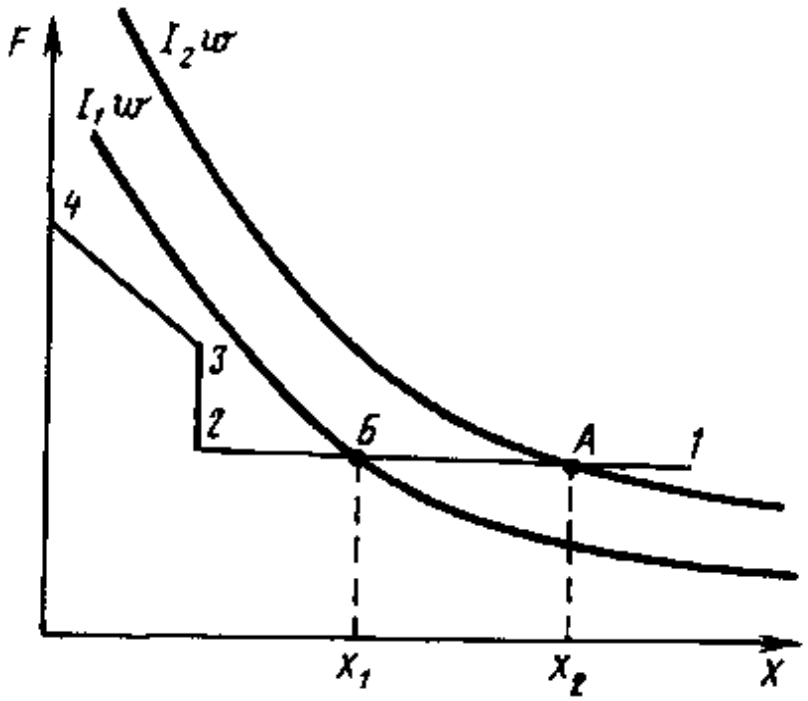


Рис. 1. Тяговые характеристики электромагнитного привода

Недостатки таких электромагнитов в том, что мощные электромагниты расходуют много энергии и у них большая цена.

Пневматический привод, представляет собой совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение машин и механизмов посредством энергии сжатого воздуха. Обязательными элементами пневмопривода являются компрессор (генератор пневматической энергии) и пневмодвигатель.

Пневмопривод, подобно гидроприводу, представляет собой своего рода «пневматическую вставку» между приводным двигателем и нагрузкой (машиной или механизмом) и выполняет те же функции, что и механическая передача (редуктор, ремённая передача, кривошипно-шатунный механизм и т. д.).

Основное назначение пневмопривода, как и механической передачи – преобразование механической характеристики приводного двигателя в соответствии с требованиями нагрузки (преобразование вида движения выходного звена двигателя, его параметров, а также регулирование, защита от перегрузок и др.). Привод в основном используется в контакторах, которые предназначены для пуска тягового электродвигателя.

Достоинства данного привода в том, что привод развивает необходимые усилия при небольшом расходе электроэнергии.

Групповым аппаратам на большое число коммутационных положений часто бывает необходим привод, обеспечивающий остановку (фиксацию) аппарата в нескольких промежуточных положениях. Для ограничнного количества фиксированных позиций (до четырех) созданы конструкции пневматического привода с жесткой фиксацией. При большом количестве фиксированных позиций пневматический привод также применяют, но сложность и недостатки, свойственные таким приводам, побуждают разрабатывать электродвигательные приводы, особенно для подвижного состава, где нет сжатого воздуха. Этот привод состоит из небольшого служебного электродвигателя, который через редуктор, а иногда специальную прерывную передачу вращает вал группового аппарата.

Такой привод особенно целесообразен при большом количестве позиций группового аппарата (20-40), что имеет место во многих системах управления подвижным составом. Он очень удобен при особенно большом количестве позиций (80-100 и более), когда жесткая фиксация аппарата на промежуточных позициях не является необходимой и задача управления сводится к непрерывному изменению скорости вращения двигателя электропривода, например, в зависимости от тока в силовой цепи.

Данный тип привода находит применение для управления тяжелыми разъединителями, когда ручное управление затруднительно или невозможно.

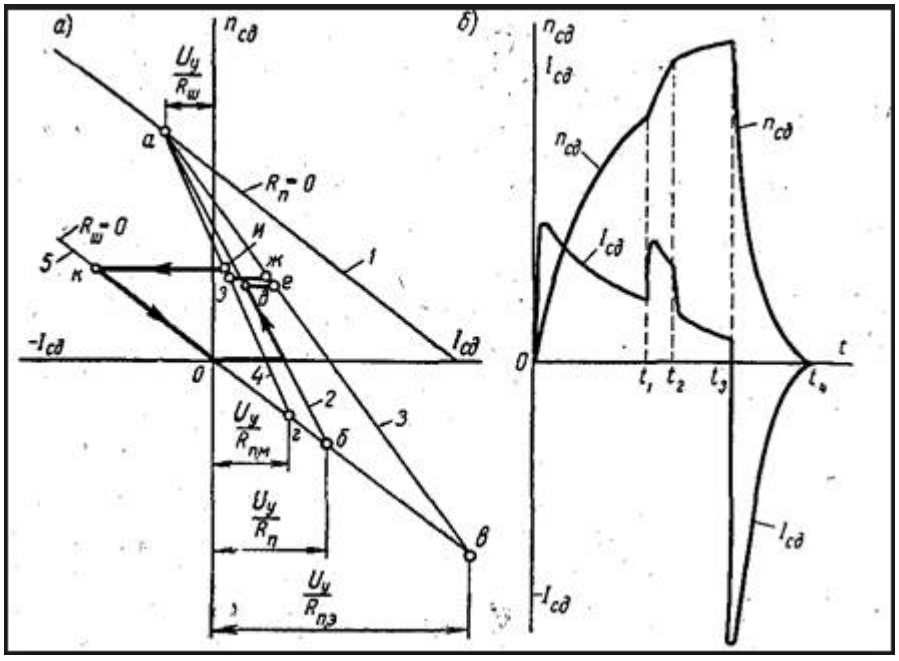


Рис. 2. Характеристики электродвигательного привода

Все представленные типы приводов очень важны для обеспечения нормальной работы подвижного состава

ЛИТЕРАТУРА

1. Баталов Н.М., Петров Б.П. Тяговые электрические аппараты. – М.: Энергия, 1969. – 240 с.

2. Литовченко В.В., Чумоватов А.И. Тяговые электрические аппараты. Методические указания. – М.: Москва, 2003. – 63 с.

ГАШЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В АВТОМАТИЧЕСКОМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕ

Пашковский В.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Возникновение дуги на контактах аппарата ведет к их значительному износу и сокращению срока службы аппарата; степень износа находится почти в прямой зависимости от размыкаемого тока и времени горения

дуги. Поэтому одним из наиболее радикальных средств уменьшения износа контактов под влиянием дуги является сокращение времени горения дуги (повышение активности гашения дуги).

Но, с другой стороны, в ряде случаев возникающая электрическая дуга играет и положительную роль, так, при отключении постоянного тока значительная часть электромагнитной энергии, запасенной в отключаемой цепи, преобразуется в тепловую энергию дуги, которая отводится в окружающую среду. Это ведет к снижению перенапряжений, опасных для изоляции оборудования.

При переменном токе дуга является проводящим элементом цепи в течение всей полуволны тока, процесс гашения дуги по существу проходит вблизи нулевой паузы тока, когда электромагнитная энергия цепи близка к нулю. В результате вероятность появления опасных перенапряжений резко уменьшается.

В аппаратах, отключающих цепи со значительными величинами тока и напряжения, для ускорения гашения дуги применяют специальные дугогасительные устройства (камеры). Без применения таких специальных дугогасительных устройств гашение дуги, возникающей на контактах, становится невозможным, а следовательно, делается невозможным и размыкание цепи.

1. Гашение электрической дуги

Гашение электрической дуги является одной из актуальных проблем современного электроаппаратостроения. Надежность работы выключающих аппаратов, равно как их конструктивные формы и области применения определяются способом гашения дуги.

Задача конструирования дугогасящих устройств заключается не в простом гашении дуги. Дугу нужно гасить в малом объеме, при малом звуковом и световом эффекте, за малое время и при малом износе частей аппаратов.

2. Исследование восстанавливающей электрической прочности

Для автоматических выключателей переменного тока характеристика восстанавливающейся электрической прочности (ВП) после обрыва тока дуги является одной из главных, так как она во многом определяет коммутационные возможности аппаратов. Зная ее, можно оценить "запас" по ВП при заданных условиях коммутации. Она позволяет сравнивать различные коммутационные устройства при одинаковых параметрах отключаемой нагрузки. Использование характеристики ВП дает возможность осуществлять неразрушающий контроль работоспособности изготовляемых дугогасительных устройств в заводских условиях.

Общее условие гашения электрической дуги формулируется следующим образом: Электрическая дуга между контактами аппарата погаснет, и промежуток приобретет через некоторое время свойства диэлектрика, если в каждый заданный момент времени электрическая прочность промежутка будет выше напряжения на нем. Если же в какой-либо момент времени напряжение на межконтактном промежутке станет выше прочности этого промежутка, то процесс гашения дуги прекращается. Поэтому при изучении закономерностей гашения дуги переменного тока большое внимание уделяется процессу изменения как восстанавливающегося напряжения ВН на контактах аппарата, так и восстанавливающейся электрической прочности коммутирующего устройства.

3. Дугогасительная решетка в автоматических выключателях

Для изготовления дугогасительной решетки следует выбирать медь или железо. Медь обладает высокой теплоемкостью и может поглотить выделяющуюся в дуге энергию без чрезмерного повышения температуры. Железо, благодаря своим магнитным свойствам, способствует увеличению сил, втягивающих дугу в решетку.

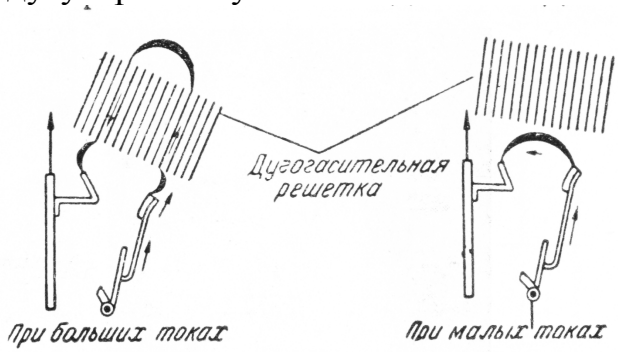


Рис. 1. Электрическая дуга в решетке

При больших токах короткого замыкания можно опасаться того, что дуга пройдет через всю область решетки и замкнется поверх нее, как показано на рис.1. Это ведет к гибели аппарата.

Электрическая дуга хорошо проникает в область решетки при больших токах, когда магнитное поле, вгоняющее дугу в решетку, велико. При малых токах и отсутствии внешнего магнитного поля, электродинамические силы, действующие на дугу, могут оказаться недостаточными для ее вхождения в решетку. В таких случаях дуга держится устойчиво между контактами аппарата под решеткой, как показано на рис.1. При этом она сжигает контакты и решетку.

На основании исследования аппаратов с медной и железной решетками построены характеристики на рис.2. Они выражают зависимость времени горения дуги от величины отключаемого тока. Из

рассмотрения этих кривых следует, что при токах до 100 А 550 В дуга разрывается благодаря механическому растягиванию ее контактами. Длительность ее горения при этом мала. Далее, по мере нарастания тока, дуга становится все длиннее и устойчивее; начинает сказываться различие способов гашения. Кривая 1 относится к аппарату с медной решеткой. В диапазоне токов от 100 до 1900 А имеет место устойчивое горение дуги; дуга не проникает в область решетки. Магнитное поле еще недостаточно, чтобы вогнать дугу в решетку, а расхождение контактов уже недостаточно для того, чтобы разорвать дугу. Далее, по мере нарастания тока, магнитное поле, создаваемое током, становится достаточным для того, чтобы вогнать дугу в область решетки. Длительность горения дуги падает. Автомат начинает работать исправно. При более значительном возрастании тока энергия, выделяющаяся в дуге, возрастает. Решетка нагревается все сильнее и сильнее. Длительность горения дуги возрастает до тех пор, пока при некотором предельном для аппарата токе не появляется вновь устойчивая дуга.

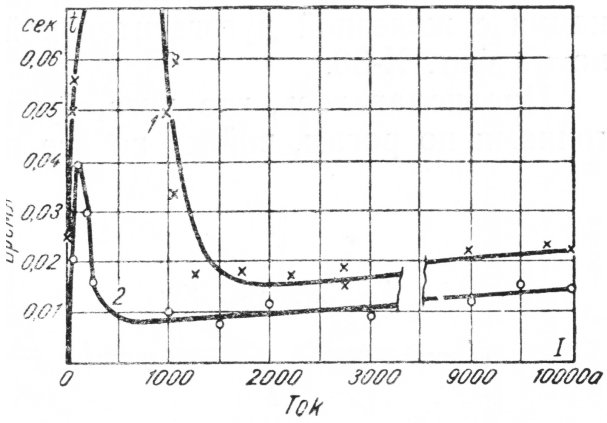


Рис. 2. Зависимость длительности горения дуги от тока

Таким образом, для аппаратов с дугогасительной решеткой могут существовать две опасные области работы: первая — при малых токах, когда решетка еще не начала действовать; вторая — при больших токах, когда решетка не может поглотить энергии, выделенной в дуге, или дуга не может проникнуть в решетку.

Для аппаратов с железной решеткой (кривая 2, рис.2.) длительность горения дуги меньше, чем для аппаратов с медной решеткой. И здесь при малых токах имеет место увеличение длительности горения дуги по сравнению с тем, что происходит при больших токах. Однако устойчивой дуги не получается. В этом решающее преимущество железной решетки перед медной.

Применение железа для дугогасительной решетки не только повышает надежность работы аппарата, но и значительно снижает его

стоимость. Обмедненные железные пластины работают вполне надежно. Легкий слой коррозии, который может появиться при длительном пребывании решетки в сыром помещении, опасности не представляет; он уничтожается там, где проходят опорные точки дуги.

Так же в выключающих аппаратах широко распространено применение дугогасительных рогов, на которые перебрасывается дуга, возникающая между контактами. Применение рогов позволяет защитить контакты от обгорания, уменьшить их раствор и, ускорив движение опорных точек дуги, сократить время ее гашения.

Исследуемое дугогасительное устройство выполнено на основе автомата ВА47-100 на номинальный ток 63 А.

Дугогасительные пластины изготовлены из стальной ленты 10КП-Н-НТ-2-0 толщиной 1мм. Пластины в необходимом количестве покрыты различными материалами: медью, оловом, никелем, цинком, кадмием. Толщина покрытия - 9 мкм.

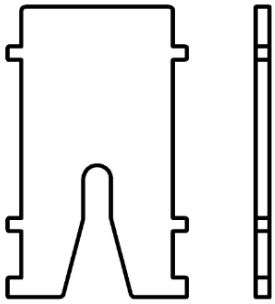


Рис. 3. Пластина дугогасительной решетки

Вывод: следует применить камеру (рис.3). Данная камера устанавливается значительно ближе к контактам, значит, ЭДУ будет достаточно для втягивания дуги в дугогасительную камеру. Ну и как следствие, дуга разрывается на маленькие участки и гаснет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таев И.С. Электрические аппараты управления: Учебник для вузов по спец. «Электрические аппараты» Изд. 2-е перераб. и доп. М., «Высшая школа» 1984.

2. Егоров Е.Г. Испытания и исследования низковольтных коммутационных электрических аппаратов: Учебник для вузов.- Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2000.-448с.: ил.

3. Соболев С.Н. Расчет и конструирование низковольтной электрической аппаратуры. Учебник для техникумов. М., «Высшая школа», 1972.

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНТАКТОРА ПК-32А ДЛЯ ЭЛЕКТРОВОЗА 2ЭС6 «СИНАРА»

Феоктистов К.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время известны очень большие недостатки электропневматических контакторов по сравнению с электромагнитными. Это невысокое время срабатывания, необходимость в подаче сжатого газа для работы пневматики контактора (т.е. необходимо наличие больших по размеру баллонов со сжатым газом), высокие разбросы по времени срабатывания контактора. Эти недостатки отсутствуют у электромагнитных контакторов.

Поэтому мне было актуально выполнить модернизацию электропневматического контактора ПК-32А, а точнее заменить электропневматический привод на электромагнитный, который в свою очередь освобождён от недостатков, присущих элоектропневматике.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы было выполнено:

1) Технология изготовления блока контактов контактора ПК-32А;
2) Анализ технологичности конструкции;
3) Технологический процесс сборки;
4) Составлена маршрутная карта;
5) Расчёт токоведущего контура, в ходе которого были выбраны проводники и контактные соединения токоведущего контура, коммутирующие контакты и дугогасительное устройство контактора;
6) Получены экспериментальные данные с реального экземпляра контактора ПК-32А, а именно: время срабатывания и время отпускания;
7) Произведена замена электропневматической системы контактора на электромагнитную.

Очевидно, что электромагнитный контактор имеет много плюсов по сравнению с электропневматическим.

Основные области применения контакторов ПК-32А: управление мощными электродвигателями (например, на тяговом подвижном составе — электровозах, тепловозах, электропоездах, трамвайных и троллейбусных вагонах, на лифтах), коммутация цепей компенсации реактивной мощности, коммутация больших постоянных токов.

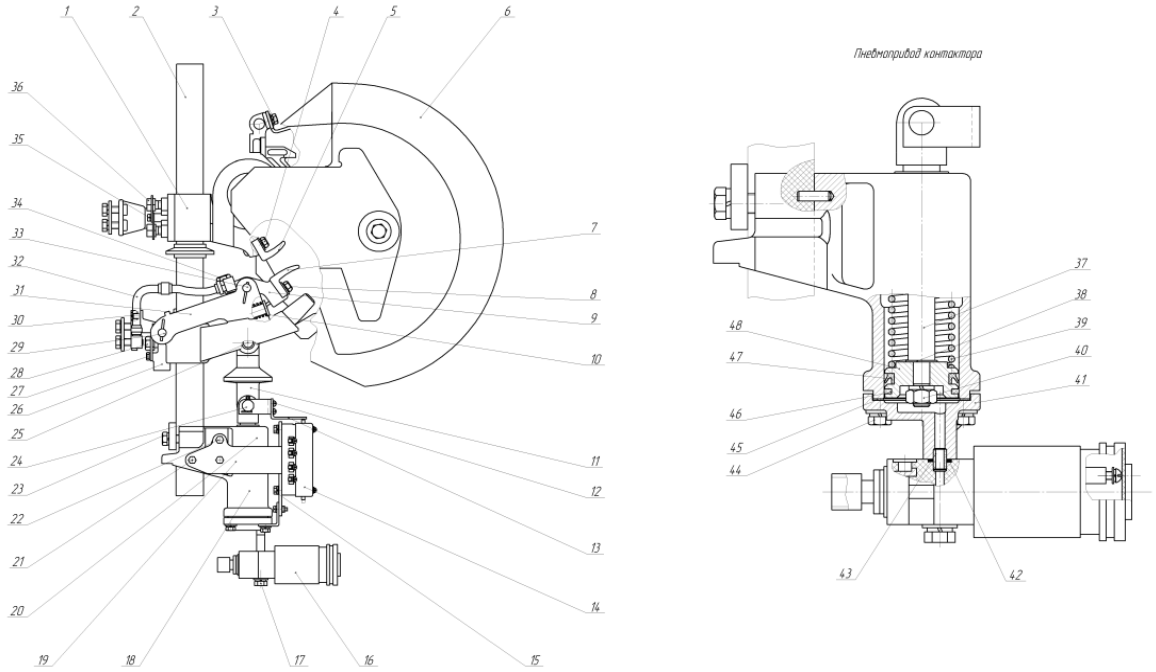


Рис. 1. Устройство контактора постоянного тока ПК-32А

ЛИТЕРАТУРА

1. В.В. Афанасьев, Н.М. Адоньев, Н.М. и др.: Под ред. В.В. Афанасьева. Справочник по расчёту и конструированию контактных частей сильноточных электрических аппаратов – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 384 с.; ил.

2. В.В. Литовченко, Чуматов А.И. Тяговый электрические аппараты: Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Электрооборудование электроподвижного состава», раздел «Тяговые электрические аппараты». – М.: МИИТ, 2003. – 63 с.

3. Сахаров П.В. Проектирование электрических аппаратов (Общие вопросы проектирования). Учебное пособие для студентов электротехнических вузов. – М., «Энергия», 1971. – 560 с.; ил.

4. Электровозы ВЛ10 и ВЛ10у. Руководство по эксплуатации / Под ред. О. А. Кикнадзе. – М.: Транспорт, 1981. – 519 с

5. С. А. Алябьев, Е. В. Горчаков, С.И.Осипов, Э.Э.Ридель, В.Н.Хлебников. Устройство и ремонт электровозов постоянного тока. Учебник для техн. школ ж.-д. трансп. М.; «Транспорт»,1977. 464 с.

6. Тихменев Б.Н. Электровозы переменного тока со статическими преобразователями. Учебное пособие. Москва.: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1958. – 266 с.

7. Раков В. А. Локомотивы отечественных железных дорог (1956 – 1965 гг.). – М: Транспорт, 1966. – 256 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДУГОГАСИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ КОНТАКТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Динь Конг Кюи
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Гашение электрической дуги в аппаратах низкого и высокого напряжения является одной из актуальных проблем, содержащей весьма сложный комплекс вопросов электротехники и физики. Существуют несколько способов гашения дуги контактора постоянного тока. Самым распространенным является гашение в камере (рис. 1).

При проектировании указанных устройств необходимо определить параметры, обеспечивающие ее минимальный объем $V = a \cdot b \cdot h$ при следующих ограничениях:

- температура стенок камеры T_K не должна превышать допустимого значения $T_{ДОП}$;
- перенапряжения напряжения $U_{МАК}$ в цепи, а – вид камеры сбоку в разрезе; – вид сверху
- отключаемой аппаратом, в процессе гашения дуги не должны быть больше испытательного значения $U_{ИСП}$;
- время гашения дуги t_g должно быть меньше допустимой величины $t_{ДОП}$.

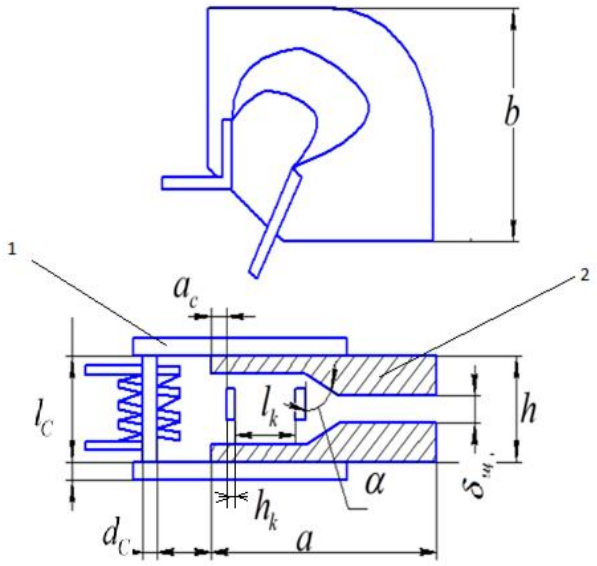


Рис. 1. Конструкция дугогасительных щелевых камер

Расчет приводит для характерных токов, а именно для критического, номинального тока и тока короткого замыкания. Здесь критическим током является ток, при котором время гашения дуги оказывается наибольшим. Последовательность расчета дугогасительной камеры заключается в следующем.

1. Исходными данными являются отключающий ток I, номинальное напряжение U, сопротивление R и индуктивность L отключающей цепи, число коммутаций тока в час z, допустимая температура нагрева стенок $T_{ДОП}$, раствор контактов l_K, высота коктакта h_k, материал для ДК, размеры щели $\delta_щ, \delta_{щ.k}, h, \alpha$.

2. Определения необходимой для гашения дуги напряженности магнитного поля Н при последовательном включении дугогасительной катушки, имеющей w число витков.

3. Определение скорости движения

а) в широкой щели (ширина щели больше диаметра столба дуги).

$$v_g = 41.2\sqrt{\frac{I_{ОТК} \cdot H^2}{(1+0.4 \cdot H^{0.3})^2}}, \quad (1)$$

где $I_{ОТК}$ – отключаемый ток.

б) в узкой щели (ширина щели меньше диаметра столба дуги)

$$v_g = (6+\delta_щ)\sqrt{\frac{10H \cdot I_{ОТК}}{\delta_щ}}. \quad (2)$$

4. Определение диаметра столба дуги для контроля правильности применения формул (1) и (2).

$$d = 1{,}12\sqrt{\frac{I_{ОТК}}{20+v_g}}. \quad (3)$$

5. Определение диаметра столба дуги для контроля правильности применения формул (1) и (2).

$$d = 1{,}12\sqrt{\frac{I_{ОТК}}{20+v_g}}. \quad (3)$$

6. Построение статической вольт-амперной характеристики дуги $U_g = f(I_g)$ и характеристики отключаемой нагрузки (реостатной) $U_p = U_H(1 - I_g / I_{ОТК})$ для определения длины дуги l_g. Выбираем длину дуги, при которой статическая вольт-амперная характеристика дуги лежит немного выше реостатной характеристики.

7. Определение времени гашения дуги для трех характерных величин отключаемого тока и построение зависимости времени от тока

$$t_g = \frac{l_g}{\sqrt{v_p^2 + 9v_g^2}}, \quad (4)$$

где v_p – скорость размыкания контактов.

8. Определение максимального значения напряжения U_{MAX}, характеризующего перенапряжения. Эта величина должна меньше испытательного напряжения, выбираемого по ГОСТу-12434

$$U_{MAX} = U_{OT}(1 + \frac{I_{OTK} \cdot L}{U_{OT} \cdot t_g}), \quad (5)$$

где L – индуктивность отключаемой цепи; U_{OT} – напряжение отключаемой цепи (принимается на 10% больше номинального напряжения).

9. Проверка максимальной температуры камеры

$$T_{KAM} = T_{CP} + z \cdot W_Д / (3600 \cdot k_{TO} \cdot S_{OXЛ}) = T_{CP} + z \cdot \sigma \cdot T_Д \cdot d_g \cdot l_g \cdot t_g / (3600 \cdot k_{TO} \cdot S_{OXЛ}), \quad (6)$$

где T_{CP} – температура окружающей среды, принимается $T_{CP} = 40°C$; z – число включения контакта; k_{TO} – коэффициент теплопередачи камеры; $T_Д$ – температура столба дуги, принимается $T_Д = 7000°C$; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-14}\ Bm/(м^2 \cdot K^4)$ – постоянная Стефана-Больцмана; $W_Д$ – энергия дуги; $S_{OXЛ} = 2ab + h(a+b)$ – площадь охлаждения камеры.

Если $T_K < T_{ДОП}$ то расчет продолжается, иначе $S_{OXЛ}$ увеличивается на 10% и T_K определяется вновь или материал камеры изменяется другими.

10. Определение размеры ДК, ее объем и массу.

$$b = a_{OT} \cdot a; \quad b = \frac{l_g}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + a_{OT}^2}},$$

$$S = b \cdot (h - \delta_щ) - (l_k + 2 \cdot h_k + a_c) \cdot \delta_{щ.k} - 0,25 \cdot (\delta_{щ.k}^2 - \delta_щ^2) \cdot ctg\alpha,$$

$$m = V \cdot \gamma = a \cdot S \cdot \gamma.$$

На основе представленного алгоритма с помощью пакета Mathcad разработана программа оптимизации ДК для контактора постоянного тока. Работа программы проверила на примере оптимизации ДК контактора постоянного тока с следующими параметрами: номинальный ток 160А, номинальное напряжение 380В. Данные и результаты приведены в таб. 2 и таб 3. Выбрана керамика как материал для камеры.

Таблица 1.

Размеры щели и камеры

Исходные размеры камеры	a_C, мм	$\delta_{Щ.К}$, мм	$\delta_{Щ}$, мм	α, град.	h_K, мм	l_K, мм	$b_{СТ}$, мм	d_C, мм	$l_{СТ}$, мм	l_C, мм
	6	16	2	30	6	20	3	10	100	53

Таблица 2.

Сравнение с реальной камерой

Тип контактора	Высота, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Объем, см3	Масса, г
Камера контактора КПВ-623 160 А	130	115	45	418,6	963
Камера нашего контактора 160 А	90	90	53	257,85	593

ЛИТЕРАТУРА

1. Сахаров П. В. Проектирование электрических аппаратов: Учебное пособие для вузов по специальности "Электрические машины и аппараты" – М.:Энергия, 1971. – 560 с.

2. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.:Высшая школа, 1984. – 247с.

3. Никитенко А.Г., Гринченков В.П., Иванченко А.Н. Программирование и применение ЭВМ в расчетах электрических аппаратов. М.: Высш. шк., 1990.-230с.

RESEARCH IONIZING EFFECT OF VARIOUS SUBSTANCES AND COVERED ELECTRODES

Bezginov R.
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

In today's world there are plenty of consumables, such as welded wire electrodes coated electrodes uncoated, non-consumable electrodes and so on. With electrodes you can use different additives that affect the quality of the weld, its structure and the job required of welding. This study is almost thoroughly acquainted with the technological properties of the welding arc and the influence of individual factors defining the intensity of the melting electrode

and the penetration of the base metal, the nature of the transfer of electrode metal, forming and weld quality. In scientific work the method of definition of the ionizing power of various substances on breaking the arc length and the influence of ionizing various components of electrode coatings, the type of coating and the diameter of industrial electrodes for resistance welding arc. For a successful and full use of the arc as a tool of welding process it must not only have the corresponding energy and power characteristics, but also sufficient combustion stability. An arcing-type discharge appears between the metal electrodes due to electron emission from the cathode surface and the subsequent ionization of the gas atmosphere of the electrode gap. The above processes are accompanied by a loss of energy, which is the greater, the higher the electron work function and ionization potential of the atoms or molecules of Ui. Therefore, the lower and Ui, the easier it is to create a conductive atmosphere, thereby forming charged particles from neutral: electrons and positive ions are required to maintain the arc. Therefore, to increase the stability of the arc defined by the usual length of the arc gap in the natural cliff in the electrode coatings, fillers, cored wires, fluxes injected substances with a lower ionization potential and thus a lower work function than iron. Such substances are chemical compounds sodium, potassium, calcium, etc. If the arc vapor easily ionized elements reduces the effective ionization potential Uef gas in the electrode gap and reduces the work function of electrons from the cathode, since the values are closely related to the ionization potential (Table 1). As a result, the electrical conductivity of the electrode gap increases, which increases the stability of the arc as a whole.

Ionizing effect of materials is determined not only by the magnitude of the ionization potential, and vapor pressure of the compound or a simple matter, because the vapor pressure determines the rate of evaporation and thus the concentration of easily ionizable atoms in the atmosphere of the arc. Therefore, the effective ionization potential Uef any gas mixture is determined not only ionization potentials of the components, but also their concentration in the arc gap.

$$U_{эф} = -\frac{T}{5800} ln \sum_{1}^{\kappa} v_i^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{5800 U_i}{T}},$$

where T - absolute temperature - concentration of component; Ui - the ionization potential of the component.

As can be seen from the equation, the presence of a gas mixture of even small concentrations of substances with a low ionization potential dramatically reduces its effective ionization potential. At work was involved a laboratory apparatus and measuring instruments.

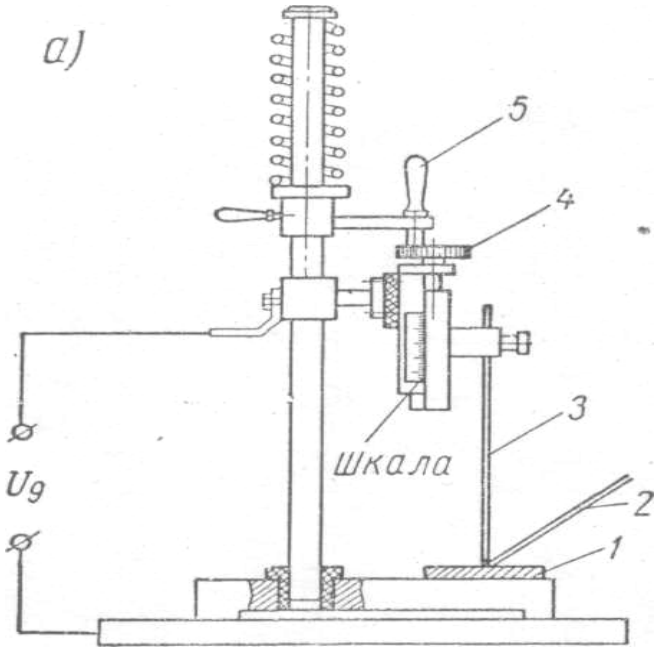


Figure 1. Measurement System breaking length of the arc and the scheme of its dimensions: 1 - steel plate, 2 - sharpened carbon electrode, 3 - naked electrode rod or coated electrode, 4 - flywheel, 5 - handle

All the results of the work undertaken was tabulated data 2 The experimental results showed that the CaCO3 is ionizing substance that increases the length of the rupture of the arc at the electrodes without cover. The presence of ionizing elements, such as Na, Ca, and other lower ionization potential, thus increasing the conductivity of the electrode gap, which in turn increases the resistance of the arc and improves the quality of the deposited metal.

Table1.

Element	Cs	K	Na	Ba	Al	Ca	Ti	Mn	Fe
Ui, B	3,89	4,34	5,14	5,19	5,95	6,11	6,8	7,4	7,83
φ, B	1,89	2,15	2,27	2,29	3,74	2,76	4,09	3,95	4,74

Table 2.

Identification of the substance, the brand electrodes, flux	Type of current and polarity	Voltage at the time of termination, V				Breaking length of the arc, mm			
		metering 1	metering 2	metering 3	mean value	metering 1	metering 2	metering 3	Mean value
Bare-wire electrode	direct. reverse	45,2 45,6	39,6 36,8	42 40,8	42,27 42,4	10 7	7 8	7 11	8 8,6
Bare-wire electrode +CaCO3	direct. reverse.	50,2 44,6	56,8 51,6	43,6 51,2	50,2 49,1	12 9	10 15	14 16	12 13,3
Bare-wire electrode + NaF	direct. reverse	39.2 42.4	46.4 42.4	38 45.6	41.2 43.5	6 4	6 4	3 7	5 5
Bare-wire electrode +SiO2	direct. reverse	48.8 39.8	41.6 42.8	55.2 48	48.5 41.9	7 4	4 6	10 7	7 5.7
Bare-wire electrode +flux	direct. reverse	44,8 38	46,8 47,2	53,2 37	48,1 40,9	11 6	12 7	13 6	12 6,3
МИС-1 (rutile)	direct. reverse	42 36,8	43,8 33,6	46 38,8	43,9 36,4	16 13	22 11	21 13	19,66 12,3
УОНИ 13/55	direct. reverse	39,2 39,6	38,4 38,8	38,4 52	38,7 43,5	10 12	14 10	12 10	12 10,6
ОК 46 ∅-4	direct.	42,8	38,4	44,4	41,6	24	21	25	23,3
ОК 46 ∅-3	direct	42.4	50	41.6	44.6	29	28	27	28

REFERENCES

1. Welding materials, EA Truschenko, Tomsk Polytechnic University in 2007. - 130 p.

2. Fusion welding technology, EA Truschenko, Tomsk Polytechnic University, Part 1. - 2011. - 144 p.

3. The theory of welding processes, physical and technological properties of an electric welding arc, RI Dedyuh, TPU, 2002. - 92

4. Welding, VA Cheban., Rostov-on-Don: Phoenix, 2003 - 416s.

5. http://www.svarkainfo.ru/rus/lib/book/charelec/

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ

Михеев А.Ю.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Любая аварийная ситуация – обрыв цепи, скачок напряжения или перегрузка – могут стать причиной выхода из строя дорогостоящего электрооборудования. Для защиты электрических двигателей рекомендуется использовать чувствительные аппараты, которые минимизировать риск поломки, а впоследствии и ремонта, травмоопасных ситуаций. Одно из наиболее эффективных средств защиты – это автоматические выключатели.

Принцип работы устройства

Автоматические выключатели относятся к типу токозависимых средств защиты электродвигателей. Их главное назначение – включение или отключение асинхронных двигателей. Одно устройство выполняет функции сразу трех приборов – теплового реле, рубильника и предохранителя. В случае возникновения аварийной ситуации автомат обеспечивает отключение всех фаз в электрической цепи.

Устройство может работать как в ручном, так и в автоматическом режиме. Последняя опция доступна на всех современных приборах в случае аварийной ситуации, когда необходимо оперативное отключение двигателя. Расцепитель может быть как тепловым, так и электромагнитным. В зависимости от функционала он может быть следующих видов:

- электромагнитный для защиты в случае коротких замыканий;
- тепловой для защиты от перегрузок;
- комбинированный.

главным параметром автоматических выключателей является номинальный ток. Это ток, значение которого в конкретной цепи считают нормальным, т.е. на который рассчитано электрооборудование.

Автоматические выключатели разрывают цепь, когда ток в ней превышает допустимую величину. При этом, происходят различные процессы, из-за чего приходится использовать в автоматических выключателей два вида защиты - тепловую и электромагнитную.

При потреблении тока больше номинала не более чем в 3 раза, срабатывает тепловой расцепитель автоматического выключателя. Принцип его действия: цепь разрывает биметаллическая пластина, которая изменяет свою форму от нагрева проходящим током. Защитное устройство может довольно долго пропускать ток, немного превышающий

номинальный, что позволит избежать ложных срабатываний, но при дальнейшем возрастании тока отключит нагрузку. Поэтому, тепловая защита обладает довольно большой инерционностью по отношению к превышениям тока

При значительно большем токе (при коротких замыканиях) инерционность защиты является большим минусом, потому для данного случая используют электромагнитный расцепитель. В отличии от теплового, он обладает мгновенным действием.

Электромагнитный расцепитель состоит из соленоида (электромагнита), сердечник которого ударяет в подвижный контакт и размыкает цепь. Но здесь не всё так просто. Ведь электромагнит должен сработать при определённом токе. Нижний порог, судя по тому, что тепловая защита срабатывает до 3 In, будет иметь именно это значение. А верхний порог? Вот здесь выплывает ещё одна характеристика АВ – тип автомата.

Различают автоматические выключатели трех типов - «B», «C», и «D». Автоматические выключатели типа «B» имеют срабатывание электромагнитного расцепителя в диапазоне от 3 до 5 In. Тип «C» имеет диапазон от 5 до 10 In. И наконец тип «D», срабатывает в диапазоне от 10 до 50 In. На конкретном примере это будет выглядеть следующим образом - если мы имеем два автомата на 25А класса «B» и «C», то при коротком замыкании первый отключится при достижении величины тока короткого замыкания от 75 до 125 А, а второй – от 125 А и выше. Ток короткого замыкания, с которым автоматический выключатель справляется без ухудшения эксплуатационных свойств, определяет «номинальную отключающую способность» - ещё одну характеристику автоматического выключателя. Чем лучше этот параметр, тем надежней выключатель. Процесс расцепления контактов происходит очень быстро, при этом ток короткого замыкания не успевает достичь максимального значения.

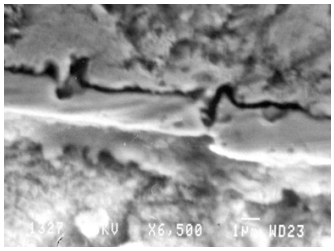
Кроме автоматического отключения, автоматический выключатель может отключаться и вручную. Поэтому автоматический выключатель называют коммутационно-защитным устройством. Ведь помимо свойств защиты, он предоставляет возможность обесточить цепь в ручном режиме, что необходимо при ремонте электрооборудования.

На свете много разных фирм производящих автоматические выключатели, у каждого из них есть свои преимущества и недостатки. Вот некоторые производители Eaton (Moeller), DKC, ABB, IEK, Schneider Electric, FINDER, SIEMENS и много других.

О КУМУЛЯТИВНОМ МЕХАНИЗМЕ СВЕРХГЛУБОКОГО ПРОНИКАНИЯ МАТЕРИАЛА ГИПЕРЗВУКОВОГО ПОТОКА В ТВЕРДЫЕ ПРЕГРАДЫ

Сайгаш А.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Явление сверхглубокого проникания (СГП) твердых микрочастиц в твердые преграды обнаружено более 20 лет назад и считается аномальным. Активная дискуссия о его природе не дала приемлемого объяснения механизма внедрения микрочастиц в твердую преграду на глубину на 2÷3 порядка превышающую размер частиц. Утверждается уникальность размера частиц ~ 100 мкм и способа их ускорения взрывным кумулятивным ускорителем. Необходимыми условиями возникновения СГП является наличие плотного ($\rho > 1$ г/см3) и высокоскоростного (1÷2 км/с) потока порошкообразного материала. В работе приведены экспериментальные данные, показывающие возникновение явления СГП в стальную металлическую преграду материала высокоскоростного потока плотного вещества состава TiC+Ti, наработанного, синтезированного и ускоренного в коаксиальным магнитоплазменным ускорителе. Кроме того, новизна представленных данных заключается в том, что размер проникающих частиц порядка 1 мкм. Установлено струйное внедрение вещества потока в стальную преграду на глубину более 350 мкм. Металлографические исследования образцов показали сильное изменение микроструктуры материала подложки на такую глубину. Наличие титана в глубине подложки установлено методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Исследования образцов подложки показали 2÷3 кратное увеличение микротвердости слоя указанной толщины. С использованием



металлографической электронной микроскопии на границе раздела между композиционным покрытием (TiC+Ti) и стальной подложкой обнаружены множественные фрагменты, идентифицированные как недозавершенные микрокумулятивные процессы. На фотографии отчетливо наблюдаются недосхлопнувшиеяся кумулятивные выемки, затвердевшие песты - остатки кумулятивных струй и каналы их внедрения в подложку. Анализ геометрии этих фрагментов показал возможность сверхглубокого внедрения микрокумулятивных струй в соответствии с фундаментальными положениями гидродинамической теории кумуляции. На основании полученных данных предложена гипотеза о микрокумулятивном механизме явления сверхглубокого проникания. Роль

кумулятивных выемок играют впадины на фронтальной части гиперзвукового потока плотного вещества. Возникновения кумулятивных процессов при встрече потока с твердой преградой показана на микрофизических моделях. Предложенное объяснение явления СГП выводит его из разряда аномальных и позволяет более осознанно подойти к его практическому использованию для сверхглубокой модификации свойств поверхности твердых материалов[1].

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Сивков, А.П. Ильин, А.М. Громов, Н.В. Бычин. Сверхглубокое проникание вещества высокоскоростного плазменного потока в металлическую преграду // Физика и химия обработки материалов. 2003. №1. С.42÷48.

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЯ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТМГ-160/10 В ПРОГРАММЕ ELCUT

Фролов А.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

При расчете сопротивления короткого замыкания в методике [1], реализованной в программе MathCad, используется формула для двухобмоточного трансформатора с обмотками равной высоты. При этом за расчетную высоту принимается среднее арифметическое высот рассматриваемых обмоток.

Также индуктивность короткого замыкания связана с энергией магнитного поля рассеяния выражением:

$$W = 0{,}5 \cdot L_к \cdot i,$$

отсюда

$$L_к = 2 \cdot W / i^2 = 2 \cdot W_m / I_m{}^2 = W_m / I^2 ,$$

или

$$x_к = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_к = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot W_m / I^2 ,$$

где Wm – энергия поля, соответствующая амплитуде тока Im; I – действующее значение тока в одной из обмоток [2].

Таким образом, необходимо вычислить энергию магнитного поля рассеяния. На сегодняшний день такую возможность предоставляют

различные программы, реализующие метод конечных элементов (JMAG, ANSYS, Maxwell, Elcut и др.).

Для оценки влияния принятых допущений на конструкцию обмоток (равновысотность обмоток и отсутствие канала охлаждения между группами слоев в обмотки ВН или НН) в программе Elcut было произведено моделирование опыта короткого замыкания для двух моделей: 1) упрощенная; 2) фактическая. В качестве примера на рис. 1 представлена упрощенная модель.

Так как обмотки трансформатора цилиндрические задача решается в осесимметричной постановке. Относительно плоскости, проходящей перпендикулярно оси обмоток, модель также обладает симметрией. Поэтому для моделирования достаточно половины высоты активной части.

Программа Elcut позволяет моделировать постоянные, переменные (синусоидальные), а также нестационарные (переходные процессы) магнитные поля для сред с линейными и нелинейными свойств материалов.

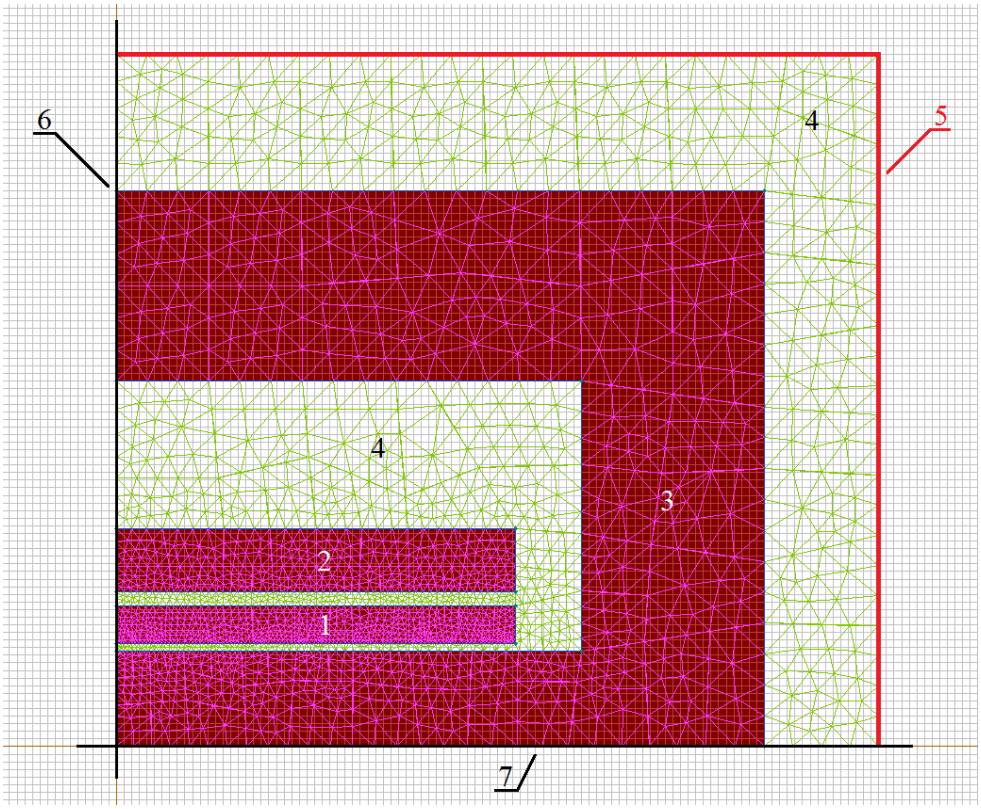


Рис. 1. Упрощенная расчетная модель
1) обмотка НН; 2) обмотка ВН; 3) магнитная система; 4) трансформаторное масло; 5) внешняя граница; 6) плоскость оси симметрии; 7) ось симметрии

В данной задачи для вычисления энергии магнитного поля достаточно магнитостатической постановки. В данном случаи источниками поля являются постоянные токи, задаваемые как ампер-витки, протекающие по соответственным концентрам в опыте КЗ. С учетом выше указанной плоской симметрии, для каждого концентра задается половина ампер-витков.

Для упрощенной модели, задаваемые ампер-витки составляют:

$$I_{w_нн} = (I_{нн} \cdot w_{нн}) / 2 = (230{,}94 \cdot 56) / 2 = 6466{,}3 \text{ А};$$

$$I_{w_вн} = (I_{вн} \cdot w_{вн}) / 2 = (5{,}33 \cdot 2428) / 2 = 6470{,}6 \text{ А}.$$

Для фактической модели, задаваемые ампер-витки составляют:

$$I_{w_нн} = (I_{нн} \cdot w_{нн}) / 2 = (230{,}94 \cdot 56) / 2 = 6466{,}3 \text{ А};$$

$$I_{w_вн} = (I_{вн} \cdot w_{вн}) / 4 = (5{,}33 \cdot 2428) / 4 = 3235{,}3 \text{ А},$$

где $I_{нн}$ и $I_{вн}$ – номинальные фазные токи соответствующих обмоток; $w_{нн}$ и $w_{вн}$ – номинальные витки соответствующих обмоток.

Диалоговое окно описания параметров концентра приведена на рис.2.

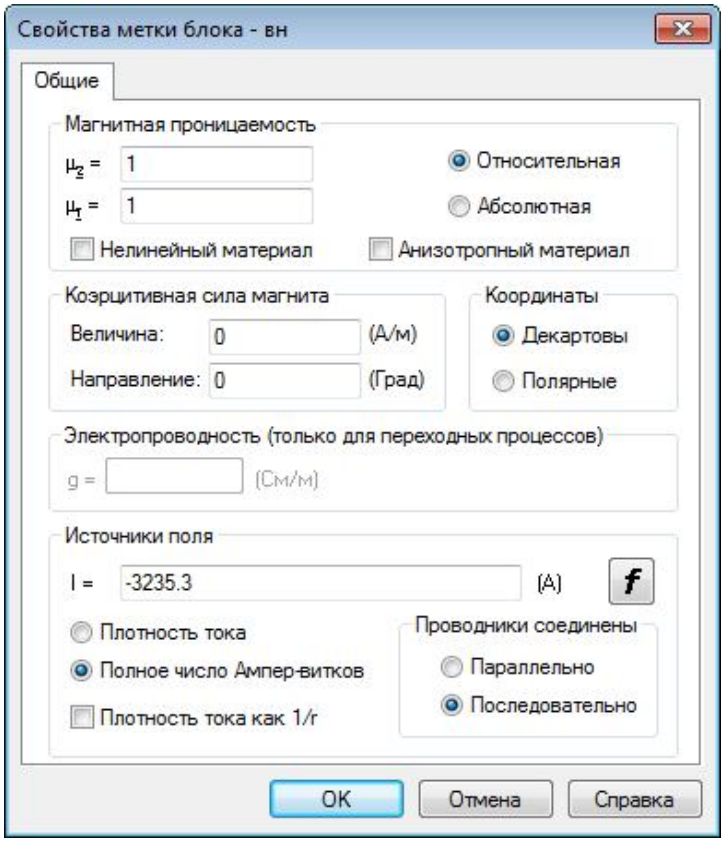


Рис. 2. Диалоговое окно описание параметров обмотки ВН для фактической модели

На рис. 3 и 4 представлены картины магнитного поля в опыте короткого замыкания для упрощенной и фактической модели со шкалой магнитной индукции.

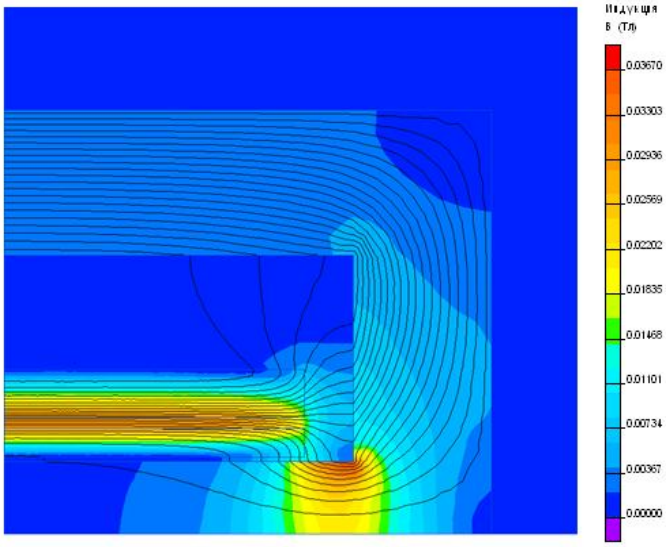


Рис. 3. Картина магнитного поля в опыте короткого замыкания для упрощенной модели

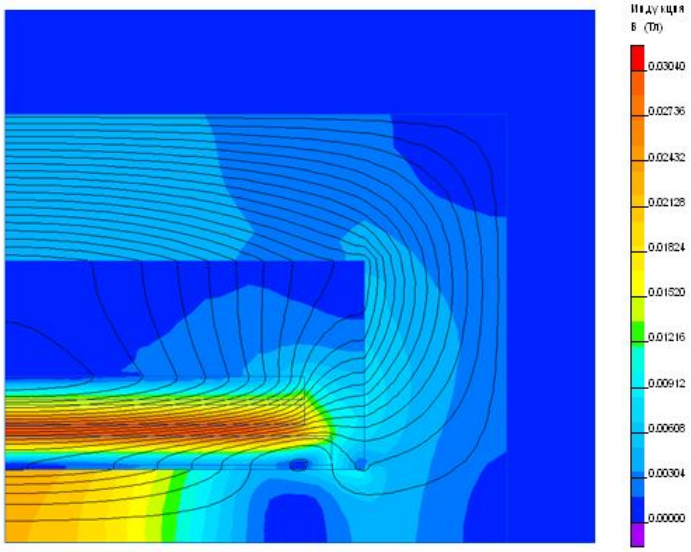


Рис. 4. Картина магнитного поля в опыте короткого замыкания для фактической модели

Энергия магнитного поля в упрощенной и фактической модели – Wm = 1,8694 Дж и Wm = 1,8055 Дж соответственно.

С учетом того, что моделировалась только половина активной части, полученная энергия магнитного поля должна быть увеличена вдвое при определение сопротивления короткого замыкания.

Сопротивление короткого замыкания:

$$x_к = \omega \cdot L_{об} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \ 2 \cdot (2 \cdot W_m) / I_{вн}^2,$$

где $L_{об}$ – индуктивность короткого замыкания одной из обмоток.

Для упрощенной модели, напряжение короткого замыкания составляет:

$$U_{кз} = ((x_к \cdot I_{ВН}) / U_{ном.ВН}) \cdot 100\% = 4{,}407\ \%.$$

Для фактической модели, напряжение короткого замыкания составляет:

$$U_{кз} = ((x_к \cdot I_{ВН}) / U_{ном.ВН}) \cdot 100\% = 4{,}257\ \%.$$

В результате отклонение напряжения короткого замыкания упрощенной модели от фактической модели составило 3,5%, а отклонение напряжения короткого замыкания упрощенной модели, посчитанного в программе MathCad, от фактической модели – в программе Elcut составило -5,7%. Полученное отклонение лежит в допуске ±10%, установленным государственным стандартом [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика расчета силового масляного трансформатора предприятия ЗАО «Группа «СВЭЛ».

2. Васютинский С.Б. Вопросы теории и расчета трансформаторов. – Л.: Энергия, 1970. – 432 с.

3. ГОСТ 52719–2007 «Трансформаторы силовые

ЗАМЕНА ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ В БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕМ КОНТАКТОРЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА БК-78Т

Кулибаба М.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время известны недостатки электропневматических контакторов по сравнению с электромагнитными. К ним относят: невысокое время срабатывания, необходимость в подаче сжатого газа для работы пневматики контактора (т.е. необходимо наличие больших по размеру баллонов со сжатым газом), высокие разбросы по времени срабатывания контактора. Эти недостатки отсутствуют у

электромагнитных контакторов. Именно поэтому актуальна модернизация электропневматического контактора БК-78Т, заменой электропневматического привода на электромагнитный.

При выполнении выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи:

1) Разработан технологический процесс производства пружин контактора БК-78Т;

2) Сделан анализ технологичности конструкции;

3) Разработан технологический процесс сборки;

4) Составлена маршрутная карта производства пружин для данного контактора;

5) Произведён расчёт токоведущих частей контактора: коэффициента теплоотдачи, мощности потери в шине и допустимое превышение температуры в ней; определено контактное сопротивление, сила нажатия контактов, значения предельного тока и тока плавления при аварийных перегрузках. На основании полученных данных были спроектированы и выбраны пружины сжатия ГОСТ 137-86 и ГОСТ 13771-86. Также был произведен расчёт электромагнита, построены тяговые характеристики, полностью удовлетворяющие требованиям задания;

6) Получены экспериментальные данные с реального экземпляра контактора БК-78Т, а именно: время срабатывания и время отпускания; сопротивление отключающей катушки; ток включения и выключения;

7) Произведена замена электропневматической системы контактора на электромагнитную.

Основные области применения контакторов БК-78Т: Контакторы быстродействующие типа БК предназначены для защиты тяговых двигателей от токов короткого замыкания в режиме рекуперации электровозов постоянного тока.

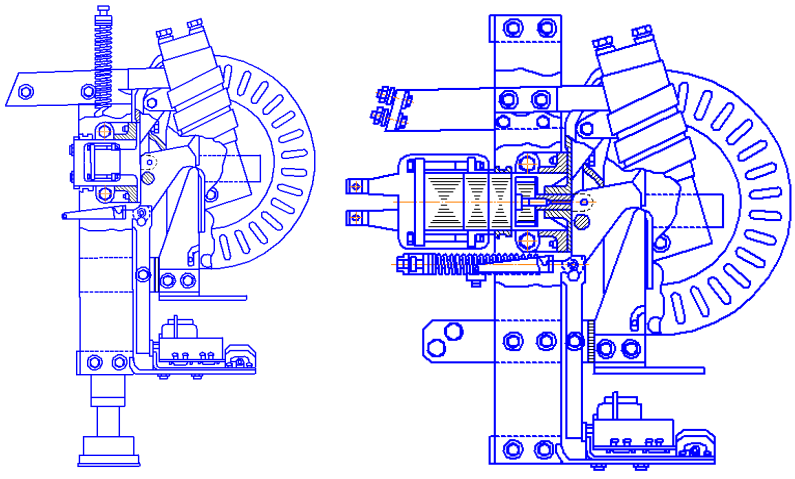


Рис. 1. Устройство быстродействующего контактора постоянного тока БК-78Т

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев В.В., Адоньев Н.М. Справочник по расчёту и конструированию контактных частей сильноточных электрических аппаратов: Под ред. Афанасьева В.В.. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 384 с.; ил.

2. Литовченко В.В., Чуматов А.И. Тяговый электрические аппараты: Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Электрооборудование электроподвижного состава», раздел «Тяговые электрические аппараты». – М.: МИИТ, 2003. – 63 с.

3. Сахаров П.В. Проектирование электрических аппаратов (Общие вопросы проектирования). Учебное пособие для студентов электротехнических вузов. -М., «Энергия», 1971. – 560 с.; ил.

4. Гордон А.В. Электромагниты постоянного тока. – М.: Госэнергоиздат, 1960.

5. Сливинская А.Г. Электромагниты и постоянные магниты. – М.: Энергия, 1972.

6. Чунихин А.А. Электрические аппараты. – М.: Энергия, 1982.

7. «Электровозы ВЛ10 и ВЛ11». Руководство по эксплуатации. Москва. Транспорт. 1981.

8. Озембловский Ч.С., Красковская С.В., Ридель Э.Р. «Деповский ремонт электровоза постоянного тока». Москва, Транспорт, 1971.

9. Крисанов А.М., Мазо С.М. «Испытание и регулировка аппаратуры электроподвижного состава», Москва, Транспорт, 1972.

10. Технологичность конструкции изделия: Справочник. /Под общ. ред. Амирова Ю.Д. – М.: Машиностроение, 1990. –768 с.

ДИНАМИКА ПЛАЗМЕННОЙ СТРУКТУРЫ В УСКОРИТЕЛЬНОМ КАНАЛЕ КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ

Шарипов Р.Р., Сайгаш А.С., Привезенцев С.И.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Свойства покрытий, получаемые при обработке поверхностей высокоскоростным потоком электроразрядной плазмы, сформированным в коаксиальном магнитоплазменном ускорителе (КМПУ) [1] определяются его динамическими характеристиками. Исследование динамики процессов ускорения проводилось с использованием стволов из нержавеющей стали марки 12Х18Н9Т. Динамика ускорения плазменной структуры и струйного

течения в свободном пространстве изучалась с помощью съемки на ВФУ-1 в срез ствола (рис. 1) и в профиль.

На рис. 1 представлена фотограмма процесса ускорения плазмы в ускорительном канале (УК) КМПУ, полученная с помощью съемки в срез ствола. На нулевом кадре показано исходное перспективное изображение, где большая окружность 1 – срез ствола УК, маленькая окружность 2 – торец изолятора центрального электрода в начале ствола, кольцо между окружностями 3 – цилиндрическая поверхность УК, 4 – электровзрывающиеся проводники. Электровзрыв проводников соответствует кадру 1. На последующих кадрах видно увеличение диаметра светящегося диска – фронта плазменной перемычки, свидетельствующее о ее перемещении к срезу УК.

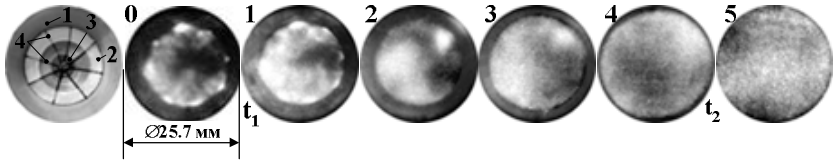


Рис. 1. Фотограмма движения фронта сильноточного разряда по УК. Время между кадрами Δtк= 10.8 мкс. t1-момент электровзрыва проводников, t2 - момент выхода плазмы из ствола

Путем измерения перемещения фронта на последовательных кадрах фотограмм были получены кривые закона движения, а после их дифференцирования - кривые изменения скорости фронта (рис. 2). видно, что скорость фронта плазменной структуры не возрастает монотонно по длине ствола, а носит явно выраженный колебательный характер. Волновая неустойчивость скорости по длине УК получена в большом числе экспериментов при различных условиях.

Анализ полученных данных позволил сделать предположение, что в УК КМПУ при первом прохождении по нему плазменной структуры сильноточного разряда формируется квазистационарный режим гиперзвукового течения с “бочкообразной” ударно-волновой структурой, с одним или несколькими скачками уплотнения (диски Маха) в которых происходит торможение вещества струи с последующим повторным ускорением. Данное предположение полностью соответствует газодинамическим закономерностям сверхзвуковых течений в каналах и соплах [2] и подтверждается съемкой в профиль (рис. 3). На представленном кадре, соответствующем времени ~ 132 мкс с момента выхода из ствола, отчетливо видна ударно-волновая структура сформировавшегося квазистационарного режима: 1 – срез УК; 2 – косой скачок уплотнения, ограничивающий зону течения в УК; 3 – висячий

скачок; 4 – граница струи, ограничивающая первую “бочку”; 5 – центральный скачок, “диск Маха”; 6 – граница второй “бочки”; 7 – головная ударная волна за центральным скачком.

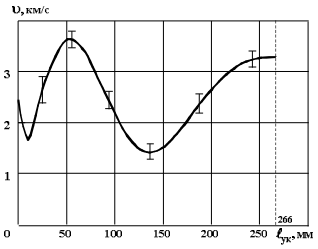


Рис. 2. Изменение скорости фронта плазменной структуры по длине УК

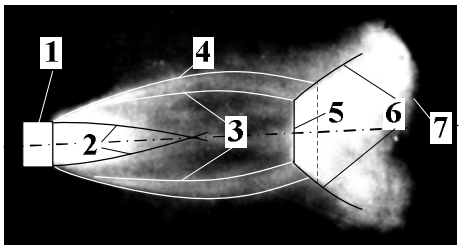


Рис. 3. Ударно-волновая структура гиперзвуковой плазменной струи

Таким образом, можно утверждать, что изменение скорости фронта плазменной структуры в УК КМПУ носит колебательный характер, обусловленный формированием квазистационарного режима гиперзвукового течения с характерной “бочкообразной” ударно-волновой структурой.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Сивков. Гибридная электромагнитная система метания твердых тел. Прикладная механика и техническая физика. 2001 г. Т. 42. № 1, с. 3-12

2. Пирумов У. Г., Росляков Г. С. Газовая динамика сопел. - М.: Наука, 1990.- 368 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Клюковский С.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Одной из проблем современных тяговых электродвигателей (ТЭД) постоянного тока является пробой изоляции якорной обмотки в результате возникновения импульсных перенапряжений, которые превышают номинальные значения в десятки раз. Такие перенапряжения формируются контакторами в схеме управления ТЭД.

В настоящее время применяются две схемы устранения импульсных перенапряжений. Первая, используется гасящий резистор, сопротивление которого в 4-5 раза больше обмотки возбуждения. Вторая, за счет удлинения времени горения дуги. Однако ни одна из этих схем не решает проблему импульсных перенапряжений полностью.

Целью работы является исследование изменений величины импульсных перенапряжений возникающих в якорной обмотке ТЭД постоянного тока от времени горения дуги на быстродействующем контакторе (БК), а так же от схемы включения ТЭД.

Составим модель силовой схемы управления ТЭД [1], в которой сделаны следующие допущения:

Цепь обмотки якоря и обмотки возбуждения гальванически не связаны.

Время горения дуги на БК заменяем временем изменения сопротивления контакта.

В результате получаем модель схемы силовой цепи управления ТЭД, представленную на рисунке 1.

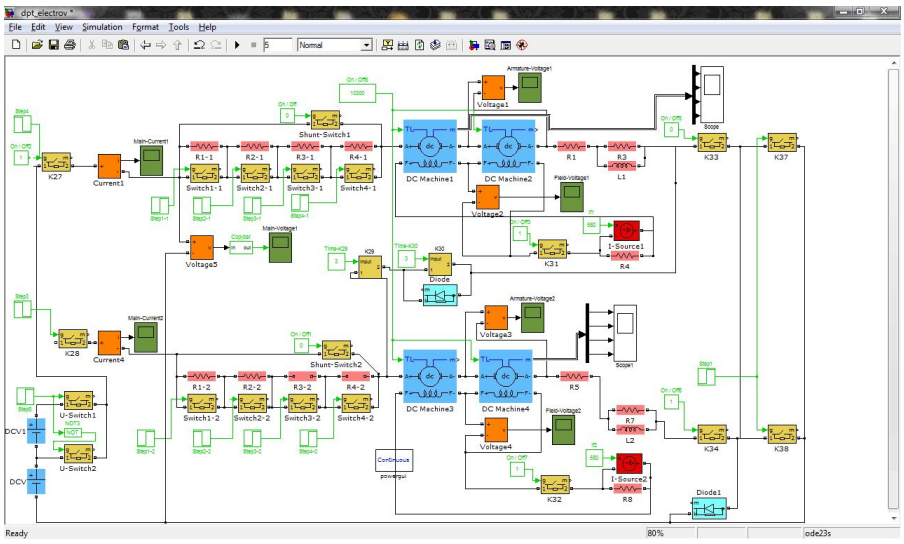


Рис. 1. Схема силовой цепи управления ТЭД

На схеме введены следующие обозначения:

DC Machine1- DC Machine4 – ТД постоянного тока; DCV, DCV1 – Источник питания; К27, К28 – Контакторы включения питания; R1-1- R-4-2 – Пусковые реостаты; Switch 1-1 - Switch 4-2 – Контакторы включения пусковых реостатов; К29,К30 – Быстродействующие контакторы (БК); К31, К32 – Контакторы включения обмоток возбуждения; К33, К34 – Контакторы переключения схемы включения ТД; I-Source1, I-Source2 – Источник тока возбуждения; R4, R8 – шунтирующие сопротивления; Diod, Diod1 –Шунтирующие диоды; Scope, Scope1 – Осциллографы; Armature-

Voltage, Armature-Voltage1, Field-Voltage, Field-Voltage1, Main-Voltage1 – Вольтметры; Main-Current1- Амперметр.

Для исследования были рассчитаны параметры ТЭД по данным приведенным в Таблице 1.

Таблица 1.

Номинальные данные ТЭД

Рн, кВт	U, В	n, об/мин	Iя, А	Iв, А	КПД
810	1500	750	580	580	0,93

Входе расчета ТЭД постоянного тока [2], были определены необходимые параметры для модели ТЭД, данные приведены в Таблице 2.

Таблица 2.

Rя, Ом	Lя, Гн	Rв, Ом	Lв, Гн	M,Гн	J, кгм2	Tf, Нм	Bm, Нмс
0,036	0,001	0,189	0,013	0,031	586	16,17	0,21

Исследования изменений величины импульсных перенапряжений от времени горения дуги.

Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Данные моделирования

t, с	0,00075	0,00077	0,0008	0,00083	0,00086	0,00089	0,00092	0,00095
Uя, В	19900	18460	16500	14778	13284	12233	11257	10351
t, с	0,00098	0,0011	0,0015	0,0018	0,0021	0,0021	0,0027	0,003
Uя, В	9508	6699	1580	1534	1502	1487	1482	1481

По данным таблицы 3 строим характеристикуUя= f(t).

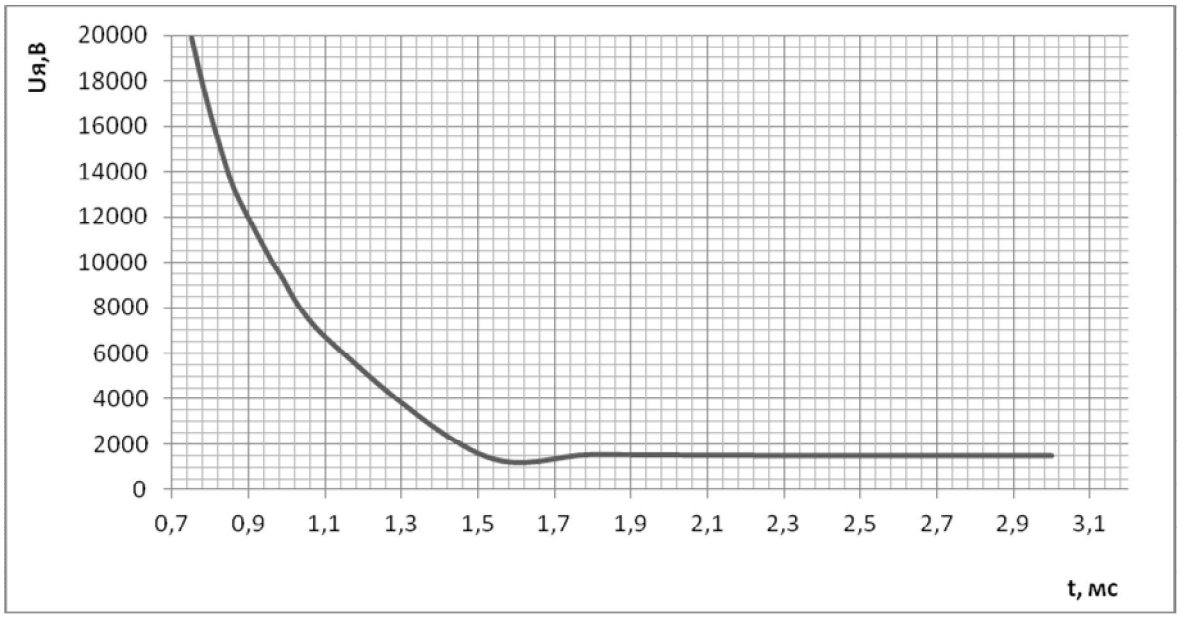


Рис. 2. Зависимость Uя= f(t)

Вывод: Исследование показало что, чем больше время изменения сопротивления БК, тем меньше импульсные перенапряжения, возникающие в якорной обмотке ТЭД.

Исследование изменений величины импульсных перенапряжений от схемы включения ТЭД постоянного тока.

Последовательное включение ТЭД.

Все ТЭД включены последовательно, имитируем срабатывание БК через 3с, время горения дуги 0,0015с.

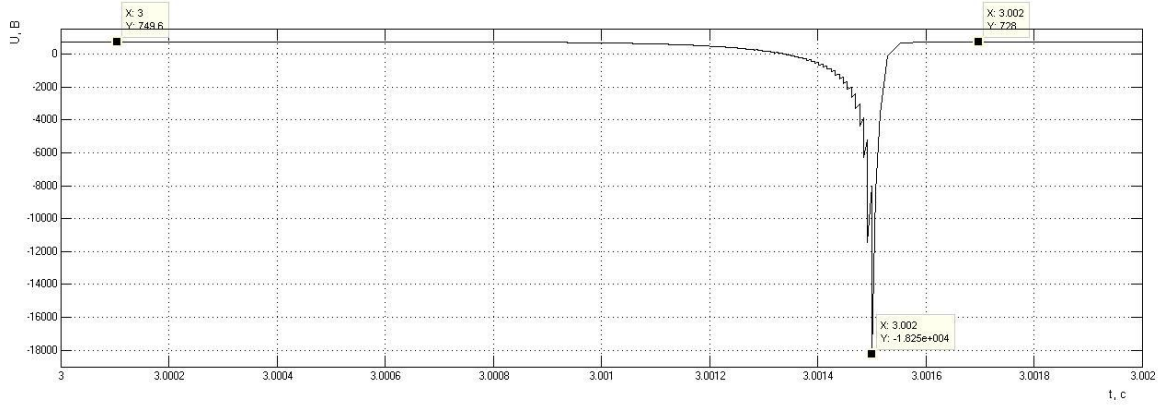


Рис. 3. Последовательное включении ТЭД

Параллельное включение ТЭД.

При этом включении, секции DC Machine1-DC Machine2 и DC Machine3- DC Machine4 включены параллельно. Имитируем срабатывание БК через 3с, время горения дуги 0,0015с. Результат представлен на рисунке 4.

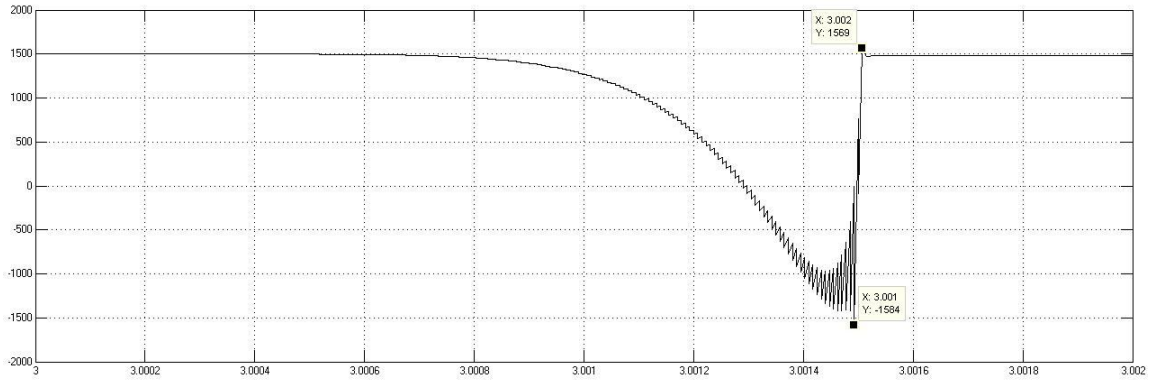


Рис. 4. Параллельное включении ТЭД

Вывод: Исследование показало что, в схеме при последовательном включении ТЭД импульсные перенапряжения в якорных обмотках ТЭД в 12 раз больше, чем при параллельном включении. Это говорит о том, что индуктивные сопротивления якорных обмоток всех четырех ТЭД суммируются, что и приводит к увеличению импульсных перенапряжений в них.

Заключение: В ходе проведенных исследований были выявлены следующие зависимости:

Наименьшее значение импульсного перенапряжения наблюдается при максимальном значении времени горения дуги. Но чрезмерное увеличение времени отключения БК ведет к другим проблемам связанными с аварийными отключениями при КЗ, которые требуют мгновенного отключения БК.

При параллельном и последовательном включении ТЭД в силовых цепях следует устанавливать разные БК с различным временем отключения. Так при последовательном включении ТЭД время отключения БК целесообразно увеличить в 2 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Терехин В.Б. “Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1)” Учебное пособие; Национально исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.- 292с.

2. Находкин М.Д. “Проектирование тяговых электрических машин” Учебное пособие для вузов. Изд. 2е, пер и доп. М., “Транспорт” 1976г - 624с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Клочихин Ю.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Силовые трансформаторы являются основными технологическими элементами подстанций и играют важную роль в процессе передачи и преобразования электрической энергии, а также целостности электроэнергетической системы в целом. Однако, все трансформаторы имеют свой эксплуатационный ресурс и в случае его превышения, особенно под воздействием неблагоприятных условий, трансформаторному оборудованию могут быть нанесены тяжелые повреждения, что, в свою очередь, может повлечь частичное или полное нарушение электроснабжения потребителей.

Для поддержания требуемой эксплуатационной надежности трансформаторов необходимо своевременное проведение капитальных ремонтов по результатам диагностического контроля. При этом, необоснованное решение о проведении капитального ремонта или отказе от его проведения приводит к неоправданным финансовым затратам в первом случае, или к снижению надежности, срока службы и даже отказам, а в итоге - к значительным материальным потерям.

Замена всех трансформаторов со сверхнормативным сроком службы, учи-тывая реальную экономическую ситуа-цию, представляется невыполнимой за-дачей.

Продлить срок эксплуатации трансформаторов, сохраняя требуемую эксплуатационную надежность, можно при наличии достоверного определения технического состояния, которое должно решать несколько важных задач, таких как:

- выявление наиболее вероятных мест повреждения трансформатора на основе анализа причин выхода из строя транс-форматоров аналогичного типа;
- оценка состояния твердой изоляции (увлажнение, загрязнение, деструкция);
- оценка состояния магнитной системы (прессовка, потери холостого хода, изо-ляция элементов от бака и т.п.);
- оценка механического состояния об-моток (прессовка, деформации);
- оценка качества трансформаторного масла;
- оценка систем охлаждения, очистки и защиты масла;
- оценка состояния вводов;

- оценка состояния регуляторов напряжения (РПН, ПБВ).

Надежность работы трансформаторного оборудования непосредственно связана с его сроком службы. От продолжительности эксплуатации трансформатора зависят допустимые значения воздействующих режимных факторов и их количество.

Повышение надежности и экономичности эксплуатируемого оборудования необходимо не только из-за растущей мощности энергопотребления, но и вследствие спада темпов ввода в эксплуатацию нового электрооборудования.

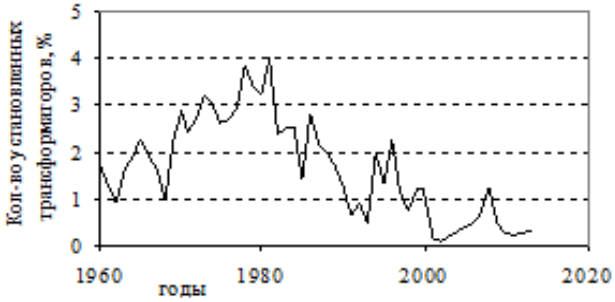


Рис. 1. Обновление парка трансформаторов в ОАО «Томскэнерго»

Определяющим снижение надёжности эксплуатируемых ЭУ является увеличение срока эксплуатации («возрастного состава»).

Важность решения задачи повышения эксплуатационных ресурсов СТ определяется в последнее время значительным ростом количества морально и физически устаревшего оборудования. Старение и износ трансформаторного электрооборудования ЭС и систем ЭСН вызваны сокращением объёмов финансирования текущих и капитальных ремонтов.

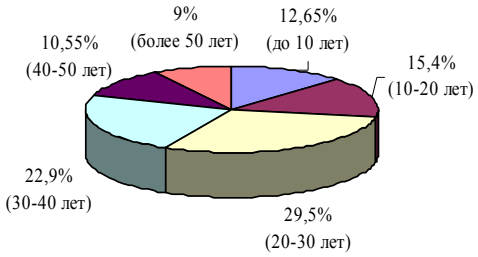


Рис.2. Распределение по срокам службы силовых трансформаторов ОАО «Томскэнерго»

На рис. 3 и 4 представлены гистограмма, аппроксимирующая плотность вероятности (3), эмпирическая и теоретическая функция распределения отказов почти четырёхсот силовых трансформаторов

$$f_I(t) = 0{,}069 \cdot t^{-0{,}002} \cdot e^{-0{,}1598 \cdot t^{0{,}998}}, \quad 0 \le t < 12, \text{ лет}$$

$$f_{II}(t) = 0{,}0099, \quad 12 \le t < 23, \text{ лет}$$

мощностью до 1000 кВА $f_{III}(t) = 0{,}165 \cdot 10^{-9} \cdot t^{5{,}5485} \cdot e^{-0{,}25 \cdot 10^{-10} \cdot t^{6{,}5485}}, \quad 23 \le t \le 40, \text{ лет}$.

Получено, что для трёх интервалов ресурсов (I – приработочный, II - нормальной эксплуатации, III - деградационный) наработка на отказ СТ описывается распределением Вейбулла с параметрами α1 = 0,1598 и δ1 = 0,998 на интервале 0…12 лет, на интервале 23…40 лет - также распределением Вейбулла, с параметрами α3 = 0,025·10-9 и δ3 = 6,5485, а на промежуточном интервале 12…23 – равномерным законом распределения с коэффициентом a = 0,0099.

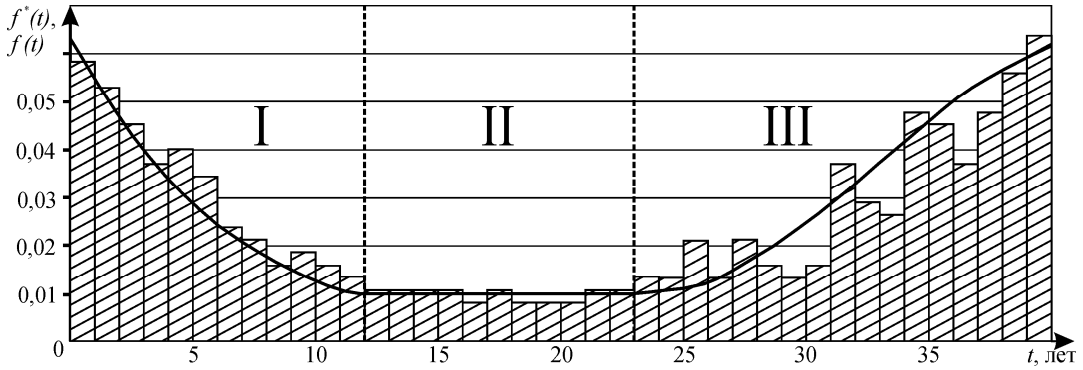


Рис. 3. Гистограмма и плотность вероятности распределения на отказ СТ до 1000 МВ·А

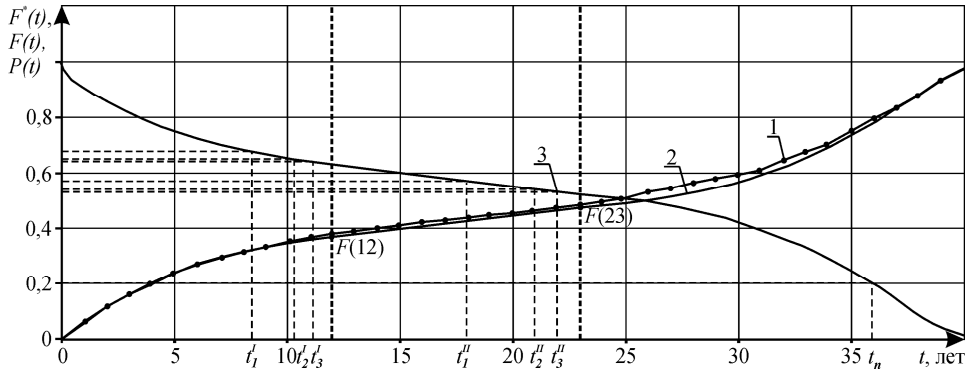


Рис. 4. Вероятностная функция распределения на отказ СТ до 1000 кВ·А (1 – эмпирическая кривая распределения вероятности отказов; 2 – теоретическая кривая распределения отказов; 3 - теоретическая кривая распределения вероятности безотказной работы СТ)

Среднее время безотказной работы СТ определено как математическое ожидание:

$$T = \int_{T=0}^{T_1=12} t \cdot 0{,}0692 \cdot t^{-0{,}002} \cdot e^{-(0{,}1598 t^{0{,}998})} dt + \int_{T_1=12}^{T_2=23} t \cdot 0{,}0099 dt +$$

$$+ \int_{T_2=23}^{T_3=40} t \cdot 0{,}0165 \cdot 10^{-8} \cdot t^{5{,}5485} \cdot e^{-(0{,}02510^{-9} \cdot t^{6{,}5485})} dt = 21{,}34 \text{года}$$

Вероятность безотказной работы найдем

$$P_I(t) = 1 - \left(\frac{n_I}{N} - \int 0,0692 \cdot t^{-0,002} \cdot e^{-(0,1598 \cdot t^{0,998})} dt \right);$$

$$P_I(t_i^I) = 1 - F(12) + E_X,$$

$$P_{II}(t) = 1 - \left(\frac{n_{II}}{N} - \int 0,0099 \cdot dt \right);$$

$$P_{II}(t_i^{II}) = 1 - F(23) + E_X,$$

$$P_{III}(t) = 1 - \left(\frac{n_{III}}{N} - \int 0,0165 \cdot 10^{-8} \cdot t^{5,5485} \cdot e^{-(0,025 \cdot 10^{-9} \cdot t^{6,5485})} dt \right);$$

как: $P_{III}(t_n) = E_X$, где P(t)= 1 - F(t) – вероятность безотказной работы, ni – количество отказов на каждом из 3-х интервалов, N – общее число отказов.

Таблица 1.

Предельно допустимые нормы эксплуатационного ресурса СТ

Интервал	I			II			III
EX	0,05	0,02	0,01	0,05	0,02	0,01	0,2
t, лет	8,44	10,38	11,19	17,90	20,93	21,94	35,98

При анализе вероятностной характеристики интенсивности отказов СТ до 1000 кВ·А можно дать рекомендацию о ограничении эксплуатации СТ сроком, когда на интервале деградации интенсивность отказов не будет превышать интенсивность отказов периода приработки. Тогда максимальный срок эксплуатации СТ будет ограничен 30,97 годами с целью повышения надёжности работы и обновления эксплуатируемого парка трансформаторов.

Для поддержания силовых трансформаторов в работоспособном состоянии, предупреждения отказов и преждевременного износа требуется выполнение профилактических мероприятий по техническому обслуживанию, диагностированию, ремонту и по управлению режимами СТ

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Н.Л. Сборник задач по надежности электрических машин: Учеб. пособие. – М.: Изд. Дом МЭИ, 2008. – 408 с

2. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин: Учеб. пособие для вузов/ Н.Л. Кузнецов. – М.: Изд. Дом МЭИ, 2006. – 408 с

3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей : Учеб. для вузов. – 6-е изд. – М.: Высш. шк.1999. – 579 с.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ АСИНХРОННЫХ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ КЛАССИЧЕСКИМ МЕТОДОМ И ПОСРЕДСТВОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ ELCUT

Асланян Р.О.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Одной из основных проблем электроподвижного состава отечественных железных дорог является высокая повреждаемость тяговых электродвигателей из-за пробоя изоляции. Исследования показывают, что с течением времени эксплуатации пробивное напряжение становится меньше из-за старения изоляции. Главной причиной старения является температура нагрева изоляции как следствие тепловыделения в активной части машины при ее работе. Это проявляется как в ТЭД постоянного, так и в ТЭД переменного тока. Поэтому актуальным является контроль температуры активной части в процессе эксплуатации ТЭД, что позволит прогнозировать старение изоляции и предупреждать отказы.

Целью статьи является сравнение результатов теплового расчета и результатов моделирования теплового состояния тягового двигателя переменного тока, посредством программы ELCUT.

Был сделан электромагнитный расчет тягового двигателя переменного тока, на основе двигателя марки АД917УХЛ1. Информация о двигателе получена при прохождении научно-производственной практики в Томском Политехническом Университете.

В результате электромагнитного расчета превышение температуры меди обмотки статора над окружающим воздухом был определен по преобразованной применительно к данному случаю формуле А.Б. Иоффе [1].

$$Q_{м} = \frac{\sum \Delta P_{м} \cdot (1 + \frac{\alpha \cdot t1}{\lambda_{из} \cdot p^{'}}) + \sum \Delta P_{с} (1 - \frac{\alpha \cdot t1}{\lambda_{из} \cdot p^{'}} \cdot \frac{L_{л1}}{I_{в}})}{\alpha \cdot (S_{кан} + S_{лоб1})} \cdot k^{'} + Q_{возд} =$$

$$= \frac{\sum 16740 t_{r} \cdot (1 + \frac{0,068 \cdot 2,8}{0,011 \cdot 6,263}) + \sum 1530 (1 - \frac{0,068 \cdot 2,8}{0,011 \cdot 6,263} \cdot \frac{24,4}{45,5})}{0,068 \cdot (9707 + 4898)} \cdot 0,91 + 20 = 112,27$$

$t_{r} = 1,61$ соответствует температуре нагрева $t_{н} = 112,37 + 25 = 137,37^{0} C$

Моделирование теплового состояния тягового электродвигателя переменного тока проводилось в программной среде ELCUT.

На рис.1 показана модель четверти двигателя в ELCUT.

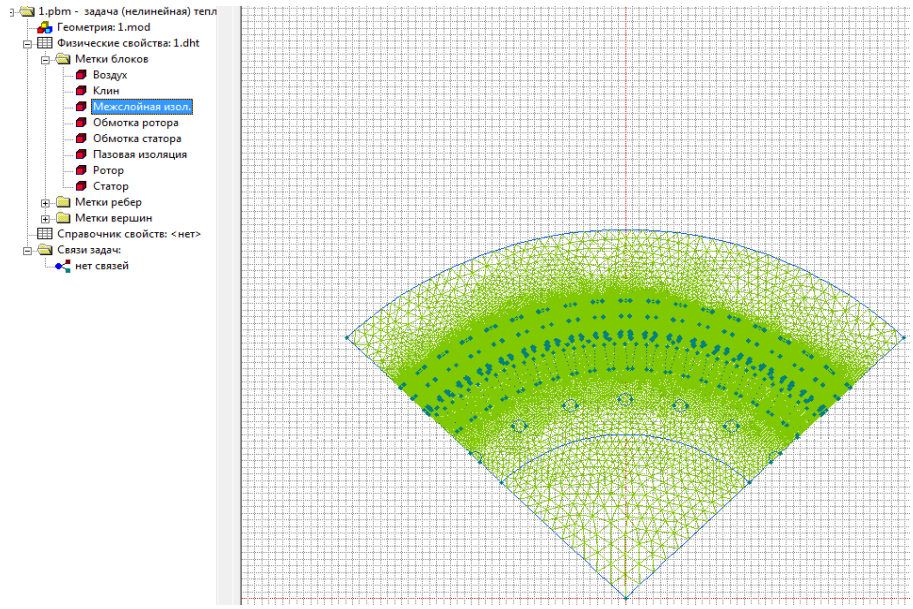


Рис. 1. Модель четверти двигателя

На рис.2 показана модель четверти двигателя в ELCUT с выделенной областью, на примере ротора.

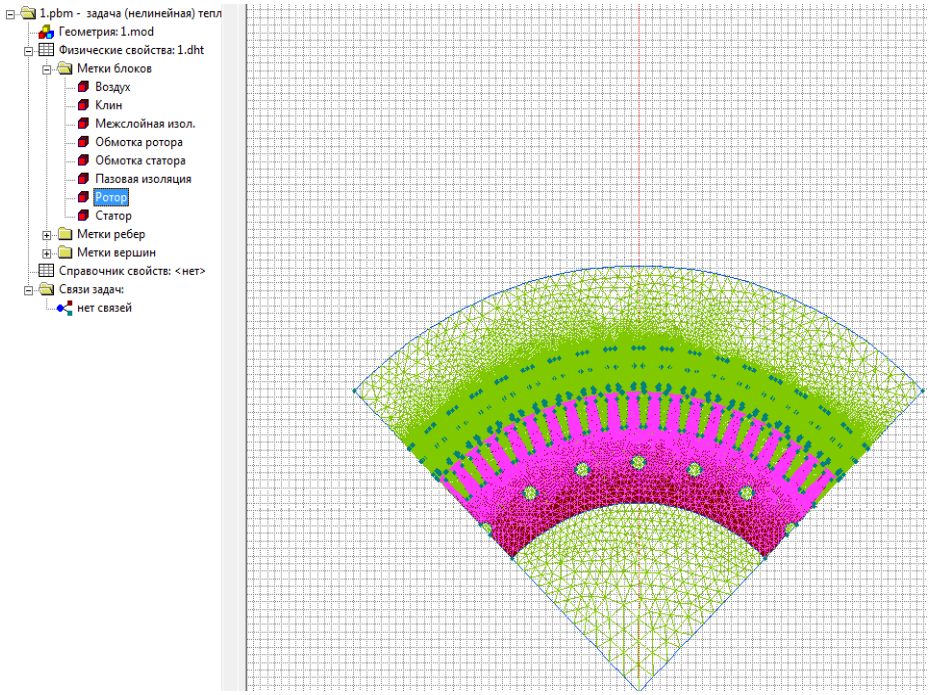


Рис. 2. Модель четверти двигателя с выделенной областью

В результате решения задачи на распределение температуры в двигателя, получили температурную картину поля тягового двигателя, представленную на рис.3.

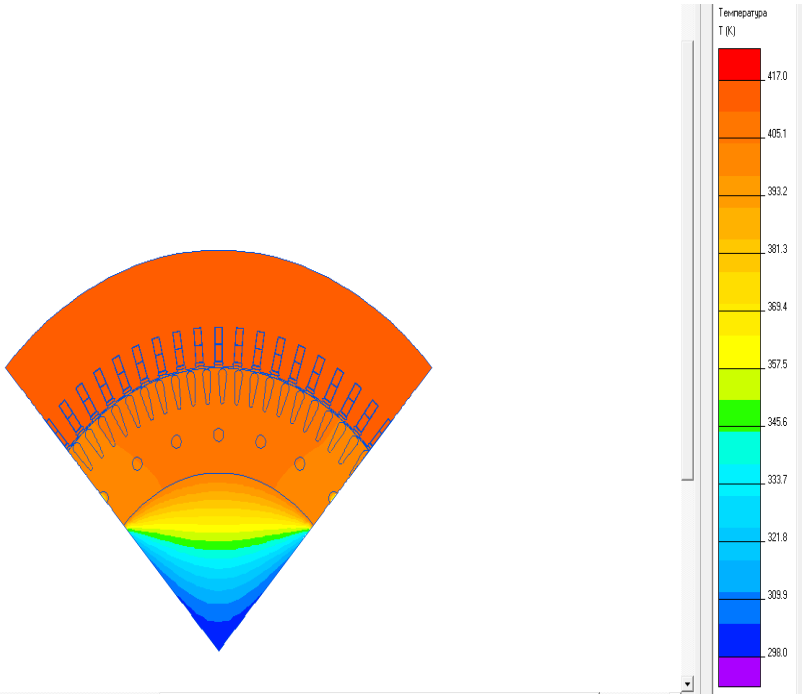


Рис. 3. Температурная картина поля тягового двигателя

В результате сравнения двух вариантов расчета получили одинаковые значения температур в двигателе, с расхождением результатов не более 5%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование тяговых электрических машин.: Учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / Под ред. М.Д. Находкина. - М.: Транспорт, 1967. – 536 с.

2. Алексеев А.Е. Тяговые электрические машины и преобразователи. - Л.: Энергия, 1977. - 445 с.

3. Проектирование электрических машин; Учеб. Пособие для вузов/ И.П.Копылов, Ф.А. Горяинов, Б.К. Клюков и др.; Под ред. И.П. Копылова М.; Энергия, 1980.- 496 с.,илл.

4. Сипайлов Г.А., Санников Д.И., Жадан В.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах. Высшая школа, 1989 . – 239 с

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ШЕСТЕРЕНЧАТЫХ НАСОСОВ НА ПРИМЕРЕ НШН-600

Массон И.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

При выборе насосного оборудования необходимо принять во внимание целый ряд факторов, в число которых входят цель использования насоса, объем перекачиваемой жидкости, физические и химические свойства перекачиваемой жидкости и условия эксплуатации насоса. Для решения этих задач существует множество разновидностей насосов с различными техническими характеристиками. Самое главное — правильно подобрать насос для своих целей. В рамках данной работы был рассмотрен шестеренчатый насос с внутренним зацеплением зубьев.

Свое название шестеренчатые насосы получили по той причине, что его неотъемлемыми органами являются шестерни, в основном эвольвентного зацепления с косыми, прямыми и шевронными зубьями. Шестерни установлены на ведущем и ведомом валах, соединенных муфтой с электродвигателем. Шестеренные насосы НШН и насосы НМШ бывают с внутренним или внешним зацеплением шестерен.

Принцип действия шестеренного насоса с внешним зацеплением состоит в следующем. Ведущая шестерня находится в постоянном зацеплении с ведомой и приводит её во вращательное движение. При вращении шестерён насоса в противоположные стороны в полости всасывания зубья, выходя из зацепления, образуют разрежение (вакуум). За счёт этого из гидробака в полость всасывания поступает рабочая жидкость, которая, заполняя впадины между зубьями обеих шестерён, перемещается зубьями вдоль цилиндрических стенок колодцев в корпусе и переносится из полости всасывания в полость нагнетания, где зубья шестерён, входя в зацепление, выталкивают жидкость из впадин в нагнетательный трубопровод. При этом между зубьями образуется плотный контакт, вследствие чего обратный перенос жидкости из полости нагнетания в полость всасывания ничтожен. Смазка движущихся элементов насоса производится перекачиваемой жидкостью (масло, расплав полимера и др.), для поступления смазывающей жидкости к зонам трения конструкцией насоса предусматриваются специальные каналы в корпусных деталях насоса.

Область применения шестеренчатых насосов необычайно широка. Они отлично зарекомендовали себя как для перекачки низковязких жидкостей, так и высоковязких, от шоколада до топлива и масла. Шестеренчатые насосы имеют прочную конструкцию для обеспечения

долгого срока эксплуатации. В рамках нефтехимической отрасли шестеренчатые насосы имеют весьма широкое применение в областях, связанных с продуктами нефтехимической промышленности.

Высокопроизводительные насосы можно использовать для загрузки и разгрузки цистерн, для транспортировки минерального масла, асфальта, асфальтовой эмульсии. Насосы с меньшей производительностью могут работать при перекачке этих жидкостей между емкостями. Основные преимущества шестеренчатых насосов заключаются в простоте их конструкции, в их способности работать при высокой частоте вращения, в их высокой надежности при работе. Также они обеспечивают равномерную подачу жидкости. Основные недостатки шестеренчатых насосов заключаются в нерегулируемости рабочего объёма , в высоких требованиях к качеству изготовления шестерен и пластин, образующих корпус. Также, стоит принять во внимание тот факт, что стоимость насоса резко повышается, если необходимо обеспечить надежность работы насоса при давлениях свыше 30 МПа. Для обеспечения работы при высоких давлениях необходимо использовать дорогостоящие материалы для изготовления шестерен и валов.

Анализ надежности работы шестеренчатых насосов был проведен на примере насоса НШН-600, хорошо зарекомендовавшего себя при тушении пожаров. НШН-600предназначен для подачи пресной воды с содержанием твердых включений не более 0,5% по массе при тушении пожаров и для иных хозяйственных нужд. НШН-600 способен обеспечивать не только подачу пресной воды, но и различных водных растворов на основе реагентов или полимеров, смягчающих воду и образующих пену. Это позволяет не только потушить пожар, но и защитить от открытого пламени близлежащие объекты. Шестеренный навесной насос НШН-600 предназначен для установки на бампер автомобиля или трактора и в основном крепится к пожарной технике. Насос НШН может быть установлен на бамперах шасси таких автомобилей, как ГАЗ-51, ЗИЛ-130, ГАЗ-53, а также трактора Т-40. В действие оборудование приводит храповик коленчатого вала двигателя транспортного средства.

Основные технические характеристики насоса, размеры его элементов и масса представлены в табл.

Таблица.1.

Наименование	НШН-600
Производительность, об/мин, не менее	600
Наибольшая геометрическая высота всасывания, м	6,5
Внутренний диаметр всасывающего патрубка, мм	74
Внутренний диаметр напорного патрубка, мм	62
Рабочее давление, МПа	0,45
Масса, кг	30
Габаритные размеры, мм	350х310х240

Насос состоит из следующих составных элементов (Рис.1):
Напорный патрубок.
Корпус насоса.
Соединительный канал.
Заглушка.
Предохранительный клапан.
Шестерня.
Всасывающий патрубок.
Основание.
Крышка.
Ведомый вал.

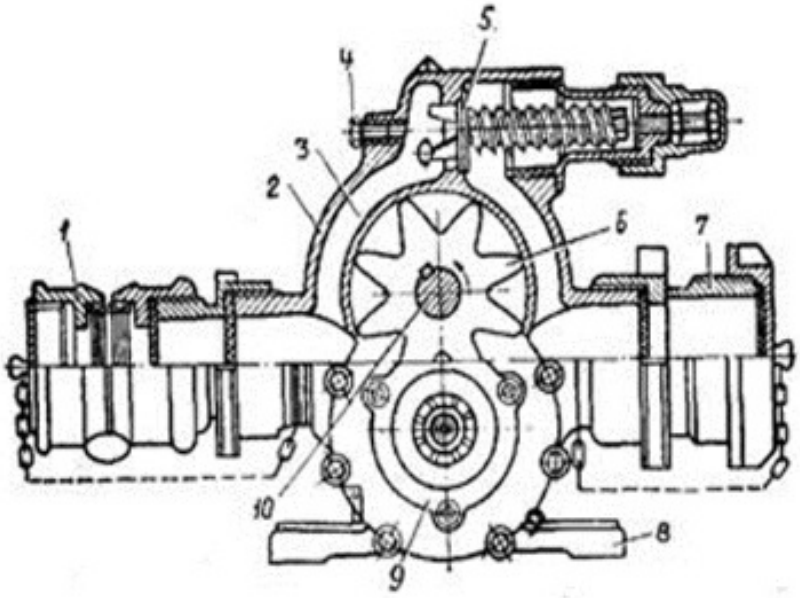


Рис. 1. Схема насоса НШН-600

Корпус насоса НШН-600 отлит из чугуна, имеет две внутренние цилиндрические расточки, всасывающий и напорный патрубки с соединительным каналом, основа с лапами отверстиями. В цилиндрических расточках размещаются две стальные шестерни с одинаковым числом зубьев эвольвентного профиля. Шестерни крепятся на ведущем и ведомом валах, опорами которых есть шарикоподшипники. Соединительный канал всасывающего и напорного патрубков запирается предохранительным клапаном, при повышении напора (в случае залома рукавной линии или перекрытия крана в стволе) открывается и обеспечивает переток воды из напорной полости насоса во всасывающую. В верхней части корпуса насоса НШН-600 имеются два резьбовых отверстия, одно из которых сообщается с напорной полостью насоса и в него может быть ввернут манометр, другое - с всасывающей полостью, и его можно использовать для установки мановакуумметра или для заливки воды в полость насоса и всасывающий рукав. Корпус насоса с обеих сторон закрывается крышками, в которых имеются гнезда для шарикоподшипников и армированных резиновых сальников. Сальники сохраняют подшипники от попадания в них воды из корпуса насоса. Смазка подшипников осуществляется через две пресс-масленки, установленные на крышках насоса. Соединение корпуса насоса с крышками бесшовное, герметичность обеспечивается затягиванием гаек и шпилек. Зазор в пределах от 0,08 до 0,18 мм между торцами шестерен и крышкой корпуса дает возможность получить достаточно высокий вакуум для подсоса воды.

В заключении можно сделать вывод, что шестеренчатые насосы обеспечивают очень высокую надежность и качество выполнения работы при применении по своему прямому назначению – перекачке низко- и высоковязких жидкостей с содержанием примесей не более 0,5% из одного резервуара в другой, а также при использовании их для тушения пожаров.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Пушкарев И.И., Ильченко И.С.
Открытое акционерное общество “Томский электромеханический завод им. В.В. Вахрушева”, г. Томск

Целью проведения испытаний вентиляторов является подтверждение их расчетных характеристик. Испытания являются единственным надежным средством определения аэродинамических характеристик

вентиляторов. В зависимости от условий проведения различают лабораторные и промышленные испытания. Лабораторным испытаниям подвергают вентиляторы небольших размеров и геометрически подобные модели крупных вентиляторов. Лабораторные испытания являются не только средством получения характеристик, но и служат необходимым этапом в процессе «доводки» модели, т.е. доведения параметров модели до требуемых значений путем доработки конструкции.

При проведении лабораторных испытаний создаются условия, позволяющие определить характеристику модели с максимально возможной точностью. Измерения проводятся при установившемся режиме работы вентилятора.

При испытаниях определяют подачу, полное давление воздуха, потребляемую мощность, полный коэффициент полезного действия.

Испытания вентиляторов проводят на специальных стендах.

Рассмотрим стенд, состоящий из испытуемого вентилятора, присоединенного к нему нагнетательного трубопровода, диаметр которого должен быть равен диаметру выходного отверстия вентилятора, а длина не менее пяти его диаметров. Вентилятор забирает воздух из помещения и подает его в нагнетательный воздуховод. В нагнетательном воздуховоде установлены приемники статического давления и производительности вентилятора, а также дросселирующее устройство с рассредоточенным сопротивлением для изменения сопротивления сети. В качестве расходомерного устройства в данном испытательном стенде служит сопло Вентури со встроенным приемником полного давления (трубкой Пито) и приемниками давления в количестве не менее четырех с радиальными отверстиями диаметром от 3 до 5 мм. Для измерения статического давления на стенках трубопровода стенда устанавливают не менее четырех приемников в виде круглых отверстий диаметром от 2 до 5 мм, расположенных равномерно по сечению трубопровода и соединенных между собой каналом связи, площадь сечения которого не менее суммы площадей отверстий. Допускается соединение отдельных приемников давления в единый коллектор трубками одинакового сечения и длины. Перед измерительными сечениями, в которых расположены приемники давления, устанавливаются спрямляющие и выравнивающие поток устройства – струевыпрямители, что выравнивает поле скоростей воздушного потока и позволяет получить стабильные параметры. Состояние потока в измерительных сечениях стенда определяется путем измерения динамических и статических (полных) давлений не менее чем в пяти точках измерительного сечения. Координаты точек измерения должны соответствовать центрам равновеликих элементарных площадей, на которые условно разделяют измерительное сечение. Разность давлений

в отдельных точках измерительного сечения не должна превышать 30 Па. При неудовлетворительных результатах проверки необходимо увеличить длину трубопровода либо изменить конструкцию струевыпрямителя.

После измерения перепада давления в расходомере, статического давления в трубопроводе, мощности, потребляемой электродвигателем вентилятора из сети, производится расчет следующих величин: подачи воздуха, полного и динамического давления, полного коэффициента полезного действия, мощности на валу электродвигателя.

Аэродинамические характеристики, полученные в результате испытаний, изображаются графически с целью получения следующих зависимостей: мощности на валу электродвигателя от подачи, коэффициента полезного действия от подачи, полного давления от подачи.

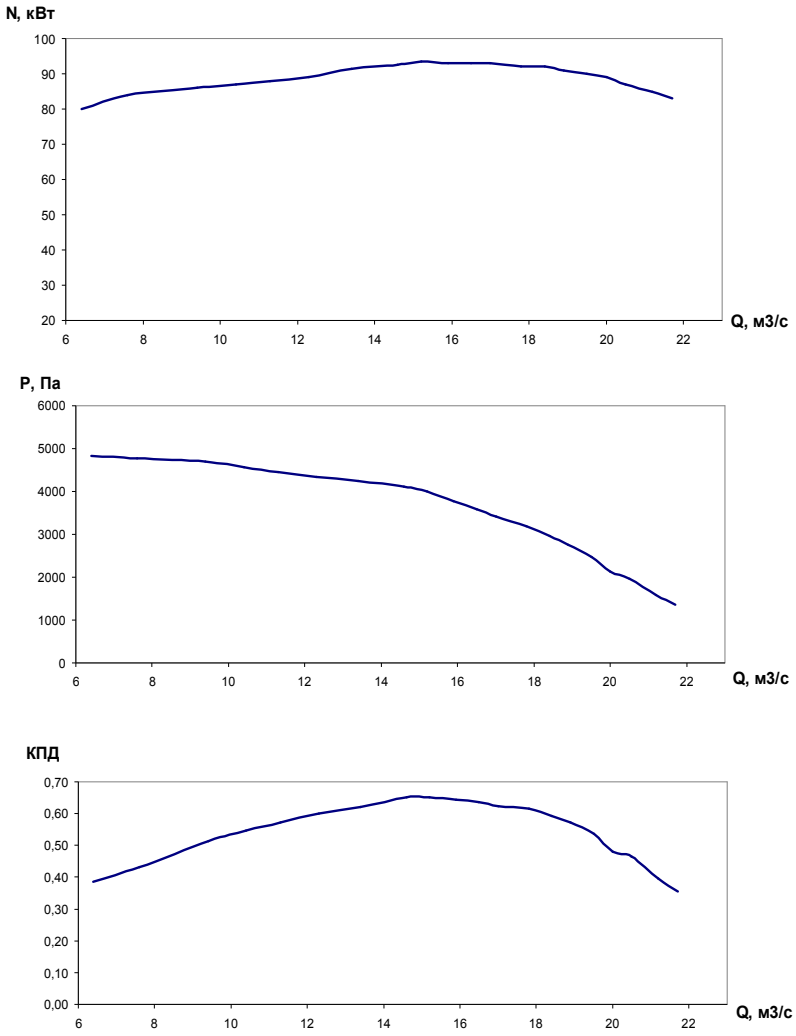


Рис. 1. Аэродинамические характеристики вентилятора

Для вентиляторов, имеющих устройства для регулирования, строятся семейство кривых, каждая из которых соответствует определенному положению регулирующего устройства. Каждая из приведенных кривых строится по числу точек, соответствующих не менее 10 режимам работы вентилятора.

Таким образом, по полученным кривым потребитель имеет возможность провести подбор вентилятора под требуемые параметры с учетом сопротивления сети воздуховода и требуемого количества воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 10921-90 Вентиляторы радиальные и осевые. Методы аэродинамических испытаний.
2. ГОСТ 8.586.1-2005 Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования.
3. ГОСТ 6625-85 Вентиляторы шахтные местного проветривания. Технические условия.
4. Вентиляторы и дымососы/ А.Н. Шерстюк - Москва, Ленинград: Государственное энергетическое издательство, 1957 – 184 с.

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ТРОЛЛЕЙБУСОВ

Фисюнова Е.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

На настоящий момент доля перевозок пассажиров транспортом повышенной пассажировместимости в России составляет 60 %, что предопределяет повышенные требования к надёжности несущих конструкций и электрооборудования. Проблема надежности технических систем значительно обострилась, что вызвано их усложнением, ужесточением условий эксплуатации, увеличением числа возлагаемых на системы функций и их ответственности, повышением требований к точности и качеству выпускаемой продукции.

Технические решения при разработке новой модели должны приниматься по критерию более полного соответствия конструкции требованиям потребителей. На сегодняшний день обеспечение надежности городского транспорта с высокими экономическими и эксплуатационными показателями становится актуальным. В случае отказа троллейбуса

каждый случай вызывает огромные убытки. Причем убытки связаны не только с тем, что значительное время оборудование простаивает в ремонте и поэтому имеет место недовыработка соответствующей прибыли, а также и с тем, что к восстановлению привлекается значительное количество ремонтного персонала высокой квалификации, требующей соответствующей оплаты за свой труд. Отказы оборудования в приводят не только к экономическим, но также к экологическим и социальным потерям.

Цель работы – исследование причин отказов, моделирование эксплуатационной надежности при эксплуатации городского транспорта в различных климатических условиях.

Томский троллейбус начал работать в Томске 5 ноября 1967 года. В настоящее время в городе имеется 8 маршрутов, на которых по состоянию на июнь 2011 года эксплуатируется 105 троллейбусов из них: ЗиУ-682 — 24, АКСМ-101 — 8, ЛиАЗ-5280 — 8, ЛиАЗ-52803 — 2, Тролза-5275.05М "Оптима" — 15, АКСМ-321 — 48. Длина всех линий составляет 93,4 км.

Эксплуатирует троллейбус Томское городское унитарное муниципальное предприятие «Трамвайно-троллейбусное управление». Весь парк обслуживает одно троллейбусное депо. Трамвайно-троллейбусное управление (ТГУ МП «ТТУ») — муниципальное предприятие в г. Томске, занимающееся эксплуатацией электротранспорта.

Троллейбус марки Trolza-527505M были введены в эксплуатацию в 2008 г. Данный троллейбус был специально спроектирован для сибирских условий. Троллейбус марки АКСМ-321 были введены в эксплуатацию в 2010 г. АКСМ-321 — белорусский низкопольный троллейбус большой вместимости для внутригородских пассажирских перевозок, производящийся с 2001 на Белкоммунмаше. Относится к третьему поколению троллейбусов, разработанных заводом. Модель троллейбуса используется во многих городах России, а также в Беларуси, Кыргызстане, Латвии, Молдавии, Сербии и на Украине.

Основные типичные виды отказов:

- показывает ток утечки;
- выходят из строя герконы токоуловитетеля;
- не размагничиваются катушки токоприемников;
- электроника выдает ошибки;
- зимой промерзают трубки компрессора;
- зимой промерзают гидравлические трубки открывания дверей.
- Причины отказов:
- плохая сборка;
- плохие силовые контакторы;
- сильная подверженность влиянию погодных условий.

Исследование технического состояния и отказов электрооборудования (ЭО) троллейбусов произведено по данным в различных климатических условиях в период их нормальной эксплуатации, полученным во время прохождения научно-исследовательской практики в ТГУ МП «ТТУ». Исследование показало, что наиболее характерные неисправности электрооборудования троллейбусов:

- контакторы, реле;
- тяговый двигатель;
- эл. тормоз;
- прочее в/в оборудование;
- прочее н/в оборудование.

Исследование эксплуатационной надежности является одной из самых актуальных задач современной техники. Эта задача решается с применением методом теории надежности на всех этапах жизненного цикла электрических аппаратах – при проектировании, изготовлении и эксплуатации. На основе анализа эксплуатационной надежности можно разработать мероприятия по повышению безотказности и долговечности электрических аппаратов, сформулировать требования к заданным условиям эксплуатации и решить многие другие не менее важные задачи.

С помощью математического моделирования определим надежность ЭО троллейбуса. Построение математических моделей является достаточно сложным процессом и осуществляется по этапам. Основой для построения математических моделей являются физические законы, определяющие принципы функционирования технических объектов [3].

В качестве исходных параметров математической модели приняты:

- абсолютная частота отказов $n(\Delta s_i)$ - количество наработок на отказ;
- границы интервалов Δs_i км;
- количество интервалов m.

В качестве выходных параметров математической модели приняты следующие величины:

- Вероятность безотказной работы $P(s)$;
- Интенсивность отказов λ.

В качестве ограничения математической модели приняты следующие величины:

- Критерий Пирсона $\chi^2 < 9,4$.

На рис.1. представлена математическая модель эксплуатационной надежности электрооборудования троллейбуса.

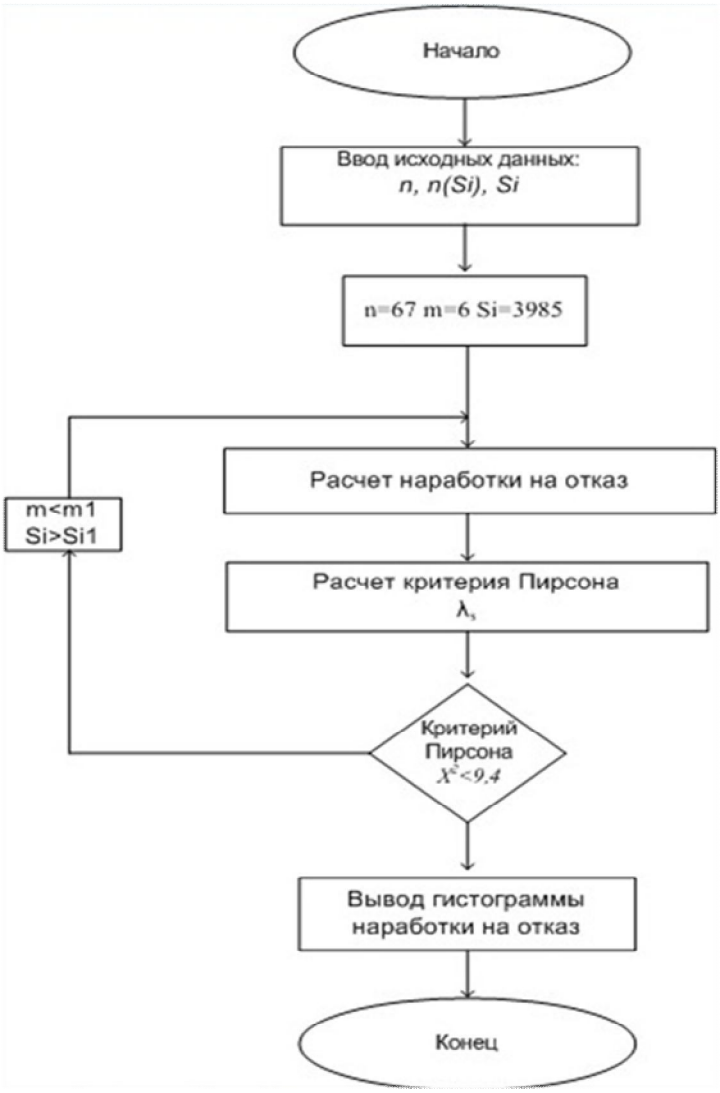


Рис.1. Математическая модель эксплуатационной надежности электрооборудования троллейбуса

Из полученных результатов, построим гистограмму наработки на отказ. На рис.2. изображена гистограмма наработки на отказ контакторов.

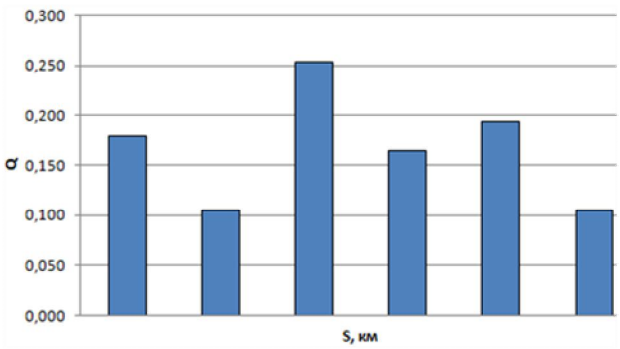


Рис.2. Гистограмма наработки на отказ контакторов

По виду гистограммы можно предположить, что случайная величина распределена по нормальному закону. Исходя из предложения о нормальном законе распределения, определим теоретические частоты. По полученным данным на рис.3. строим эмпирическое и теоретическое распределение отказов по степени выполнения норм.

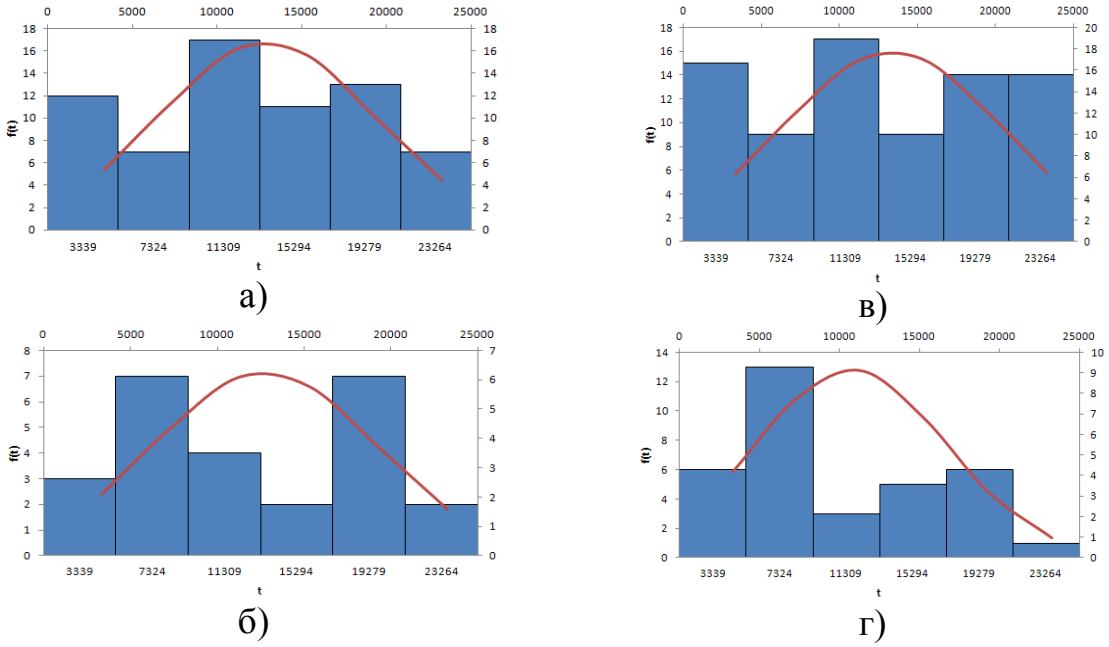


Рис.3. Эмпирическое и теоретическое распределение отказов по степени выполнения норм: а) контакторы; б) эл. тормоз; в) в/в оборудование; г) н/в оборудование

Таким образом, в результате данного расчета получены теоретические значения наработки на отказ электрооборудования троллейбусов. По данным эксплуатации рассчитана надежность по нормальному закону распределения отказов электрооборудования, который был принят после его проверки по критерию Пирсона, т.к. он является наиболее обобщенным и дает более глубокую информацию о состоянии ЭО. Предложенный принцип учета эксплуатационных данных является важным звеном в системе расчета эксплуатационной надежности, что позволяет обеспечить эффективность функционирования ЭО троллейбусов. Разработанный математический аппарат имеет практическую ценность, т.к. может быть легко внедрен для анализа надежности и оценки работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котельнец Н.Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин: Учебник.- М.: Академия, 2003.- 342 с.

2. Кузнецов Н. Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов / Н. Л. Кузнецов – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. -432с.
3. Назарычев А.Н., Андреев Д.А. Методы и математические модели комплексной оценки технического состояния электрооборудования.- Иваново: Иван. гос. энерг. ун-т, 2005.-224 с.
4. Сборник задач по надежности электрических машин: учебное пособие / Н. Л. Кузнецов. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 408 с.: ил.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭРОЗИЯ ПОВЕРХНОСТИ УСКОРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ

Великосельский В.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Характерной особенностью электродинамических ускорителей с плазменным поршнем является сильная электрическая эрозия поверхности электродов. Для ускорителей макротел это явление носит негативный характер. Оно препятствует получению высоких кинетических параметров метания и исключает повторное использование ствола. С другой стороны это явление лежит в основе технологического использования ускорителей, получения порошкообразных материалов и нанесения функциональных металлических и композиционных покрытий. К этому типу относится рассматриваемый в настоящей работе гибридный коаксиальный магнитоплазменный ускоритель (КМПУ) [1]. В режиме ускорения электроразрядной плазмы КМПУ обеспечивает электроэрозионную наработку материала гиперзвуковых плазменных струй для нанесения покрытий. В связи с этим исследование электроэрозионного процесса наработки и выноса эродированной массы является актуальной задачей как с позиции определения наиболее значимых факторов и характера их влияния, так и поиска возможностей его подавления.

Устройство и принцип действия КМПУ в режиме ускорения электроразрядной плазмы при электропитании от емкостного накопителя энергии С показаны в [2]. Исследования проведены с использованием электродов – стволов из нержавеющей стали с диаметром от 16 мм до 24 мм. Этот материал наиболее приемлем для ствола ускорителя макротел. Актуальной является и задача нанесения покрытий состава нержавеющей стали на металлические поверхности.

Таблица 1.

Экспериментальные данные

№ опыта		1	2	3	4	5
Диаметр ускорительного канала, d	мм	16	16	16	19	24
Длина ускорительного канала, l	мм	271	272	272	270	274
Зарядное напряжение, U0	кВ	4	4	3	3	3
Емкость накопителя энергии, C	мФ	12	12	48	48	48
Максимальный ток, Im	кА	139	139	159	140	140
Напряжение дуги, Uд	кВ	1,80	1,78	1,80	2,08	2,19
Подведенная энергия, W	кДж	30,0	50,0	117,4	140,0	152,7
Эродированная масса, mэ	г	1,10	3,47	37,05	34,40	26,60
Скорость струи на срезе ствола, ϑ	км/с	6,0	6,0	7,5	7,0	5,8
Заряд, q0	Кл	20	42	94	92	109
Время ускорения, t	мкс	75	72	60	66	80

В момент времени t = 0 по КМПУ начинает протекать ток i(t), что видно на осциллограммах (рис.1). при достижении током некоторого уровня в момент t1 происходит электровзрыв проводников, плазма разряда получает начальное ускорение. Затем подключается электротермический механизм, обеспечивающий ускорение плазмы за счет расширения газообразных продуктов термического разложения газогенерирующего вещества (технического вазелина). Дальнейший высокоэффективный разгон происходит с участием электродинамических сил.

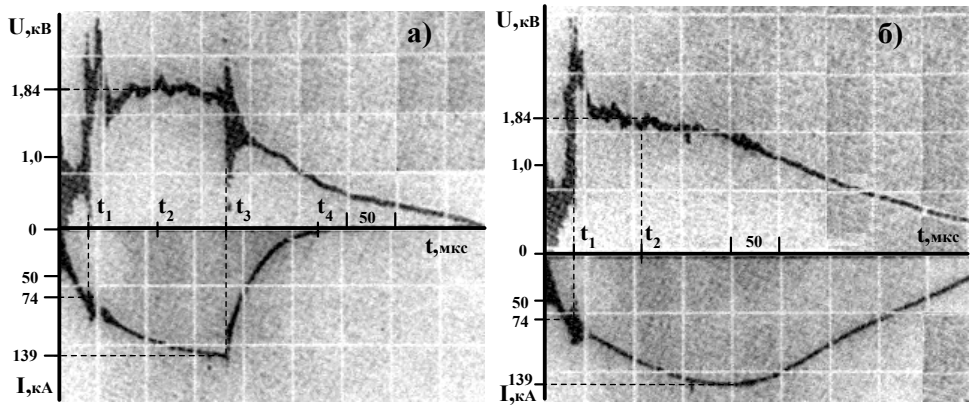


Рис.1. Осциллограммы рабочего тока i(t) и напряжения U(t) на электродах КМПУ: а) в режиме шунтирования с отсечкой хвостовой части импульса тока, б) в режиме полного импульса тока

Эрозия поверхности ствола происходит как за счет её разогрева и плавления металла в движущихся опорных пятнах плазменной перемычки, так и за счет излучения плазменного жгута. Подверженная эрозии поверхность состоит из многочисленных продольных треков, что говорит о том, что круговая плазменная перемычка представляет собой не сплошной проводящий диск, а несколько дискретных радиальных каналов. Причем трековая структура эродированной поверхности наблюдается как при однократном прохождении плазменной структуры ускорительного канала, так и при полном импульсе рабочего тока. Осциллограммы на рис.1 иллюстрируют режим с отсечкой хвостовой части импульса тока и режим полного импульса при прочих равных условиях (опыты 1 и 2 в табл.1). Из анализа данных таблицы 1 и эпюр на рис.2 следует, что с увеличением подводимой энергии W возрастает масса металла, эродированная и унесенная с поверхности ускорительного канала. А увеличение его

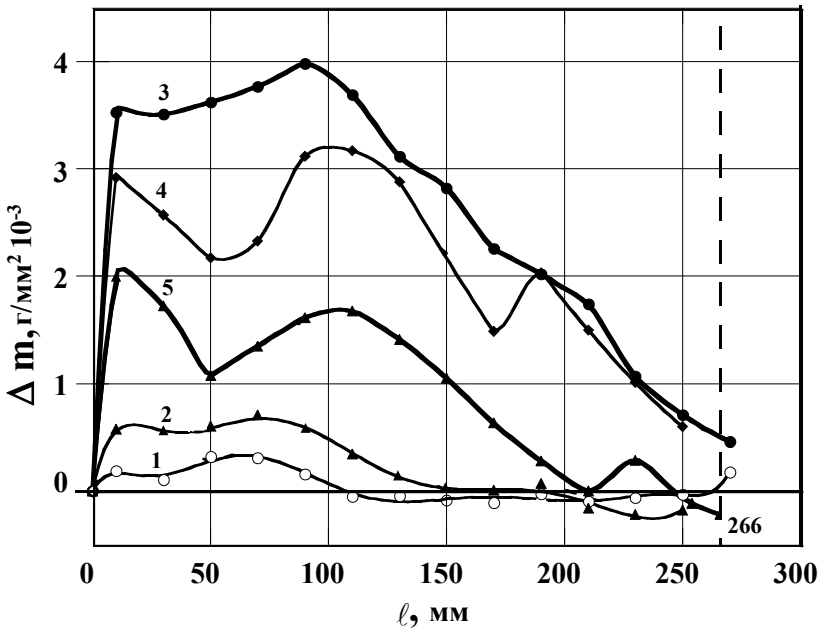


Рис.2. Эпюры диффе-ренциальной эрозии по длине ускорительного канала. Номера кривых соответствуют номе-рам опытов в таблице 1, кривые 1 и 2 соответствуют осциллограммам а) и б) рис. 1

диаметра приводит к снижению эрозии даже при возрастании W. характер эрозии по длине ускорительного канала имеет общие закономерности. Высокий уровень на начальном участке обусловлен близостью канала у вершины центрального электрода, очага максимальной диссипации энергии. Далее, на участке (40÷70) мм эрозия уменьшается по мере удаления от центрального электрода. На бóльшем удалении эрозия вновь увеличивается до некоторого максимума, в равных условиях

пропорционального W. Положение этого максимума смещается вправо с ростом W и увеличением диаметра ствола d, но не далее 150 мм. С дальнейшим увеличением расстояния эрозия плавно снижается. При относительно низкой энергии W=(40÷50) кДж на длине более (100÷180) мм эрозия отсутствует и имеет место наслоение ранее эродированного металла. При энергии W=(100÷150) кДж эрозия происходит на длине (270÷280) мм. Наиболее равномерный износ ствола и наработка (80÷90) % эродированной массы обеспечиваются на длине (170÷190) мм.

Наличие второго максимума эрозии является следствием ударно-волнового процесса в плазменной струе. Установленный экспериментально волновой характер изменения скорости плазменной структуры по всей вероятности обусловлен газодинамическими закономерностями сверхзвуковых течений в каналах и соплах [3]. Динамика движения разряда дает основания предположить, что в ускорительном канале формируется квазистационарный режим сверхзвукового течения с бочкообразной ударно-волновой структурой, с одним или несколькими скачками уплотнения. В них имеет место снижение числа Маха (скорости), и, следовательно, увеличение давления, плотности и температуры. Таким образом, проведённые экспериментальные исследования позволили определить наиболее значимые факторы, влияющие на величину электрической эрозии ускорительного канала КМПУ и установить основные закономерности его электроэрозионного износа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сивков А.А. Гибридная электромагнитная система метания твердых тел // ПМТФ. 2001. Т.42. № 1. с. 3-12

2. Сивков А.А., Корольков Л.В., Сайгаш А.С. Нанесение медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности с помощью магнитоплазменного ускорителя // Электротехника. 2003. №8. с.41-46.

3. Пирумов У. Г., Росляков Г. С. Газовая динамика сопел. М.: Наука, 1990.

СТАЦИОНАРНОЕ ВРАЩЕНИЕ НЕУРАВНОВЕШЕННОГО РОТОРА, ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННОГО ЖИДКОСТЬЮ ПРИ ДЕЙСТВИИ СИЛ ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ

Пономарёв А.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

В данной статье, в рамках плоской модели, изучается вращение ротора со слоем жидкости на стенке камеры при вязкоупругом действии вала. Предполагается, что границей свободной поверхности жидкости является окружность с центром на оси вращения, а сама она вращается вместе с ротором, как твердое тело.

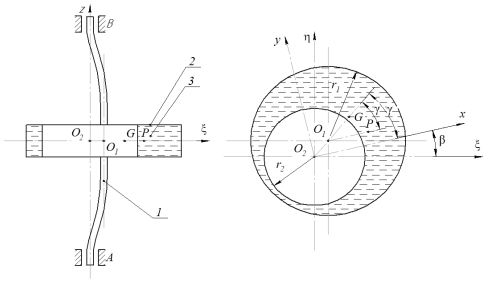
Материал и методы исследования

Исследование жидкостных автоматических балансирных устройств (АБУ) сводится к задаче о движении вращающихся тел с полостями, частично заполненными жидкостью [1]. Эта задача сопряжена с математическими трудностями, т.к. требует рассмотрения совместного движения твердого тела и жидкости. Известно ограниченное количество работ, в которых решается указанная задача применительно к АБУ. Так в [2] рассмотрена устойчивость стационарного вращения ротора, частично заполненного жидкостью со свободной поверхностью. Изгибные колебания вала с неуравновешенным диском на нем изучены в [5]. В [3] показано влияние жидкости во вращающемся роторе на автоматическую балансировку механической системы без учета сил сопротивления. Ниже рассматривается установившееся движение неуравновешенного ротора с жидкостью при наличии внешнего сопротивления.

Результаты исследования и их обсуждение

Пусть ротор 1 (рис. 1), содержит камеру 2 частично заполненную однородной несжимаемой жидкостью 3, симметрично закреплен на гибком вертикальном валу, проходящем через геометрический центр O1. Центр масс ротора (точка P) смещен от O1 на расстояние O1P=e. При вращении ротора вал смещается на величину O2O1=a, а несжимаемая однородная жидкость, плотностью ρ, перетекает в сторону прогиба вала. При установившемся движении жидкость во вращающемся роторе занимает цилиндрический слой высотой h, свободной поверхностью которого является окружность радиуса r2 с центром на оси вращения AB (точка O2) и вращается с угловой скоростью $\omega = \dot{\beta}(t) = const$ [4]. Отсюда центр масс слоя жидкости находится на линии центров O2O1 в точке G, а движение ротора является плоским.

Введем в плоскости движения точек O1, G, P две системы координат с общим началом в точке O2 на линии AB: неподвижную систему O2ξη и подвижную O2xy, ось x которой параллельна отрезку O1P. Угловые скорости вращения ротора и системы O2xy одинаковые, следовательно, ротор в подвижной системе координат неподвижен. За обобщенные координаты возьмем координаты точки O1 в подвижной системе O2xy – x,y.



а б

Рис.1. а – Схема закрепления ротора; б – Сечение ротора с жидкостью

На ротор со стороны вала действует сила упругости $\overline{F_c} = -c\,\overline{O_2O_1}$ и сила внешнего трения, приложенная в точке O1, пропорциональная абсолютной скорости $\overline{V}_{O_1}$ этой точки, $\overline{F_\chi} = -\chi\,\overline{V}_{O_1}$ Где c и χ коэффициенты упругости и внешнего трения. Природа этих сил подробно изложена в [5]. Так, силы внешнего трения вызываются вязким сопротивлением внешней среды, опор, специальных демпферов и зависят от скоростей абсолютных перемещений точек ротора и вала; силы внутреннего трения порождаются сопротивлением частиц материала и в первом приближении принимаются пропорциональными скорости деформации вала. Согласно принципу Даламбера имеем уравнение равновесия главных векторов внешних сил и сил инерции:

$$-c\overline{O_2O_1} - \chi\overline{V}_{O_1} - m_1\overline{a}_P^e - m_2\overline{a}_G^e = 0 \qquad (1)$$

Здесь m1 и m2 – массы ротора и жидкости, $\overline{a}_P^e$ и $\overline{a}_G^e$ – переносные ускорения точек P и G соответственно. Координаты этих точек определяются выражениями (2):

$$x_P = x + e, \quad y_P = y, \quad x_G = rx, \quad y_G = ry,$$

где $r = r_1^2/(r_1^2 - r_2^2)$ – коэффициент, характеризующий наполнение камеры; r_1 – радиус камеры, r_2 – радиус внутренней поверхности жидкости.

Проецируя (1) на оси x, y и используя (2) для вычисления $\overline{V}_{O_1}$, $\overline{a}_P^e$ и $\overline{a}_G^e$, получаем уравнения стационарного движения системы:

$$cx - \chi\omega y - m\omega^2 x = m_1 e\omega^2;$$
$$cy + \chi\omega x - m\omega^2 y = 0. \qquad (3)$$

Здесь $m = m_1 + rm_2$, m_1 – масса ротора, m_2 – масса жидкости.

Из уравнения равновесия моментов всех сил относительно оси АВ, можно определить вращающий момент, приложенный к валу со стороны двигателя. Считаем, что двигатель развивает усилие, обеспечивающее заданное вращение ротора.

Решение уравнений (3) имеет вид:

$$x = \frac{m_1 e\omega^2 (c - m\omega^2)}{(c - m\omega^2)^2 + \chi^2\omega^2};$$
$$y = -\frac{m_1 e\chi\omega^3}{(c - m\omega^2)^2 + \chi^2\omega^2}. \qquad (4)$$

Полагая в (4) χ=0, получаем решение для однокамерного АБУ без внешнего сопротивления, рассмотренное в [9]. По формулам (4), (2) вычисляется прогиб вала $a = \sqrt{x^2 + y^2}$ и отклонение центра масс системы от оси АВ $r_c = \frac{\sqrt{(x_P m_1 + x_G m_2)^2 + (y_P m_1 + y_G m_2)^2}}{(m_1 + m_2)}$, которые в безразмерных переменных принимают вид (5):

$$a^* = \frac{a}{e} = \frac{z}{\sqrt{D}}; \quad r_c^* = \frac{r_c}{e} = \frac{\sqrt{1 + nz}}{(1 + \mu)\sqrt{D}};$$
$$D = [1 - (1 + r\mu)z]^2 + nz,$$

где $z = m_1\omega^2 / c$ – квадрат отношения частоты вращения к собственной частоте ротора, $n = \chi^2/(cm_1)$ – безразмерный коэффициент сопротивления, $\mu = m_2 / m_1$ – отношение массы жидкости к массе ротора.

Угол сдвига фазы движения γ определяется формулой:

$$tg\gamma = y / x = -\frac{\chi\omega}{c - m\omega^2}. \qquad (6)$$

Это выражение соответствует отсутствию жидкости, т.е. при m=m1.

Из выражений (4–6) следует, что при $\omega\to\infty$ ($z\to\infty$) $a\to m1e/m$, т.е. прогиб вала становится меньше неуравновешенности e, т.к. $m1/(m1+rm2)<1$; $rc\to 0$, $\gamma\to\pi$, $x\to -m1e/m$, $y\to 0$; координаты центров масс ротора и слоя жидкости принимают значения: xp=rm2e/m, yp=0; xG=-rm1e/m, yG=0.

Таким образом, при больших угловых скоростях вращения ротора ω центр масс системы стремится занять положение на оси вращения АВ; происходит самоцентрирование системы.

Видно, что с увеличением массы жидкости в роторе происходит уменьшение критической скорости, при которой прогиб вала достигает

максимума (появляется резонанс) [6]. Дальнейший анализ расчетов показывает, что с увеличением внешнего сопротивления при неизменном μ критическая скорость и соответствующий ей прогиб уменьшаются, а самоцентрирование системы (rc→0) ускоряется.

При постоянном сопротивлении (n=const) увеличение массы жидкости (параметра μ) так же ускоряет самоцентрирование системы. Критическая частота вращения ротора при одних и тех же значениях n и μ уменьшается с ростом параметра r.

Заключение

Результаты проведенной работы показывают, что увеличение массы жидкости в роторе уменьшает его критическую скорость вращения. Внешнее трение ускоряет самоцентрирование системы. Полученные соотношения позволяют производить выбор конструктивных параметров жидкостного АБУ, работающего в заданном диапазоне угловых скоростей ротора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саруев Л.А., Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий. - 2010 - №. 6-3 (13) - С. 61-65.

2. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Исследование эффективности балансировки жидкостным автобалансирующими устройствами // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 1. – с. 2. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/107-7919

3. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Влияние эллипсности и эксцентриситета резервуара на точность автоматической балансировки // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 2. – с. 8. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/108-8472

4. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. Стационарное вращение неуравновешенного ротора, частично заполненного жидкостью при действии сил внешнего трения // Современные проблемы науки и образования – 2012. – № 6. – с. 102. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/106-7825

5. Мартюшев Н.В. Расчет параметров структуры материалов с помощью программных средств // В мире научных открытий. - 2011 - №. 1 (13) - С. 77-82.

6. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. MATERIALS AND ENGINEERING SCIENCE (УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 2. – с. 126-127.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Кортенко А.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Проблема энергосбережения на сегодняшний день является все более актуальна не только в России, но и в мировом аспекте. В нашей стране эта проблема особенно актуальна для экономики, поскольку у нас по общемировым показателям на много раз выше энергоемкость промышленного производства. Данная проблема все больше обостряется в связи с увеличением стоимости энергоносителей. Из-за этого конкурентоспособность российской продукции в большей степени зависит именно от экономного расходования электроэнергии. На данный момент проектирование энергоэффективных электрических машин в России является первоочередной задачей энергосбережения страны в целом. У нас в стране производителями проводится внушительный объем научных и технических мероприятий по развитию разработки и производства электрических машин. В них входит производство новых изоляционных материалов и обмоточных проводов, усовершенствование конструкции в целом, а также пазовых зон, проработки систем отвода тепла, введение новых технологий, в которых содержится большой коэффициент заполнения паза, пакетов статора и ротора сталью [1].

Целью работы является моделирование энергоэффективных АД.

Большинство энергоэффективных асинхронных двигателей имеют повышенный КПД за счет уменьшения потерь, благодаря применению более качественной стали, увеличению количества активного материала – железо, медь и алюминий. Кроме энергосбережения эти двигатели имеют: увеличенный срок службы подшипников и обмотки за счет меньшей температурной нагрузки, позволяют выдерживать большие перегрузки в номинальном режиме и производят меньше шума. Данные асинхронны двигатели более устойчивы к колебаниям напряжения и имеют выше коэффициент мощности. Производители этих двигателей часто предоставляют более длительный гарантийный срок, чем на стандартные электродвигатели.

Энергоэффективностью асинхронных двигателей характеризуется уровнем КПД. В Европейском сообществе и Российской Федерации одновременно в 2000 г. были приняты нормы на КПД АД. Эти нормы предусматривают три уровня КПД:

- нормальный;
- повышенный;

- высокий [2].

В работе были промоделированы энергоэффективные асинхронные двигатели. Моделирование было проведено на асинхронных двигателях серии АИР. Результаты моделирования представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты моделирования энергоэффективных АД

Электро-двигатель	Мощность кВт	КПД	MAl, кг	MCu, кг	MCт, кг	ΔMAl, %	ΔMCu, %	ΔMCт, %
АИР80В4	1,5	0.841	2.6	1.5	13.1	49.8	88.1	68.1
АИР112М4	5,5	0.886	5.6	3.6	35.6	36.6	70.4	78.8
АИР132М4	11	0.905	7.6	6.1	63.2	80.3	84.4	65.2

Обозначения в таблице 1: MAl – масса потраченного алюминия, MCu – масса потраченной меди, MCт – масса потраченной стали, ΔMAl – возрастание количества алюминия, ΔMCu – возрастание количества меди, ΔMCT – возрастание количества стали.

Исходные значения для электродвигателей АИР80В4, АИР112М4 и АИР132М4 находятся на нормальном уровне. В результате моделирования увеличился расход активных материалов и при этом КПД соответствует высокому уровню. Расход алюминия возрос на 36,6-80,3%, меди на 70,4-88,1% и расход стали возрос на 65,2-78,8%. Поэтому, моделирование энергоэффективных асинхронных двигателей показывает, что переход КПД с нормального уровня на высокий уровень связан с большими затратами активных материалов такие как: алюминия, меди и стали. В дальнейшем будет проведено экономическое исследование для оценки эффективности применения энергоэффективных асинхронных двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергетическая стратегия России на период до 2020 г. // ТЭК. – 2003. – № 2. – С. 5–37.

2. Кравчик А.Э., Лазарев М.В., Русаковский А.М. Перспективы разработки и производства стандартных АД. // Электротехника. -2005. -N5. -С.3- 8.

3. Проектирование электрических машин. И.П. Копылов; Под ред. И.П. Копылова— М.: Высш. шк., 2005

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Гулин А.О.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск

Температура как физическая величина является одним из определяющих параметров состояния, позволяющих контролировать протекание самых различных производственных процессов. Измерение температуры – важнейший источник информации о ходе физических явлений и об изменении состояния вещества. Поскольку из всех термодинамических функций состояния вещества температура наиболее изучена в метрологическом отношении, ее практически оказывается полезным измерять взамен прямого измерения ряда характеристик объекта, зависящих от его состояния и непосредственно интересующих технолога. К таким характеристикам относятся энергия вещества, его химическая активность, вязкость, твердость, изменение его химического или фазового равновесия, скорость изменения структуры, тепловое расширение, изменение электрических и магнитных свойств и т.д [1].

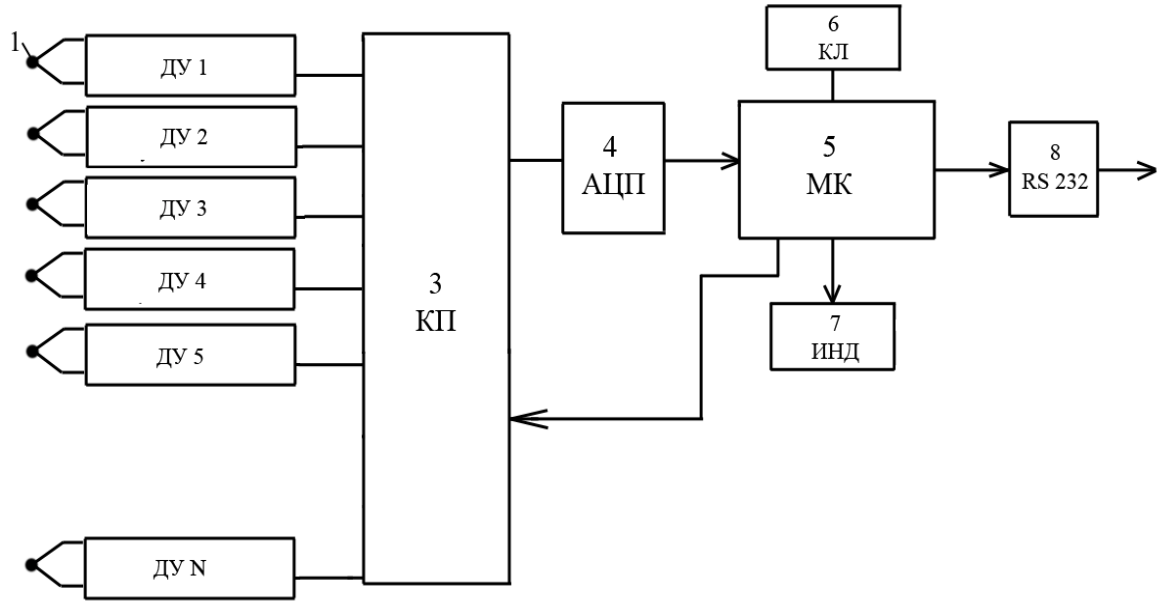


Рис. 1. Принципиальная схема устройства для измерения температуры

В то же время измерению температуры контактными методами с помощью термометров, приводимых в тепловой контакт с объектом измерения, присущи специфические трудности, резко возрастающие по мере повышения температуры. Эти трудности связаны с выбором материала для чувствительного элемента, которые бы обеспечивали стабильность показаний и минимальное воздействие на объект измерений,

с выбором изоляционных материалов для электрических термометров. Погрешности, связанные при контактных измерениях с несовершенством теплового равновесия между термометром и объектом, с плохим тепловым контактом и посторонними тепловыми влияниями могут быть значительными. Для реализации специфических исследовательских задач на кафедрах МТМ и ПМЭ был изобретен прибор для автоматичесой фиксации точных значений температуры в течении времени в нескольких точках [2]. Изобретение относится к технике измерения физической температуры объекта с помощью термопары. Перед проектированием устройства был произведен поиск уже существующих аналогов и анализ их особенностей. Первым было найдено устройство для измерения температуры, патент РФ №2437068 от 2010.06.30 – пирометр, включающий первый и второй каналы, каждый из которых содержит оптоэлектронный преобразователь и синхронный детектор. Пирометр содержит оптически связанный с первым и вторым каналами модулятор излучения, оптически связанный со вторым каналом источник опорного излучения и соединенный с выходами каналов процессор, подключенный к регистратору [3]. Пирометр содержит источник шумового излучения, который подключен к процессору, и блок управления, подключенный к источнику шумового излучения и синхронным детекторам обоих каналов.

Недостатком данного изобретения является то, что оно позволяет измерить лишь температуру поверхности объекта. Температуру внутренних слоев объекта измерения с помощью этого прибора измерить нельзя.

Следующим найденым прибором было устройство для измерения температуры, АС №839370 от 2005.05.27, содержащее термочувствительный элемент, соединенный с ядерно-квадрупольным резонансным детектором, усилитель, генератор линейно изменяющегося напряжения, две цепи перестройки резонансной частоты, коммутирующий ключ, пороговый блок, вход которого подключен к выходу усилителя, а один из выходов блока к блокирующему входу генератора линейно изменяющегося напряжения; второй выход - инверсный - к управляющего входу коммутирующего ключа, и включенного в цепь информационного высокочастотного выхода ядерно-квадрупольного детектора, аналоговый выход которого подключен через усилитель к одной из цепей перестройки резонансной частоты, а вторая цепь перестройки резонансной частоты подключена к выходу мостовой схемы [4]. В устройство введены датчик температуры и мостовая схема измерения его сигнала. В устройстве пороговый блок выполнен в виде триггера Шмидта.

Недостатком устройства является то, что оно позволяет измерять температуру лишь в одной точке и достаточно сложно в изготовлении из-за большого количества элементов.

Наиболее близким к предъявляемым требованиям стало устройство для измерения температуры с непосредственным отсчетом (патент РФ №2017088). Изобретение относится к температурным измерениям с использованием термопары, датчика температуры, первого и второго дифференциального усилителя, источника опорного напряжения [5].

Недостатком данного изобретения является его неспособность измерять одновременно температуру в нескольких точках, кроме того данный прибор не может осуществлять запись значений измерений для последующей обработки.

В итоге задача разработчиков стало создание измерителя, одновременно снимающего показания в интервале температур в нескольких точках исследуемого объекта и сохраняющего их для дальнейшей обработки.

Спроектированное устройство для измерения температуры, содержит термопары, дифференциальные усилители. Каждая из термопар подключена к входу своего дифференциального усилителя, выход которого подключен к входу общего компаратора. Компаратор подключен к входу аналогово-цифрового преобразователя, выход которого подключен к входу микроконтроллера и соединенного первой шиной обмена данных с клавиатурой, второй шиной обмена данный с портом связи с компьютером RS232, первый выход которого соединен с входом цифрового индикатора и вторым выходом с входом компаратора для образования обратной связи.

Микроконтроллер сохраняет данные и при необходимости выводит их на персональный компьютер для дальнейшей обработки. С помощью обратной связи микроконтроллер может управлять работой компаратора, задавая границы принимаемого сигнала с термопар [6].

На рис. 1 изображена принципиальная схема работы заявляемого устройства для измерения температуры.

Технический результат, получаемый при изготовлении устройства, заключается в следующем. В результате включения в схему работы компаратора 3 и микроконтроллера 5 появляется возможность получать данные в интервале температур с нескольких термопар 1-N одновременно, сохранять их и передавать для дальнейшей обработки. На пути движения сигнала от термопар 1-N, соединенных с дифференциальными усилителями ДУ1, ДУ2, …, ДУ N к микроконтроллеру 5 расположен компаратор 3. Компаратор 3 отсекает непопадающие в интервал температур значения, затем сигнал с помощью АЦП 4 преобразуется в цифровую форму и уже нужные данные попадают для обработки на

микроконтроллер 5. Причем, наличие компаратора 3 между микроконтроллером 5 и термопарой 1 дает возможность одновременно принимать сигнал с нескольких термопар 1-N сразу. Микроконтроллер 5 имеет возможность через обратную связь управлять работой компаратора 3, настраивать рабочие интервалы температур, воспринимаемые компаратором 3. Также микроконтроллер 5 выводит получаемые данные на индикатор 7, выводит данные через порт RS232 8 на компьютер. Управление работой микроконтроллера 5 и устройства в целом осуществляют через клавиатуру 6.

Результаты исследование представленные в настоящей работе выполнены при поддержке гранты Президента РФ МК-6661.2013.8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мартюшев Н.В., Петренко Ю.Н., Егоров Ю.П. Производство поршневых колец компрессоров высокого давления // Литейное производство. – 2008. – № 8. – С. 24-26.

2. Мартюшев Н.В., Семенков И.В. Структура и свойства бронзовых отливок при различных скоростях охлаждения // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 1-1.

3. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на структуру и свойства бронз, содержащих свинец // Металлургия машиностроения. – 2010. – № 4. – С. 32-36.

4. Мартюшев Н.В. Параметры дендритной структуры медных сплавов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2011. – № 11-3 (54). – С. 229-232.

5. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на свойства отливок из бронзы брос 10-10 // Литейное производство. – 2011. – № 6. – С. 11-13.

6. Мартюшев Н.В. Программные средства для автоматического металлографического анализа // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 79-79.

БЕСКОНТАКТНОЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ КОММУТАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО

Номоконова Ю.А., Розаев И.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В последние годы бурный рост исследований в области электротехники предъявляет все больше требований к современным коммутирующим устройствам. Подобные устройства находят применение в погружных насосах нефтяных скважин, на станциях перекачки и сепарирования нефти, в приводах станков-качалок, в металлургической промышленности при прокате проволоки и др. Очевидно, что приоритетной становится необходимость создания коммутационной аппаратуры большей мощности без существенного увеличения габаритов, с большими возможности по защите и отказоустойчивости. Это предопределяет повышенные требования к надёжности несущих конструкций и электрооборудования.

Достоинства бесконтактных аппаратов по сравнению с обычными пускателями и контакторами:

- не образуется электрическая дуга, оказывающая разрушительное воздействие на детали аппарата;
- небольшое время срабатывания, поэтому допускается большая частота срабатываний;
- нет механического износа элементов устройства;
- высокая надежность и простота эксплуатации;
- бесконтактная и бесшумная коммутация;
- безопасность при работе во взрывоопасных средах;
- небольшое потребление электрической энергии в цепях управления [1].

Проведенный системный анализ различных схем тиристорных пускателей с прямым и реверсивным пуском для управления наиболее распространенными в промышленности асинхронными двигателями выявил, что в схеме тиристорного пускателя серии ПТ (рис.1) меньше элементов управления в сравнении с аналогами, что ведёт к уменьшению стоимости и увеличению надёжности пускателя. Уменьшение веса и габаритов достигается выбором элементов (транзистор, конденсатор, диодов) с минимальными массогабаритными показателями при сохранении функциональности.

Основным показателем успешного проектирования является рассчитанное время безотказной работы пускателя, которое должно быть

больше минимального допустимого (5000 часов). Надежность характеризуется средним

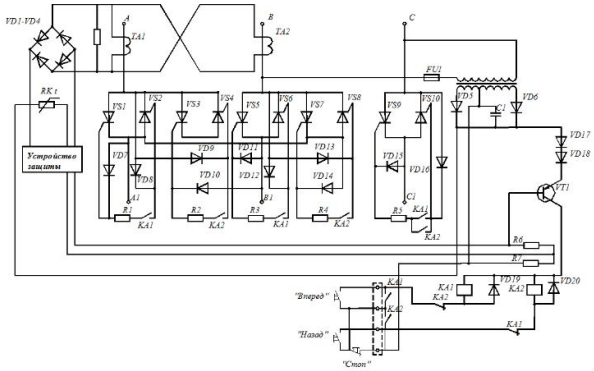


Рис. 1. Принципиальная схема тиристорного пускателя серии ПТ

временем безотказной работы $\tau = 1/\lambda_{\Sigma'}$, которая, в свою очередь, зависит от интенсивности отказов λ. Для пускателя опасность отказов определяется по формуле: $\lambda_h = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$. В таблице 1 приведены отказы и вероятность отказов элементов, составляющих схему.

Минимальная опасность отказов схемы находится по формуле:

$$\lambda_{min} = (5{,}13 \cdot 10 + 0{,}3 \cdot 20 + 3 \cdot 7 + 10 \cdot 2 + 7 \cdot 1 + 1{,}4 \cdot 1 + 4 \cdot 1) \cdot 10^{-6} = 11{,}07 \cdot 10^{-6} \frac{1}{час}.$$

Максимальное время безотказной работы вычисляется по формуле:

.

Максимальная опасность отказов схемы определяется по формуле:

$$\lambda_{min} = (5{,}13 \cdot 10 + 4 \cdot 20 + 13 \cdot 7 + 27 \cdot 2 + 40 \cdot 1 + 18 \cdot 1 + 6 \cdot 1) \cdot 10^{-6} = 3{,}4 \cdot 10^{-4} \frac{1}{час}.$$

Таблица 1.

Опасность отказов элементов схемы

Наименование элементов	Количество	Опасность отказов, λ, 1/час
Тиристоры	10	5,13·10-6
Диоды	20	(0,03÷0,4) ·10-5
Резисторы	7	(0,003÷0,013) ·10-3
Реле	2	(1÷2,7) ·10-5
Транзисторы	1	(0,7÷4) ·10-5
Конденсаторы	1	(0,0014÷0,018) ·10-3
Трансформаторы	1	(0,4÷0,6) ·10-5

Рассчитанное время безотказной работы больше минимального допустимого (5000 часов), следовательно, схема достаточно надежна. Надёжность схемы объясняется простотой устройства, широким применением полупроводниковых приборов, имеющих большой ресурс и надёжность. Небольшое число используемых элементов также повышает надёжность тиристорного пускателя [2].

Данный быстродействующий реверсивный тиристорный пускатель выполнен с защитой от максимальных токов и перегрузок, которая основана на цепи защиты пускателя с транзистором, включенным по схеме с общим эмиттером (рис. 2).

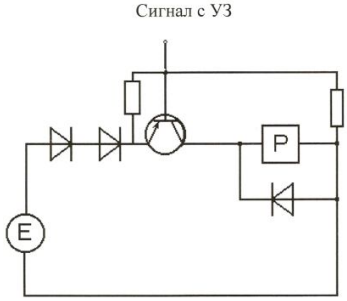


Рис. 2. Цепь защиты пускателя с транзистором

Для обеспечения режима отсечки при однополупериодном входном сигнале, поступающем в устройства защиты (УЗ) в эмиттерной цепи транзистора, включены диоды. Зная параметры обмотки, для управления реле (КА) выбираем транзистор и определяем ток, и напряжение базы трансформатора (Е), при которых он работает в ключевом режиме [1].

Для уменьшения габаритов стандартной печатной платы и автоматизации процесса она была спроектирована с использованием программы SprintLayout. Трассировка вручную позволила создать печатную плату с меньшим числом перемычек и меньшей длиной проводников [3]. Спроектированная печатная плата управления быстродействующим тиристорным пускателем представлена на рис. 3.

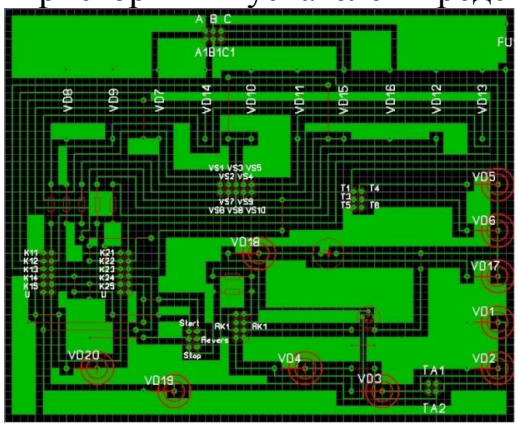


Рис. 3. Готовая печатная плата

Тематика исследования связана с возможностью практического использования тиристорных пускателей в различных отраслях промышленности, в частности, нефтегазодобывающей отрасли в качестве регулирующего и защитного оборудования (при работке станков-качалок и для управления задвижками в нефтепроводах). Представленный тиристорный пускатель может выполняться с различными вариантами защит. Работа по разработке тиристорного пускателя (электрические расчеты, выбор схемы защиты и схемы управления, проектирование печатной платы, расчет надежности) проводилась по заданию компании «ЭлеСи» (г. Томск)).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шопен Л.В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 568 с.:ил.
2. Боровиков С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности : учеб. для студ. инж. – тех. спец. вузов / С. М. Боровиков. – Минск: Дизайн ПРО, 1990. – 336 с.
3. Богданов Е.П. Проектирование плат управления электрическими аппаратами в программе SprintLayout: методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Бесконтактные электрические аппараты» для студентов магистерской программы 140600.02 «Технология проектирования и производства электромеханических преобразователей энергии» / Е.П. Богданов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 28 с.

РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭМА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ(МКЭ), РЕАЛИЗОВАННОМ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ ELCUT И ANSYS

Серов А.Б.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Благодаря высоким технико-экономическим показателям, надежности, увеличению производства и снижению стоимости высококоэрцитивных магнитов магнитоэлектрические машины находят широкое применение во многих отраслях народного хозяйства. Среди прочих можно отметить авиа -, ракето - и автомобилестроение,

нефтегазовый комплекс и ветроэнергетику. Под магнитоэлектрической машиной понимается электрическая машина постоянного или переменного тока, в которой магнитный поток возбуждения создается постоянными магнитами (ПМ) (вращающимися или неподвижными). Примерами таких машин являются тяговые двигатели, стартер-генераторы, электроусилители рулевого управления (ЭУР), двигатели устройств автоматики и др.

Одной из главных задач проектирования магнитоэлектрических машин, является задача изучения характера распределения магнитного поля по объему активной зоны машины, так как данный характер определяет массоэнергетические показатели разрабатываемой машины. Поэтому, расчет магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом и обмоткой якоря, является основой математической модели, описывающей электромагнитные процессы в электрических машинах [1].

Для расчета магнитного поля магнитоэлектрических машин могут быть использованы графоаналитические, аналитические и численные методы расчета [2].

Численные методы расчета магнитных полей, получившие в последние годы широкое признание, в значительной мере обязаны прогрессу быстродействующих цифровых вычислительных машин, которые позволили исследователям решать с высокой степенью точности задачи по определению различных физических полей. Без использования электронной вычислительной машины (ЭВМ) такие расчеты были бы чрезвычайно трудоемки или вообще невозможны [5].

Среди численных методов расчета наибольшее распространение получил метод конечных элементов (МКЭ). Суть метода следует из его названия. Область, в которой ищется решение дифференциальных уравнений, разбивается на конечное количество подобластей (элементов). В каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции. В простейшем случае это полином первой степени. Вне своего элемента аппроксимирующая функция равна нулю. Значения функций на границах элементов (узлах) являются решением задачи и заранее неизвестны. Коэффициенты аппроксимирующих функций обычно ищутся из условия равенства значения соседних функций на границах между элементами (в узлах). Затем эти коэффициенты выражаются через значения функций в узлах элементов. Составляется система линейных алгебраических уравнений. Количество уравнений равно количеству неизвестных значений в узлах, на которых ищется решение исходной системы, прямо пропорционально количеству элементов и ограничивается только возможностями ЭВМ. Так как каждый из элементов связан с ограниченным количеством соседних, система

линейных алгебраических уравнений имеет разрежённый вид, что существенно упрощает её решение. С точки зрения вычислительной математики, идея метода конечных элементов заключается в том, что минимизация функционала вариационной задачи осуществляется на совокупности функций, каждая из которых определена на своей подобласти, для численного анализа системы позволяет рассматривать его как одну из конкретных ветвей диакоптики — общего метода исследования систем путём их расчленения.

Данный метод расчета реализован в программных комплексах ELCUT и ANSYS.

Первоначальным этапом стал расчет магнитного поля вентильного двигателя (ЭУР) в программной среде ELCUT с использованием типа решения «Магнитостатика». Результатом расчетов в среде ELCUT стало распределение магнитного поля в поперечном разрезе. Результат решения представлен на рисунке 1.

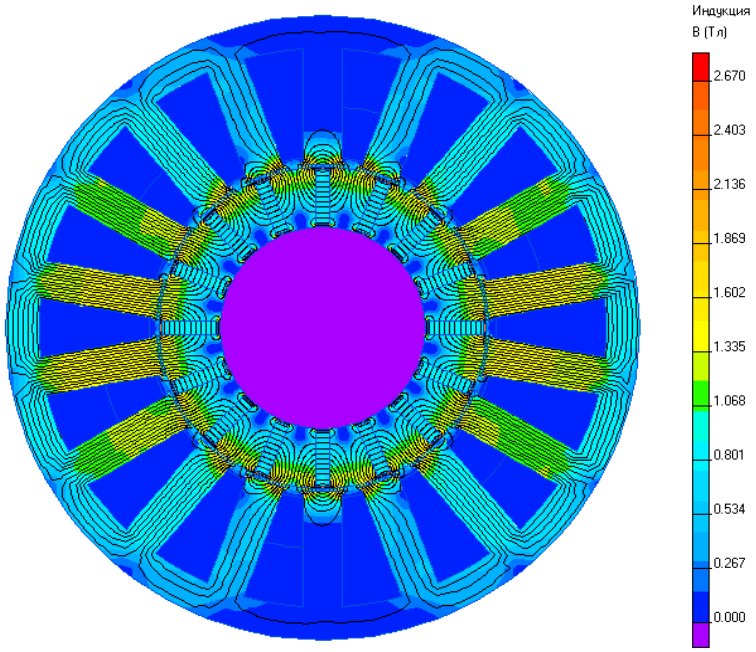


Рис. 1. Распределение магнитного поля в поперечном разрезе вентильного двигателя

Полученные локальные превышения значений индукции являются особенностью данного двигателя и не несут принципиальный характер.

Далее был проведен аналогичный расчет в программной среде ANSYS Maxwell 2D. Результат решения представлен на рисунке 2.:

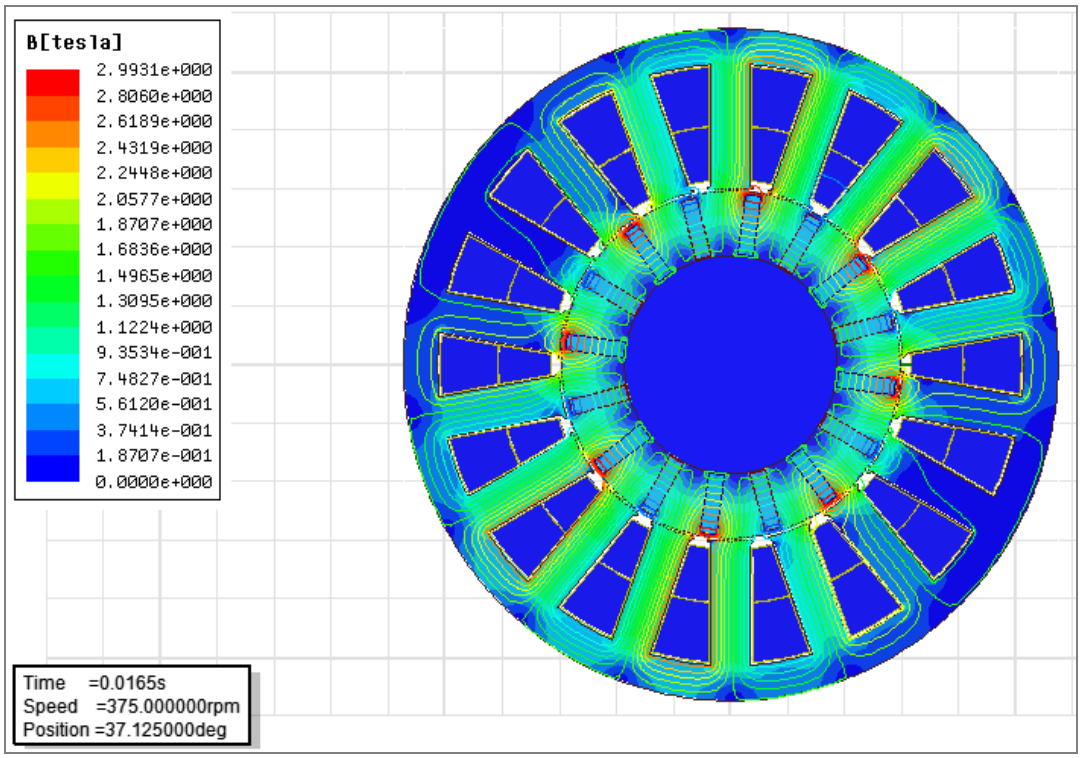


Рис. 2. Распределение магнитного поля в поперечном разрезе вентильного двигателя

Конечная реализация всей схемы моделирования выполнена в среде Simplorer. Блок модели магнитоэлектрического двигателя посредством импортирования из среды Maxwell помещен в среду Simplorer.

Функциональная схема исследуемого вентильного привода представлена на рисунке 3.

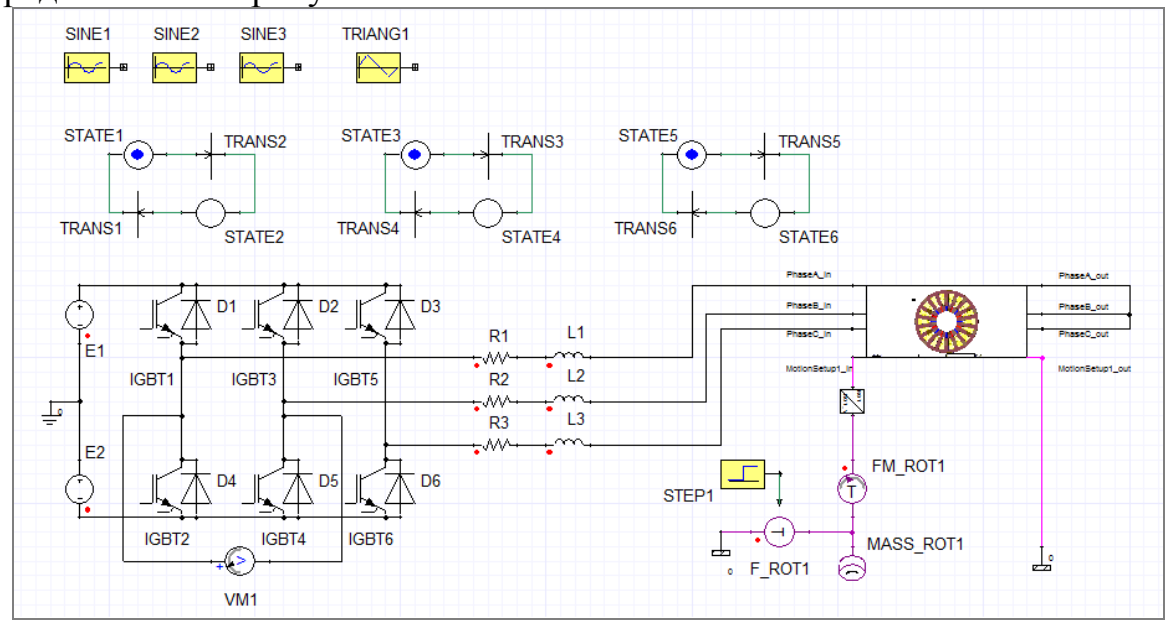


Рис. 3. Схема вентильного привода

Моделирование данной схемы позволяет получить следующие результаты:

- напряжение и ток фазных обмоток;
- электромагнитный момент;
- электрические и магнитные потери;
- текущую позицию вращающихся элементов системы

На рисунке 4 представлены графики напряжений и токов фазных обмоток

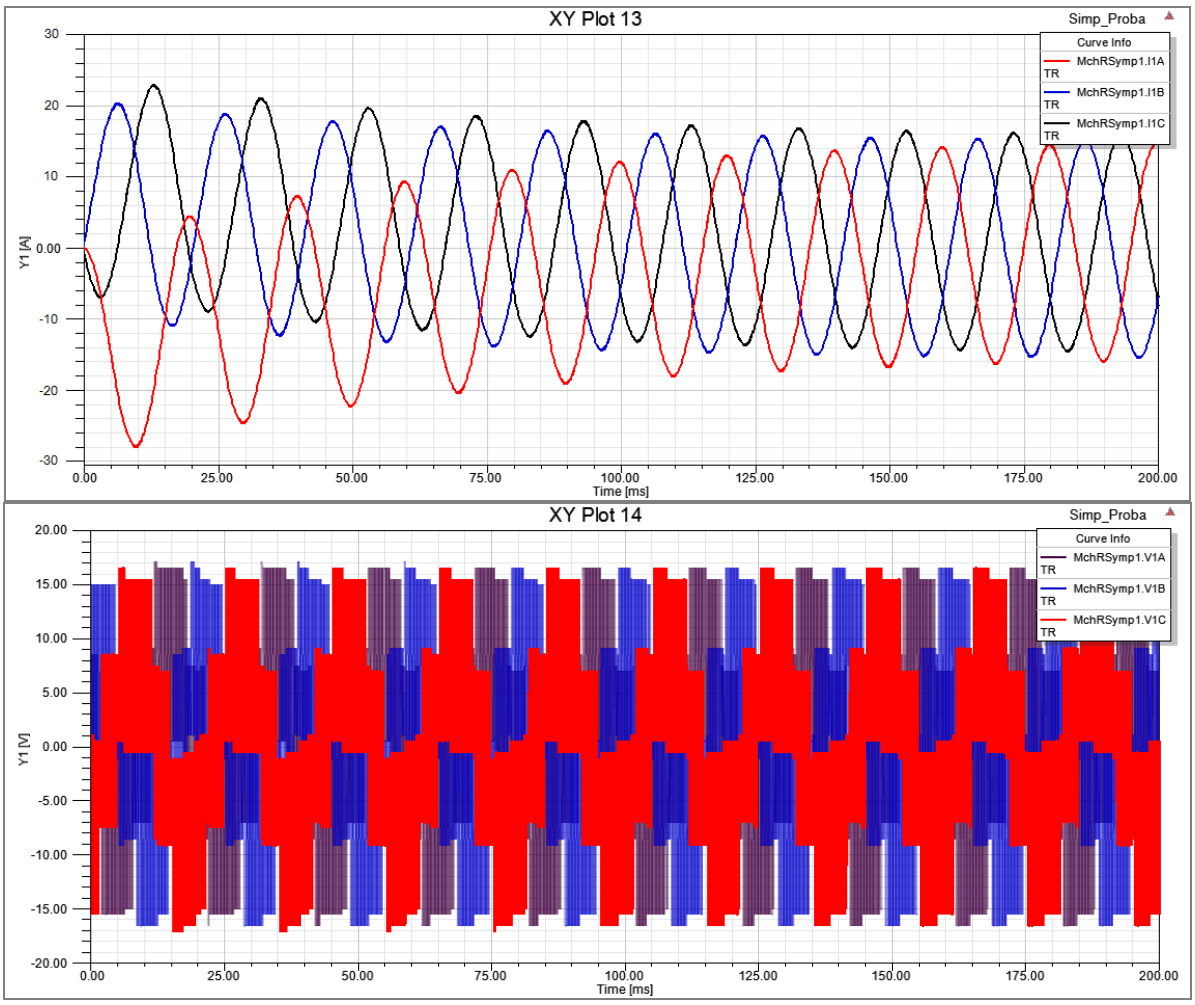


Рис. 4. Графики напряжений и токов фазных обмоток

ЛИТЕРАТУРА

1. Ледовский, А. Н. Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами / А. Н. Ледовский. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 168 с.; ил.

2. Волченсков, В. И. Использование электрического моделирования для анализа состояния магнитной цепи электрических машин с

постоянными магнитами. / В. И. Волченсков // Электронный научно-технический журнал Инженерный вестник. – 2012. - №9. – С. 1-11.

3. Фисенко, В. Г. Численные расчеты электромагнитных полей в электрических машинах на основе метода конечных элементов : учебное пособие по курсу «Электромагнитные расчеты», по направлению «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / В. Г. Фисенко. – Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ). – М. : Изд-во МЭИ, 2002. – 44 с.

ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Володин С.С.
Поволжский Государственный Университет Сервиса, Россия, г. Тольятти

Сегодня ни одна область человеческой деятельности не обходится без применения электричества. При выработке, передаче, распределении и использовании электроэнергии в быту и промышленности необходимы разные уровни напряжения электрического тока. Получение требуемых значений напряжения и его изменение на всех указанных этапах осуществляется с помощью силовых трансформаторов.

Силовые трансформаторы имеют различные конструкции, назначения и требования в эксплуатации, а, следовательно, и характеристики.

Единственными техническими критериями конкурентоспособности в трансформаторостроении являются эксплуатационные и массогабаритные характеристики, на основании которых уже складываются цена трансформатора и стоимость его владения.

В настоящее время для силовых трансформаторов установлены две категории качества. К высшей категории относятся трансформаторы, технико-экономические показатели которых находятся на уровне лучших мировых достижений или превосходят их; к первой категории – трансформаторы, технико-экономические показатели которых находятся на уровне современных требований энергетики и отвечают нормативно-техническим документам. В качестве основных критериев для отнесения трансформаторов к той или иной категории служат: значения потерь холостого хода и короткого замыкания, тока холостого хода, масса трансформатора, отнесенная к единице мощности, и другие показатели.

Одной из важных задач при проектировании трансформаторного оборудования является повышение эффективности использования материальных ресурсов, а именно материалов и энергии. Эта задача

решается в сложном комплексе мероприятий, направленных на экономию активных, изоляционных и конструкционных материалов и на уменьшение габаритов трансформаторного оборудования.

Электрическая прочность изоляции является одной из ключевых характеристик трансформаторов, определяющая его надежность и срок службы в эксплуатации. Размеры и параметры внутренней изоляции существенно влияют на вес и габариты трансформаторов, в связи с этим, наибольший интерес у проектантов высоковольтных трансформаторов вызывают вопросы обеспечения достаточной электрической прочности изоляции, оптимальной ее координацией во внутреннем пространстве, а также расчет параметров перенапряжений различной природы (атмосферных и коммутационных).

Изоляция силовых трансформаторов представляет собой сложную систему, состоящую из различных по назначению и конструкции элементов и узлов. Следует различать внешнюю и внутреннюю изоляцию трансформаторов. К внешней изоляции относится, например, изоляция вводов, соприкасающаяся с атмосферой, воздушные изоляционные промежутки между вводами разных фаз и до заземлённых частей. Внутренняя изоляция трансформаторов разделяется на главную и продольную изоляцию обмоток, изоляцию установки вводов, изоляцию отводов, переключающих устройств и т.д.

Продольная изоляция обмоток – это изоляция между различными точками одной обмотки, между витками, слоями, катушками.

Главная изоляция обмоток – это изоляция от обмотки до магнитопровода, стенок бака и других обмоток (в том числе других фаз).

В настоящее время главная изоляция силовых трансформаторов преимущественно выполняется маслобарьерной. Она заключается в пропитке трансформаторным маслом бумажной изоляции обмотки, электроизоляционного картона и заполнении маслом изоляционных промежутков между элементами обмоток, остовом и баком.

Достоинством маслобарьерной изоляции является более простая технология изготовления обмоток, изоляции, сборки активной части, ее сушки и пропитки маслом. Этими свойствами и обусловлено широкое применение маслобарьерной изоляции. Конструктивно главная изоляция представляет собой комбинацию масляных промежутков с барьерами в виде цилиндров и угловых шайб из электрокартона или кабельной бумаги.

Изоляция трансформаторов в процессе эксплуатации подвергается неограниченно длительному воздействию рабочего напряжения промышленной частоты и кратковременным перенапряжениям различной природы: грозовым (импульсы, длительностью от единиц до десятка микросекунд), коммутационным (импульсы с большим затуханием,

длительностью до нескольких тысяч микросекунд). Поэтому очень важно на этапе проектирования заложить необходимый запас как электрической, так и импульсной прочности внутренней изоляции трансформатора. Также, наряду с необходимым запасом электрической и импульсной прочности, существует потребность в умелом и рациональном использовании материалов, используемых при проектировании, что в целом отражает оптимизацию параметров главной изоляции силовых трансформаторов.

Основной принцип при проектировании внутренней изоляции трансформаторного оборудования высокого напряжения это сравнение расчетных значений с результатами натурных испытаний электрической прочности изоляции, что позволяет уменьшать или увеличивать изоляционные промежутки в зависимости от класса напряжения силового трансформатора.

Расчет параметров изоляции осуществляется поэтапно:

1 Этап. Предварительное определение размеров расчетной модели по параметрам допустимой напряженности в масляных промежутках по данным производителей изоляции.

2 Этап. Создание расчетной модели с точными геометрическими размерами в CAD-системе. После чего модель экспортируется в расчетную программу, использующую МКЭ (метод конечных элементов), где задаются параметры свойства материалов изоляционных деталей распределение напряжения по катушкам для каждой из обмоток.

3 Этап. Определение «значимого» вида испытательного напряжения – полный грозовой импульс (ПГИ), срезанный грозовой импульс (СГИ), коммутационный импульс (КИ), одноминутное напряжение промышленной частоты (ОПЧ). Для этого составляются схемы соединения обмоток и катушек по режимам. Для сравнения импульсных воздействий все напряжения приводятся к одноминутному испытательному напряжению промышленной частоты с помощью коэффициентов приведения: КИ=1,9; ПГИ=2.5; СГИ=2,75.

4 Этап. Расчет параметров перенапряжений выполняется на основании ГОСТ 1516.1, ГОСТ 1516.2, ГОСТ 1516.3. Производиться уточненный расчет распределения напряжений различной природы по всем обмоткам.

5 Этап. Моделирование электростатического поля в программах МКЭ. Уточненный расчет напряженностей электрического поля в масляных промежутках.

6 Этап. Оценка и анализ результатов расчета. После расчета и моделирования наиболее опасных режимов и участков изоляции выполняется оценка результатов расчета по известным критериям:

коэффициент запаса электрической прочности главной изоляции должен быть не менее 1,15; для расчета прочности продольной изоляции обмоток коэффициент запаса составляет 1,2; коэффициент запаса электрической прочности витковой изоляции должен быть не менее 1,0. При выполнении этих условий запас импульсной и электрической прочности расчетной модели обеспечен.

7 Этап. Внесение коррективов в строение главной изоляции. На данном этапе принимается решение о внесении конструктивных изменений в строение конкретных узлов изоляции, при условии, что это необходимо.

8 Этап. Заключительный этап. Обобщенный анализ результатов расчета параметров изоляции трансформатора проводится для всех расчетных участков и расчетных режимов.

На рисунке 1 представлен алгоритм расчета параметров изоляции силового масляного трансформатора.

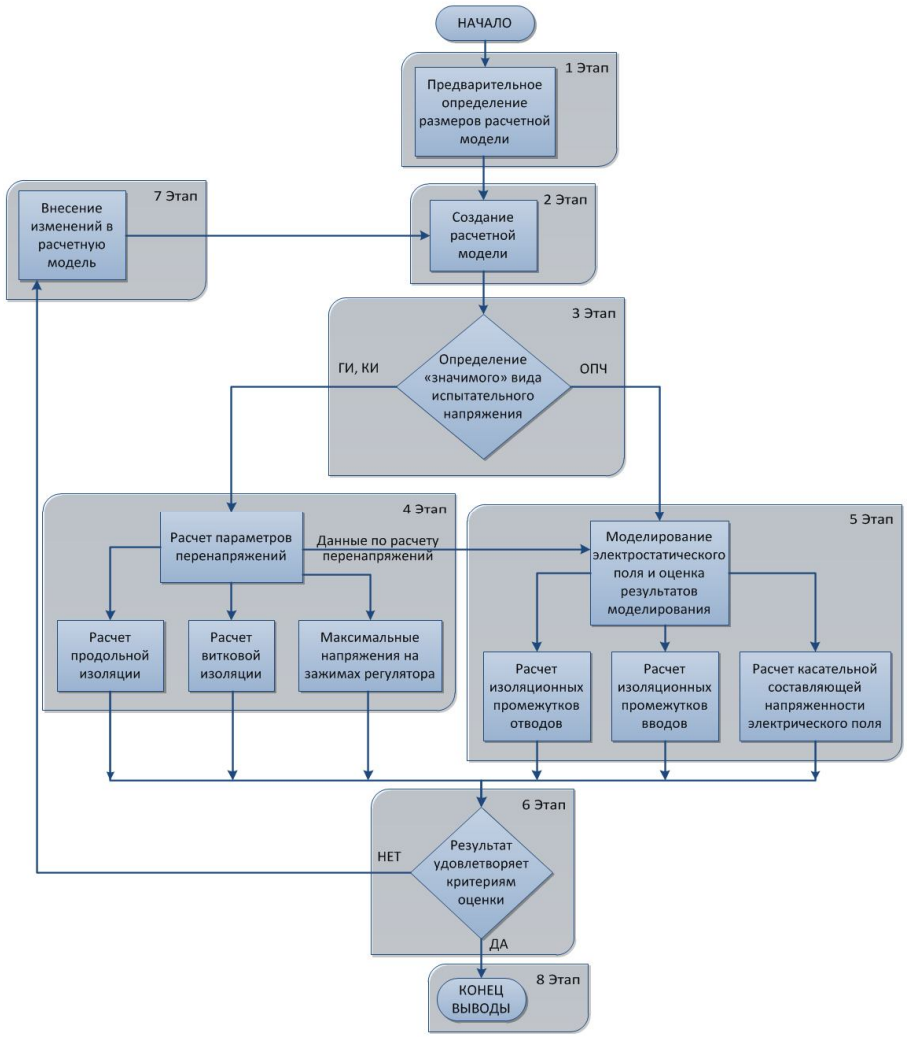


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета параметров изоляции

При расчете параметров изоляции основную сложность вызывают составления схем замещений, в которых учитываются электромагнитные связи между витками, катушками, обмотками при распределении испытательных импульсов различной формы и частоты.

Основных успехов в области расчета и проектирования параметров изоляции и в получении результатов исследований при высоковольтных испытаниях добились ПАО «ВИТ» (Запорожье, Украина), ФГУП ВЭИ (Москва, Россия), Siemens (Германия), Weidmann (Швейцария).

Существующие методики и программы позволяют рассчитывать параметры перенапряжений с учётом детализации схем замещения по катушкам вплоть до витков, что, несомненно, повышает точность проводимого расчета. Однако учёт современных технических решений при расчетах односторонен и не всегда пригоден для анализа принятых нововведений, что в свою очередь сказывается на правильности оценки электрической прочности и последующей корректировке узлов разрабатываемой конструкции силового трансформатора.

Возникает острая необходимость в создании расчетного комплекса, направленного на адаптивный расчет параметров изоляции и схем замещения с возможностью быстро проводить анализ без потери точности расчета, и с возможностью оптимизировать конструкцию на основании полученных результатов.

Такой комплекс существенно облегчит работу проектировщиков-расчетчиков, а также позволит улучшить строение главной и продольной изоляции трансформатора с экономией активных материалов.

Создание расчетного комплекса – ответственная, трудоемкая и крайне важная задача, которая стоит перед автором статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tschudi D.J., “AC Insulation Design. Paper-Oil Insulation Systems”. High Voltage Insulation, WICOR Insulation Conference, Switzerland, Rapperswil, 1996.

2. Желонин В.А., Тарчуткин А.Л., Чорноготский В.М., канд.техн.наук. Основные характеристики программно-методического обеспечения по расчету внутренней изоляции силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов, ОАО «ВИТ», Украина.

3. Ларин В.С. Исследование и разработка эффективного метода расчета электрической прочности внутренней изоляции силовых трансформаторов // Дис. канд. тех. наук. - Москва: 2007, 145 с.

4. Силовые трансформаторы. Справочная книга / Под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. М.: Энергоиздат, 2004. – 616 с.

5. Шнейдер Г.Я. Электрическая изоляция трансформаторов высокого напряжения. – М.: «Знак». 2009. 160. Ил.

ВЫБОР ПРОТОТИПА МАГНИТНОГО ПУСКАТЕЛЯ

Ринчино Ж.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

При выборе прототипа необходимо учитывать технические характеристики выбираемого аппарата, такие как ток, напряжение, режим работы и габариты.

В виду большей экономичности, принимаем в качестве прототипа близкие по параметрам пускатели, т.е. серийные магнитные пускатели, выпущенные на номинальный ток 10А, это магнитные пускатели серии ПМ12, ПМЛ и ПМЕ.

Для принятия решения необходимо рассмотреть параметры магнитных пускателей в отдельности. Определяющим фактором при выборе прототипа является цена и габариты.

Магнитный пускатель серии ПМ12 производится на «Кашинском заводе электроаппаратуры», г. Кашин.

Таблица 1.

Технические характеристики пускателя ПМ12 - 010100

Напряжение, В	220/380
Номинальный ток, А	10
Коммутационная износостойкость, млн. циклов	А – 0.32; Б – 0.1; В – 0,03
Габариты, мм	L=39; H=56; B=104

Преимущества магнитного пускателя ПМ12:

- малые габариты в сравнении с другими отечественными пускателями;
- монтаж под винт или на DIN-рейку;
- длительный ресурс работы;
- возможность увеличения дополнительных контактов;
- защита от прикосновения руками;
- соответствие контакторов и проектируемого магнитного пускателя и КМД:

1. Контакторы и пускатели серии КМД имеют идентичные габаритно установочные размеры с проектируемым магнитным пускателем, поэтому при замене изделий на объектах у потребителей не возникает проблем с установкой;

2. Изделия имеют идентичные установочные размеры для подключения силовой нагрузки, т.е размеры силовых шин, межосевые расстояния, диаметры отверстий в шинах полностью совпадают

3. Пускатели и контакторы за счет идентичных конструкций магнитных систем «прямоходовая ш-образная система», идентичного сечения токоведущих шин, аналогичного способа дугогашения, способны коммутировать одинаковые мощности электродвигателей.

Магнитный пускатель ПМЛ производится на заводе Электроконтактор, г. Москва.

Таблица 2.

Технические характеристики пускателя ПМЛ - 1100

Напряжение, В	220/380
Номинальный ток, А	10
Коммутационная износостойкость, млн. циклов	А – 3; Б – 1.5; В – 0,3
Габариты, мм	L=88; H=92 B=116

Преимущества пускателей ПМЛ:

- наличие единой линейки пускателей и тепловых реле в широком диапазоне токов от 10 до 100 А (в будущем до 400 А);
- наличие самых современных тепловых биметаллических реле на базе единого исполнительного механизма для различных величин (до 93 А) и электронных реле на токи свыше 100 А;
- высокие технические характеристики, подтвержденные результатами испытаний, проведенных в сертификационном центре АНО «Магнит» и ООО «ВНИИР-Прогресс», г. Чебоксары;
- улучшенный дизайн, единая цветовая гамма на всю линейку;
- выгодное сочетание цена-качество;
- в отличие от пускателей старых серий ПМЛ и ПМ12: пускатели ПМЛ устойчивы к воздействию импульсного напряжения, равного 8 кВ, и в комбинации с аппаратом защиты от коротких замыканий (АЗКЗ) выдерживают воздействие ожидаемого испытательного тока короткого замыкания до 1 кА, обеспечивают координацию типа 1 по ГОСТ Р 50030.4.1-2002;
- пускатели ПМЛ имеют привлекательный внешний вид и современный дизайн, а также отвечают перспективному уровню мирового электроаппаратостроения, соответствуют всем требованиям новых

стандартов и способны конкурировать на рынке с аналогичными образцами как отечественного, так и зарубежного производства.

Магнитный пускатель ПМЕ производится на заводе «УралЭлектроКонтактор», г. Медногорск.

Таблица 3.

Технические характеристики пускателя ПМЕ - 211

Напряжение, В	220/380
Номинальный ток, А	10
Коммутационная износостойкость, млн. циклов	А – 2; Б – 1; В – 0,3
Габариты, мм	L=78; H=74; B=64

Преимущества:

- малые габариты в сравнении с другими отечественными пускателями
- монтаж под винт или на DIN-рейку
- длительный ресурс работы
- возможность увеличения дополнительных контактов
- наличие тепловой защиты (от токовых перегрузок недопустимой продолжительности).

Сведем все данные (габариты, цена и коммутационные способности) магнитных пускателей в таблицу 4.

Таблица 4.

Данные магнитных пускателей

Пускатель	Коммутационные способности, млн. циклов			Габариты, мм			Цена, руб.
	А	Б	В	В	L	H	
ПМ12-010100	0.32	0.1	0.03	39	56	104	238
ПМЛ 1100	3	1,5	0,3	88	92	116	245
ПМЕ 211	2	1	0,3	64	78	74	450

Вывод: исходя из критериев выбора, по габаритам и по цене магнитного пускателя, выбираем в качестве прототипа магнитный пускатель серии ПМ12.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт http://www.energocom.net. - ООО «Энергетическая промышленная компания»
2. Сайт http://www.expoelectro.ru – ООО «Экспонента»
3. Сайт http://www.elektrostyle.ru – ООО «Электростиль»

4. Сайт http://www.elektro.ru – Электротехнический Холдинг «ЭлектроКомплектСервис»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Кунулеков Д.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Повышение эксплуатационной надежности силовых трансформаторов приобретает все большую актуальность в связи со старением парка трансформаторов и выработкой определенного стандартами минимального (25лет) срока их службы.

Поэтому одной из актуальных задач повышения надежности и качества функционирования электрических систем является оценка эксплуатационной надежности для учета ее при проектировании и совершенствования системы технического обслуживания и ремонта трансформаторов.

Появление и внедрение системы планово-предупредительного ремонта (ППР) электрооборудования исторически увязывается с усложнением конструкции оборудования. Это объективная реальность. Усложняется оборудование – повышаются эксплуатационные требования производителя, которые, в свою очередь, повышают нагрузку на ремонтные службы. Отличительной особенностью нашей системы ППР является формальный учет времени работы оборудования, которое принимается за основу при формировании ремонтного цикла, что создает обманчивое впечатление относительно истинного состояния по износу оборудования в процессе эксплуатации. Оценка технического состояния оборудования в процессе эксплуатации производиться с упором на благополучие механической составляющей, которая лишь одна из составляющих частей конструкции, особенно для силовых трансформаторов. В современных условиях эксплуатации поддержание работоспособности силовых трансформаторов обеспечивается только с помощью ППР, которая не учитывает конкретных условий эксплуатации, нет увязки ремонтных циклов с показателями надежности, и имеет сравнительно высокую трудоемкость технического обслуживания. К настоящему времени в области эксплуатации силовых трансформаторов сложилась ситуация, характеризующаяся тем, что разработки, связанные с повышением надежности не полностью оправдывают себя, не достигнут

требуемый уровень безотказности, а применяемые мероприятия не дают должного эффекта. Одна часть деталей и сборочных единиц трансформатора отказывают до наступления плановых сроков ремонта, другая часть, оказавшаяся в более благоприятных условиях и полностью работоспособная, направляется на ремонт преждевременно, в соответствии с планом. Все это приводит к дополнительным тратам.

Решение обозначенных проблем является актуальным и представляет научный и практический интерес.

Для моделирования эксплуатационной надежности силовых трансформаторов необходимо решить следующие задачи:

Изучение дефектов влияющих на надежную работу трансформатора;

Анализ аварийных отключений и анализ повреждаемости трансформаторов;

Разработка алгоритма математической модели оценки надежности;

Расчет эксплуатационной надежности силовых трансформаторов.

В табл. 1 приведены усредненные данные, собранные в ходе прохождения практики на ТЭЦ-3 АО «Павлодарэнерго» и ТЭЦ-1 ОАО «АЛЮМИНИЙ КАЗАХСТАНА», г. Павлодар за значительный промежуток времени. Эти данные свидетельствуют о том, что недостаточна витковая изоляция и электродинамическая стойкость обмоток (плохая расклиновка), часто повреждаются переключатели отводов и вводы.

Таблица 1.

Наиболее слабые и часто повреждаемые узлы

Поврежденный узел	Число повреждений, %
Междуфазная изоляция	4,45
Обмотки и изоляция (из-за динамических усилий)	15,55
Витковая изоляция	22,23
Переключатели ответвлений	13,33
Активная сталь	2,23
Вводы	17,77
Отводы	2,23
Токоведущие части	6,66
Бак	6,66
Радиаторы	2,23
Прочие	6,66
Итого	100

Одним из важных способов получения информации о надежности технических изделий являются сбор и статистическая обработка данных об износе и отказах, происшедших в процессе эксплуатации. Решаются следующие задачи:

Определения вида функции плотности распределения или интегральной функции распределения.

Вычисление параметров полученного распределения.

Установление с помощью критериев согласия степени совпадения эмпирического с предполагаемым теоретическим распределением.

Законы распределения случайных величин практически могут быть получены: путем аналитического исследования и путем обработки данных эксперимента.

Процедура нахождения математической модели закона состоит из двух этапов: выдвижение гипотез и проверки соответствия выдвинутых гипотез имеющимся данным.

Наиболее распространенными теоретическими распределениями являются нормальное распределение, экспоненциальное, логарифмически-нормальное, Вейбулла и гамма-распределение.

Для подбора вида теоретического распределения, совпадающего в наибольшей степени с полученным эмпирическим, чаще всего применяется метод максимума правдоподобия или метод наименьших квадратов, причем последний применяется для определения параметров распределения при полных выборках.

Для оценки степени совпадения эмпирической и теоретической кривых распределения применяются так называемые критерии согласия: критерий Пирсона или критерий Колмогорова. В критерии Колмогорова исходные данные представляются в виде упорядоченной статистической совокупности. Мерой близости сопоставляемых распределений является величина максимального расхождения гипотетической и статистической интегральных функций.

Оценка по критерию Пирсона (аналитический метод). Процесс аналитической оценки закона распределения разбивается на два этапа: построения гистограмм и кумулятивных кривых и проверку допустимости принятого закона распределения отказов по критериям согласия.

Гистограмма, составленная из прямоугольников, аппроксимируется кривой, по виду которой предварительно устанавливается закон распределения отказов путем визуального сравнения с теоретическими кривыми.

График накопленных частот и соответствующая ему кумулятивная кривая строятся по данным таблицы, которую необходимо заполнить по данным отказа трансформатора. Накопленные частоты получаются в

результате последовательного сложения следующих друг за другом частот. Кумулятивная кривая имеет более плавный характер, чем гистограмма.

Далее проверяются совпадения эмпирической кривой распределения выбранной теоретической по критерию Пирсона. Полученные значения критерия сравниваются с табличными значениями для соответствующей доверительной вероятности и числа степеней свободы. Если рассчитанное значение меньше табличного, то гипотеза об идентичности эмпирического и теоретического законов принимается, в обратном случае гипотеза отвергается и проверяется иной закон.



Рис. 1. Алгоритма математической модели оценки надежности

Данный алгоритм был реализован и получены данные наработки на отказ. Полученные результаты будут использованы при проектировании, изготовлении и эксплуатации трансформаторов, а также для принятия решения при работе с оборудованием, исчерпавшим свой нормативный ресурс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Н. Л. Сборник задач по надежности электрических машин: учеб. Пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 407 с.

2. Цирель Я. А., Поляков В. С. Эксплуатация силовых трансформаторов на электростанциях и в электросетях. – Электроатомиздат, 1985. – 264с.

3. РД 153-34, 0-46, 302-00 «Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования».

4. Лапин А.Н. Основы автоматического проектирования электрических устройств: учебное пособие. – Иваново, 1994. – 251 с.

ПРИБОР ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ОХЛАЖДЕНИЯ И МЕТОДИКА ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Файзуллин Р. Р.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время в машиностроении большое количество деталей изготавливается из медных сплавов - бронз. Там где от таких сплавов требуются повышенные прочностные характеристики, применяется никелевая бронза. Однако из-за её высокой дороговизны количество применяемых в промышленности марок никелевых бронзы крайне ограниченно, а сами никелевые бронзы слабо исследованы. Вместе с тем высокий предел прочности на разрыв и хорошие триботехнические характеристики делают эти сплавы в ряде случаев просто незаменимыми.

Сотрудниками кафедры МТМ ТПУ проводятся экспериментальные работы по выявлению закономерностей влияния условий кристаллизации на структуру и свойства таких никелевых бронз. В ходе проводимых исследований, было показано, что скорость охлаждения влияет на структуру и свойства таких бронз. Кроме того, скорость охлаждения не постоянна по всему сечению отливки, что дает различную структуру по сечению. Уже имеющиеся данные в литературе содержат лишь качественные данные об этом. В результате появилась задача количественной оценки влияния скорости охлаждения.

Для решения поставленной задачи сотрудниками кафедр ПМЭ и МТМ ТПУ был создан прибор для построения зависимостей температуры охлаждаемой отливки от времени – «Термограф» (Рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид прибора «Термограф»

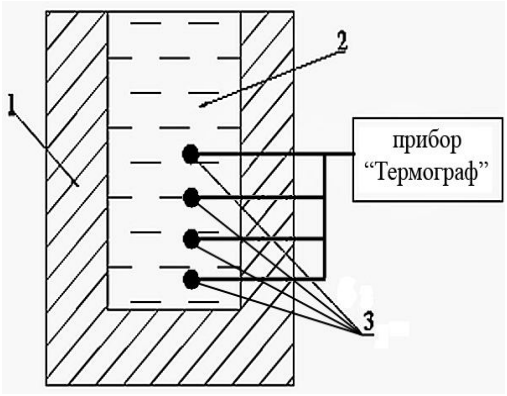


Рис. 2. Схема проведения испытаний, 1 – литейная форма; 2 - расплав; 3 - хромель-алюмелевые термопары

Прибор имеет 8 хромель-алюмелевых термопар. Регистрация значений термо-э.д.с. термопар ведется с помощью высокоскоростного прибора «Термограф». Значение термо-э.д.с. преобразуется с помощью аналогово-цифрового преобразователя и записывается в память прибора. Прибор способен регистрировать до 40 значений термо-э.д.с. в секунду. Далее обработка результатов и построение графических зависимостей осуществляется на персональном компьютере при помощи программы «TermoXp».

Таким образом, в данной работе изучалось неравномерность охлаждения отливок, а так же определялись скорости охлаждения материала в различных сечениях отливки. Исследуемые бронзы выплавляли в высокочастотной индукционной тигельной печи ВЧГ2-100/0,66 из технически чистых компонентов в тигле из графита. Состав шихты исследуемой бронзы приведен в таблице 1.

Таблица 1.

Содержание элементов % масс

Марка бронзы	Содержание элементов, % масс			
	Sn	Ni	Cu	Раскислитель
БрОН10-20	10	20	69.5	0,5

Раскисление проводилось фосфористой медью перед закладкой никеля и олова в расплав. Температуру заливки исследуемой бронзы составляла 1170°С и контролировалась быстродействующим оптическим пирометром ТПТ-90 с лазерным наведением по графитовой таблетке на поверхности расплава.

Бронзу БрОН10-20 заливали в графитовую литейную форму с соотношением массы отливки к массе формы 1:2,5. После заливки в холодные графитовые формы при температуре 25°С, они охлаждались на воздухе. Отливка представляла собой цилиндр с диаметром 18 мм и высотой 70 мм.

При построении кривых, хромель-алюмелевые термопары (с диаметром проволок 0,3 мм) располагали на расстоянии 6 мм от стенки формы (рис. 2.) в соответствии с рекомендации, данными в работе [1]. По высоте термопары располагались – первая на расстоянии 3 мм от дна отливки, остальные на расстоянии 3 мм друг от друга (рис. 2) Погрешность при измерении и преобразовании сигнала в цифровой вид, при использовании хромель-алюмелевых термопар составляет при температурах выше 500ºС менее 1ºС [2]

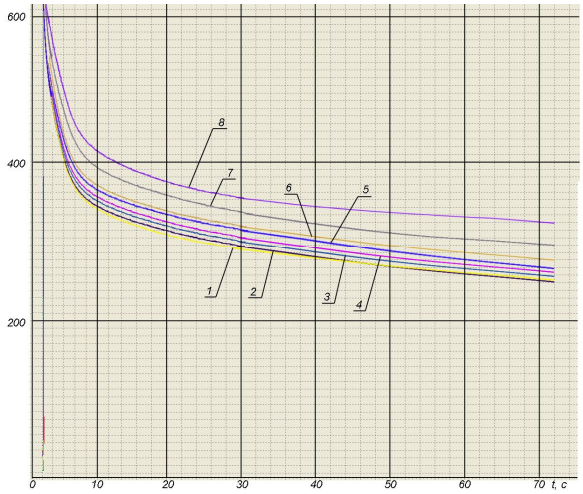


Рис.3. Зависимости температуры отливки от времени

На рис. 3 представлены кривые охлаждения никелевой бронзы при отливке в графитовый кокиль, построенные с помощью прибора «Термограф» и компьютерной программы «TermoXp». Номер кривых указывает на их удаленность от дна отливки (рис. 2). Так кривая 1 соответствует положению термопары на расстоянии 3мм от дна, кривая 2 – 6 мм, кривая 3 – 9мм и так далее.

По построенным зависимостям в интервале от температуры заливки (1170°С) до 800°С, (включающем кристаллизацию), определили среднюю

скорость охлаждения (табл. 2). Такой выбор интервала обусловлен близкой к линейной зависимостью температуры отливки от времени в нем.

Анализируя полученные результаты можно увидеть, что удаление от края отливки в осевом направлении, в соответствии с классическими представления о кристаллизации слитка, приводит к падению скорости охлаждения. Из таблицы 2 видно, что в приповерхностной зоне скорость охлаждения максимальна и составляет 160ºС/с. С удалением от донной части отливки скорость снижается.

Таблица 2.

Скорости охлаждения отливки в различных её сечениях

Номер термопары	Удаление от нижней части отливки, мм	Скорость охлаждения, ºС/с
1	3	160
2	9	158
3	12	154
4	15	150
5	18	146
6	21	143
7	24	138
8	27	134

По итогам проделанной работы можно сделать следующие выводы и заключения:

1. Отработана методика определения скоростей охлаждения сплавов с использованием разработанного прибора. Показано что для никелевых бронз оптимальным является измерение скорости охлаждения в интервале от температуры заливки (50-70°С) выше линии ликвидуса до 800°С.

2. Определены численные значения скоростей охлаждения в различных сечениях отливки из никелевой бронзы при литье в графитовую литейную форму. Показано, что разность скоростей охлаждения в приповерхностных и центральных слоях в данном случае может достигать 15-17%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барановский Э. Ф., П. В. Севастьянов, Идентификация теплообмена при литье металлов и сплавов. – Физико-технический институт АН БССР. — Минск: Наука и техника, 1989. — 189 с.

2. Граменицкий Е.Н., Котельников А.Р., Батанова А.М., Щекина Т.И., Плечов П.Ю., Экспериментальная и техническая петрология. — М.: Научный Мир, 2000. - 416 с.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРИВОДА ДИСКОВЫХ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ЗАДАННЫМ БЫСТРОДЕЙСТВИЕМ

Шараевский А.А., Баранов П.Р.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Асинхронные двигатели со встроенными дисковыми тормозными устройствами, выполненные в виде единой конструкции (их еще называют «тормозные двигатели»), широко используются в подъемно-транспортном машиностроении, станкостроении и т.д. Основным достоинством таких двигателей является компактность и малый вес по сравнению с комплексами, содержащими отдельно двигатель и механический тормоз. В обозначении данной конструктивной модификации серийных двигателей, содержащих нормально замкнутый (закрытый) дисковый тормоз, содержится буква «Е» [1, 3, 6].

В связи с объединением в единую конструкцию двух противоположных по назначению технических объектов – «двигатель» и «тормоз», логично предположить, что чем продолжительнее наложение по времени рабочих циклов этих объектов, тем хуже технико-экономические показатели всего устройства. Например, в момент включения двигателя фрикционные поверхности тормоза какое-то время еще остаются замкнутыми, то затягиваются пусковые токи двигателя, фрикционные поверхности тормоза подвергаются повышенному износу. Это приводит к снижению допустимого числа пусков в единицу времени, более частому обслуживанию тормоза. С другой стороны, если между окончанием рабочего цикла одного объекта и началом рабочего цикла другого объекта пройдет достаточно большой промежуток времени, то это также влечет ухудшение технических показателей устройства. Например, запаздывание тормоза после отключения двигателя может привести к относительно длительному выбегу вала электропривода, т.е. недопустимой просадке груза в электротали, либо усугубление аварийной ситуации в обрабатывающем центре и т.д.

Поэтому идеальным тормозным двигателем, с точки зрения его эксплуатации, следует считать такой, в котором момент подачи напряжения на двигатель совпадает с началом размыкания фрикционной поверхности тормоза, а момент отключения – с моментом начала торможения. Приблизить реальный двигатель с тормозом к показателям идеального может только электромагнитный привод с гарантированным быстродействием.

Целью данной работы является разработка методики расчета электромагнитного привода, в которой параметры растормаживающего электромагнита увязаны с заданным быстродействием (временем трогания).

При выводе основных соотношений воспользуемся следующими известными допущениями [2, 3, 5]: противодействующее усилие якоря постоянно на протяжении всего рабочего хода; распределение индукции в воздушном зазоре равномерно; потоки рассеяния и выпучивания отсутствуют. Погрешность от введения таких допущений будет незначительна, так как растормаживающий электромагнит выполняется короткоходовым, величина воздушного рабочего зазора δ обычно изменяется в диапазоне от 0,5 до 1,5 мм, а наружный диаметр магнитопровода превышает 100 мм.

При подключении постоянного напряжения к обмотке электромагнита, при условии ненасыщенной магнитной системы, уравнение электрической цепи будет выглядеть:

$$U = Ri + L\frac{di}{dt}, \qquad (1)$$

где U – напряжение сети постоянного тока;

R – активное сопротивление обмотки;

L – индуктивность обмотки при номинальном рабочем зазоре δ;

i – переходное значение тока.

Решим уравнение относительно тока при нулевых начальных условиях:

$$i(t) = \frac{U}{R}(1 - e^{-t/T}), \qquad (2)$$

где T – постоянная времени электромагнита при номинальном рабочем зазоре δ, которую можно определить по формуле:

$$T = L/R . \qquad (3)$$

При заданном быстродействии, либо значении времени трогания (tтр) и минимальном напряжении сети величину тока трогания (при этом токе сила электромагнитного притяжения равна противодействующей силе возвратных пружин электромагнита) можно определить:

$$I_{\text{тр}} = \frac{k_c U}{R}(1 - e^{-t_{\text{тр}}/T}). \qquad (4)$$

Тогда величина магнитодвижущей силы (МДС) определится по аналогии:

$$F_{\text{тр}} = \frac{k_c U w}{R}(1 - e^{-t_{\text{тр}}/T}), \qquad (5)$$

где w – число витков обмотки электромагнита.

Известно, что сопротивление обмотки можно определить по формуле:

$$R = \rho\theta\, l\, w / s_{пр}, \qquad (6)$$

где $\rho\theta$ – удельное сопротивление материала обмоточного провода при рабочей температуре θ;

l – средняя длина витка обмотки;

$s_{пр}$ – сечение обмоточного провода.

Тогда с учетом (5) и (6) можно получить:

$$F_{\text{ò}\partial} = \frac{k_c U s_{i\partial}}{\rho_\theta l}(1 - e^{-t\text{ò}\partial / T}). \qquad (7)$$

В полученной формуле необходимо определить сечение проводника $s_{пр}$, обеспечивающую заданное быстродействие при известном противодействующем усилии. Для этого необходимо получить выражения для значений l, T, Fтр.

Рассмотрим конструкцию растормаживающего электромагнита (рис. 1). Как и электродвигатель, он имеет цилиндрическую форму, бронированную конструкцию, два полюса. В радиальном направлении электромагнит ограничен лишь габаритами электродвигателя, а в осевом направлении размеры жестко ограничены условиями охлаждения. Для равномерного распределения тягового усилия и индукции в полюсах площади наружного и внутреннего полюса принимаются одинаковыми (обозначения геометрических размеров соответствуют аналогичным на рис. 1):

$$S_{\text{Ì}} = \frac{\pi}{4}(d^2 - d_{\text{à}}^2) = \frac{\pi}{4}(D_{\text{Ì}}^2 - D^2). \qquad (8)$$

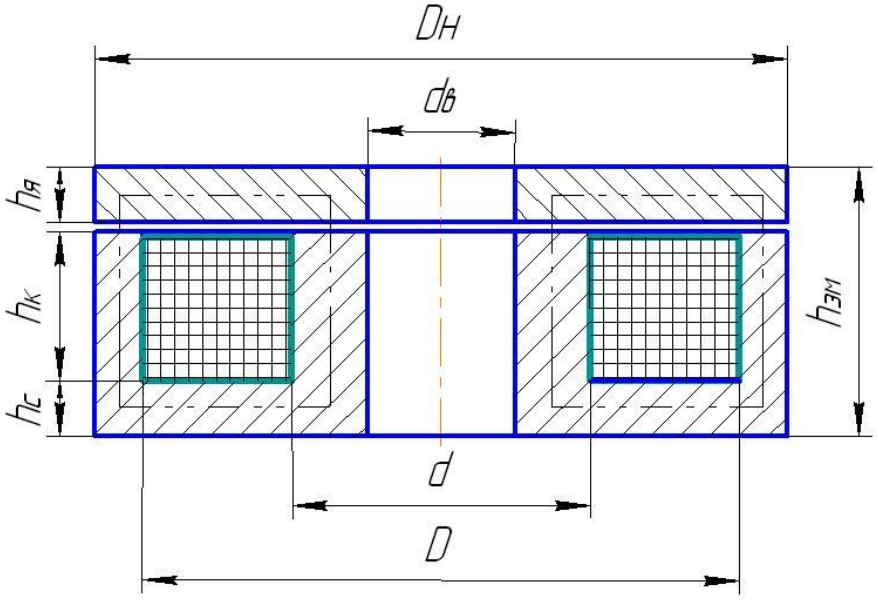


Рис. 1. Эскиз растормаживающего электромагнита в разрезе

Площадь одного полюса можно получить с помощью известной формулы максвелла [3,4]

$$S\Pi = Q\text{пр}\mu 0 / B\delta 2 , \qquad (9)$$

где Qпр – противодействующее усилие пружин электромагнита;

μ0 - магнитная проницаемость вакуума;

Bδ2 – магнитная индукция в воздушном зазоре.

Габаритные размеры DH , dв , hэм определяются после конструкторской проработки базового асинхронного двигателя. Кроме того, определяется диапазон предпочтительных значений токов в номинальном режиме, которые определяют габариты и стоимость схемы управления и выпрямления. Тогда неизвестные размеры под катушку определятся по формуле:

$$d = \sqrt{d_{â}^{\ 2} + 4S_{Ï} / \pi} ; \qquad D = \sqrt{D_{Í}^{\ 2} - 4S_{Ï} / \pi} . \qquad (10)$$

При отсутствии потоков рассеяния, из известной формулы для потокосцепления с учетом выражений (3) и (6) можно получить соотношения для постоянной времени обмотки через электромагнитные параметры магнитной цепи:

$$T = \frac{B_{\delta} S_{Ï} s_{ïð} w}{F_{ðð} \rho_{\theta} l} . \qquad (11)$$

В полученной формуле (11) присутствуют три неизвестные искомые величины: МДС трогания (Fтр), параметры обмотки – сечение провода (sпр) , число витков обмотки (w). Величину МДС при рабочем зазоре δ можно определить с помощью расчета магнитной цепи при известном материале сердечника и якоря электромагнита, известных геометрических размерах и индукции в воздушном зазоре (рис. 1). Схема замещения магнитной цепи представлена на рис. 2.

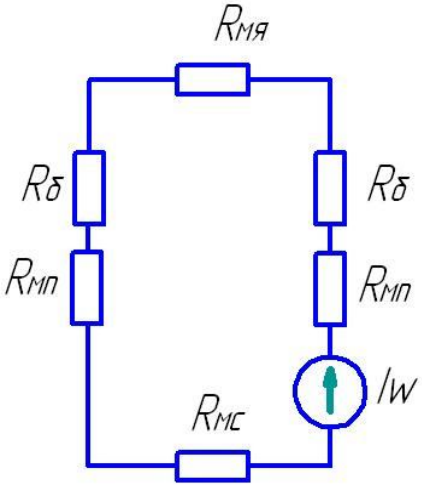


Рис. 2. Схема замещения растормаживающего электромагнита при расчете магнитной цепи

Обозначение участков магнитной цепи на рис. 2 соответствуют аналогичным обозначениям участков на рис. 1.

Число витков обмотки можно определить по величине МДС удержания, необходимой для удержания якоря в притянутом положении якоря с остаточным зазором δ0 . Схема замещения магнитной цепи аналогична, только величина воздушного зазора значительно уменьшилась. Считаем, что в номинальном режиме к обмотке приложено такое напряжение, достаточное для удержания якоря в притянутом положении. Тогда число витков равно:

$$w = Fy/ Iy , \qquad (12)$$

где Iy – ток в обмотке в номинальном режиме.

Получим выражение для постоянной времени электромагнита, используя выражения (11), (12), а также (8) соответственно:

$$T = \frac{B_\delta S_Ї F_ó s_{ïð}}{\rho_\theta l F_{òð} I_ó} . \qquad (13)$$

Решим, полученную ранее формулу (7) относительно времени трогания T и приравняем полученное выражение с выражением (11):

$$\frac{B_\delta S_Ї F_ó s_{ïð}}{\rho_\theta l F_{òð} I_ó} = \frac{t_{òð}}{\ln(\frac{k_c U s_{ïð}}{k_c U s_{ïð} - F_{òð}\rho_\theta l})} . \qquad (14)$$

Уравнение (14) содержит одно неизвестное snp и относится к разряду трансцендентных, которые, как известно [7] , решений в общем виде не имеет. Предлагается два способа решения уравнения (14): графический метод, либо метод применения специальных программ для компьютера, определяющих неизвестное значение численным методом.

При решении уравнения (14) следует определить область исходных данных, при которых с помощью указанного уравнения можно получить вещественные значения сечения провода обмотки:

$$s_{ïð} > \frac{F_{òð}\rho_\theta l}{k_c U} .$$

После определения величин snp и T округляем сечение провода до ближайшего табличного значения (snpт). Для уточнения числа витков получим соответствующую формулу с учетом (13) и (12):

$$w = \frac{T\rho_\theta l F_{òð}}{\hat{A}_\delta S_Ї s_{ïðò}} .$$

Полученное значение числа витков и сечения провода обмотки обеспечит требуемое быстродействие электромагнита (tтр). Рис. 3 иллюстрирует графическое решение, выполненного для расчета

обмоточных параметров электромагнитного привода асинхронного двигателя мощностью 15 кВт.

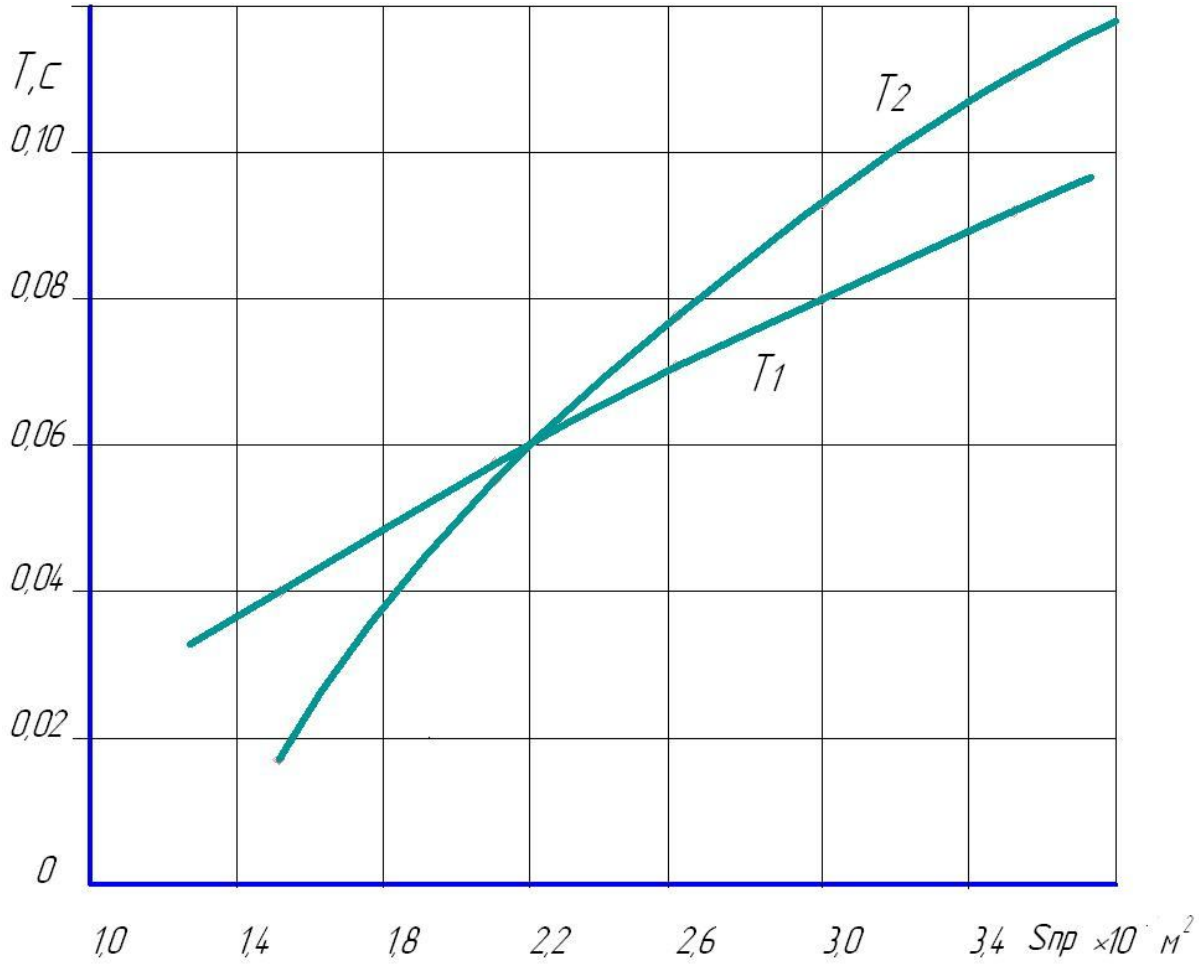


Рис. 3. Графическое определение сечения обмоточного провода электромагнита

Для наглядности, на рис. 3 представлены две зависимости T1 = f(snp) и T2 = f(snp), которые описывают левую и правую часть уравнения (14) соответственно. Пересечение этих кривых в точке с координатами: T = 0,06 с (постоянная времени), snp = 2, 2 мм2 (сечение провода), дает значение параметров электромагнита, обеспечивающие заданное быстродействие.

Более точное и оперативное решение таких уравнений обеспечивают программы MathCad, MatLab и другие прикладные программы.

После определения обмоточных параметров обмотки рассчитывается осевая высота катушки hк (рис. 1). Для этого необходимо разместить витки в окне сердечника, учитывать технологические размеры в

радиальном и осевом направлении, который в электрических аппаратах имеет наименование «распушовка».

Рассчитанный вариант электромагнита необходимо проверить на нагрев. Методика такого расчета зависит от режима работы асинхронного двигателя с тормозным устройством.

Выводы.

1. Теоретическую основу предложенной методики расчета составляют выражения, полученные для расчета параметров растормаживающих электромагнитов и элементов схемы управления. Выражения получены с учетом специфики конструкции асинхронного двигателя со встроенным тормозом, заданного быстродействия электромагнитного привода.

2. Даны рекомендации и получены выражения для определения области исходных данных и независимых переменных при расчете электромагнитного привода, удовлетворяющих требованиям быстродействия и специфики конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиханян К.А. Проектирование асинхронных двигателей со встроенным электромагнитным тормозом // Электротехника. – 1984.- № 7. – С. 55-56.

2. Баранов П.Р., Гринберг В.С. Выбор схемы включения двухобмоточного электромагнита // Электричество. – 1986. - № 4. – С. 47-49.

3. Соленков В.В., Гринберг В.С., Гусельников Э.М. Расчет электромагнита с форсировкой для электродвигателей со встроенным тормозом //Электрооборудование автоматизированных установок. – Томск: Изд-во ТГУ, 1980. – С. 59-63.

4. Сливинская А.Г. Электромагниты и постоянные магниты. - М.: Энергия, 1972.- 247с.

5. Тер-Акопов А.К. Динамика быстродействующих электромагнитов. – М. –Л.: Энергия, 1965. – 168 с.

6. Унифицированная серия асинхронных двигателей Интерэлектро //Радин В.И., Лондин Й. , Розенкноп В.Д. и др.; Под ред. В.И. Радина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 416 с.

7. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука, 1986. – 544 с.

ОСНОВНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРАМВАЕВ

Калугин В.М.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Трамвай является одним из распространенных средств общественного транспорта в городской транспортной системе России. Основная задача трамвая - это осуществление пассажироперевозок и обеспечение высокого уровня комфорта пассажиров. Отказы оборудования трамвая приводят не только к экономическим потерям. Также может произойти внезапная остановка на путях, что нарушит график перевозки пассажиров и может негативно повлиять на движение общественного транспорта, тем самых увеличивая количество транспортных заторов и создавая аварийную ситуацию. Поэтому необходимо обеспечить бесперебойную работу данного транспортного средства. В виду этого целесообразно обеспечить надежность трамвая и его основных узлов.

Исправное состояние и надежность трамвайных вагонов обеспечивается за счет своевременного и полного выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава. Причиной дополнительных затрат на ремонт и обслуживание отечественных трамваев является наличие существенных конструктивных недостатков трамваев. В связи с этим актуальна не только проблема повышения надежности, но и также, продления срока службы трамвайных вагонов и, как следствие, сокращения затрат на их ремонт.

Целью статьи является анализ основных неисправностей электрооборудования трамваев по данным эксплуатации.

Важным шагом для рассмотрения проблем, поставленных в статье, является сбор информации. Были проанализированы данные по неисправностям основных узлов трамвая 71-619 КТ (КТМ-19). Информация получена при прохождении научно-производственной практики в Томском трамвайно-троллейбусном управлении.

Надежность является сложным свойством и зависит от различных факторов. Эти факторы условно можно разделить на четыре группы: конструктивные, производственные, монтажные, эксплуатационные. Как показывает опыт эксплуатации, наибольшее влияние на надежность производят эксплуатационные и монтажные факторы [1].

Анализ полученных данных показал, что наибольшее количество неисправностей, вызванными факторами перечисленными выше, приходится на электрооборудование, тормозное оборудование и

механические части. Диаграмма отказов узлов трамвайного вагона представлена на рис. 1.



Рис. 1. Отказы основных узлов трамвайного вагона в %

Опыт эксплуатации трамваев показывает, что наиболее повреждаемыми узлами являются элементы электрооборудования, тормозного оборудования и механические части. Это подтверждается анализом данных по отказам трамвайных вагонов этой серии. Чаще всего неисправности происходят в электрооборудовании (доля отказов от общего числа составляет 50,34%), тормозном оборудовании (доля отказов от общего числа составляет 41,33%), механических частей(доля отказов от общего числа составляет 4,82%). Как видно, наиболее проблемными узлами являются тормозное оборудование и электрооборудование.

Рассмотрим подробнее отказы электрооборудования на примере на примере трамвая модели 71-619 КТ (КТМ-19). Проанализировав данные по отказам электрооборудования можно сделать вывод, что чаще всего отказы происходят из-за неисправностей тягового двигателя и пантографа. В качестве тягового электродвигателя на трамвае 71-619 КТ (КТМ-19), используется тяговый двигатель российского производства, марки ЭК-252. На рис. 2 показана динамика выхода из строя тягового электродвигателя в зависимости от времени года (месяца). Использовались данные по отказам двигателей в период с января 2012 года по декабрь 2012 года, где m-число отказов узла.



Рис. 2. Динамика выхода из строя тягового электродвигателя в зависимости от времени года

Суммарное количество отказов за данный период равняется 20. По данным отказов основных узлов в электродвигателе был проведен расчет статестической вероятности отказа. По результатам расчета статистической вероятности отказов узлов тягового электродвигателя, можно сделать вывод, что наиболее вероятным событием отказа является неисправность подшипника, якоря и катушек главных полюсов. Статистическая вероятность отказа подшипников равна $P*_{П} = 0.65$, якоря $P*_{Я} = 0.10$ и катушек главных полюсов $P*_{КГП} = 0.25$.

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что основными причинами выхода из строя являются неисправности подшипников, неисправности якоря и неисправности катушек главных полюсов. Была построена диаграмма на рис. 3. Из рис. 3 видно, что основная причина отказа это неисправности подшипников, которая составляет 65% от общего количества выходов из строя тягового двигателя. Как видно из рис. 2 основное количество отказов электродвигателя, а в частности, подшипников и катушек главных полюсов приходятся на январь, февраль и март. Это можно объяснить низкой температурой и проникновением влаги из-за большого количества снега, лежащего на путях. Основными причинами отказа подшипников являются проникновение влаги или снега и ошибки при монтаже. Так же большая часть неисправностей подшипников происходит из-за низкого качества самого изделия. Кроме того стоит отметить, что из - за попадания влаги или снега внутрь электрооборудования резко уменьшается сопротивление изоляции, что приводит к пробою и корпусному замыканию.



Рис. 3. Отказы основных узлов тягового электродвигателя трамвая 71-619 КТ (КТМ-19) в %

По полученным данным можно сделать ряд рекомендаций для повышения надежности тягового двигателя. Основным внешним фактором, который является причиной отказов и неисправностей - это проникновение влаги. Для исключения попадания влаги в двигатель нужно тщательно уплотнить войлоком или губчатой резиной крышки коллекторных люков, выводы проводов и т. п.. Головки полюсных болтов, где это предусмотрено, заливают кабельной массой. Так же стоит уделить повышенное внимание отчистке рельсовых путей от снега.

Таким образом, по полученным данным эксплуатации трамваев был выявлены отказы основных узлов, нарушающих работоспособность. Чаще всего неисправности происходят в электрооборудовании (доля отказов от общего числа составляет 50,34%), тормозном оборудовании (доля отказов составляет 41,33%), механических частях (доля отказов составляет 4,82%).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бачурин Н.С. Методика оценки показателей надежности трамвайного вагона/Научно-технический журнал "Транспорт Урала".- №1(20).-2009.-93 с. Режим доступа: [http: //vagons.tramvaj.ru/].

2. Костенко Н.А. Прогнозирование надежности транспортных машин//-Машиностроение.- 1989.- 240 с.

3. Зайнетдинов Р.И. Развитие методов оценки работоспособности несущих конструкций подвижного состава с использованием закономерностей самоорганизации/Дис. докт. техн. наук.- М.: МИИТ, 2000.- 435 с.

4. Копцев А. Л. Система диагностирования технического состояния цепей управления тягового электропривода трамвайного вагона : диссертация ... кандидата технических наук : 05.09.03.- Магнитогорск, 2006.- 151 с.: ил. РГБ ОД, 61 06-5/3717

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ НА ОСНОВЕ ИТТРИЙ-БАРИЕВЫХ КУПРАТОВ

Степанов К.И.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

В современном мире, как никогда, чувствуется острая необходимость в использовании большого количества электроэнергии. Существует два способа решения этого вопроса: непосредственно

увеличение количества электростанций, либо переход на сверхпроводящие проводники. Оба способа имеют место быть, но, все же, наиболее перспективным является второй путь, однако он упирается в проблему создания комнатнотемпературных сверхпроводников. Решением этого вопроса занимаются во многих научно-производственных коллективах, в том числе и в лаборатории высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) ЭНИН ТПУ. В лаборатории ВТСП развивается новый подход, связанный с применением высокоинтенсивных воздействий (разрядная плазма, магнитно-импульсное прессование, диспергирование порошков). В связи со сказанным, главная задача нашей темы состоит в разработке такой технологии синтезирования материала, которая позволит получать продукт, обладающий сверхпроводящими свойствами при температурах окружающей среды. Наиболее перспективными в этом направлении, по нашему мнению, можно считать иттрий-бариевые купраты [3].

В данной работе разрабатывается способ плазмодинамического синтеза шихты для высокотемпературных сверхпроводников с использованием коаксиального магнитоплазменного ускорителя профессора Сивкова [4].

Установка представлена в виде цилиндрической трубы (рисунок 1), разделенной на две камеры: регистрирующую и рабочую. В регистрирующей камере имеется технологическое отверстие – окошко, через которое, при помощи сверхвысокочастотной камеры Photon FASTCAM SA1.1 проводится регистрация процессов, протекающие внутри установки.

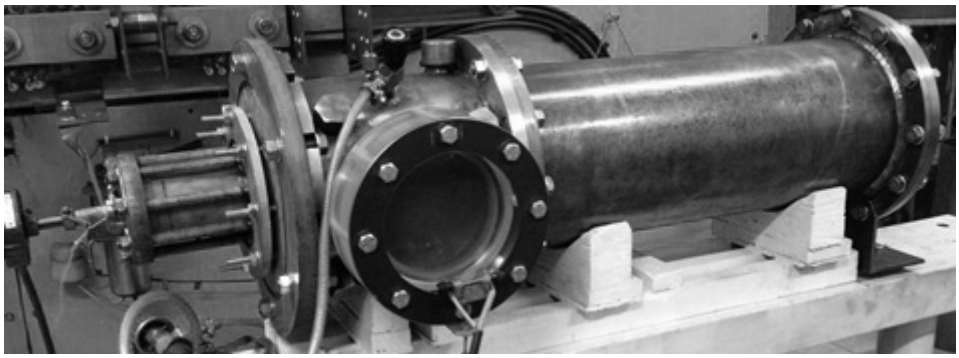


Рис. 1. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель

Главным элементом конструкции является коаксиальный ускоритель Сивкова [4], который крепится на фланце регистрирующей камеры. Ускоритель состоит из: медной трубки – ствола, внутри которого находится центральный электрод с изолятором, а также исходные оксидные порошки, являющиеся прекурсорами шихты. Сам ствол вворачивается в соленоид (ускоритель).

Работа установки заключается в следующем: при замыкании цепи импульсный ток протекает через центральный электрод и инициирует

плазменный разряд. Далее под действием выталкивающего магнитного поля индуктора, плазменный поток уносит вместе с собой частички порошковой шихты (прекурсоры), а так же продукты эрозии поверхности медного ствола. В плазме, под действием высоких температур, протекают реакции, в результате чего образуется однородный порошок. Конечный продукт реакции, с наноструктурным строением под давлением выбрасывается в регистрирующую, а затем и в рабочую камеры (рисунок 3). Длительность рабочего процесса составляет около 500 мкс. На рисунке 3 представлена динамика движения плазмы в камере установки.

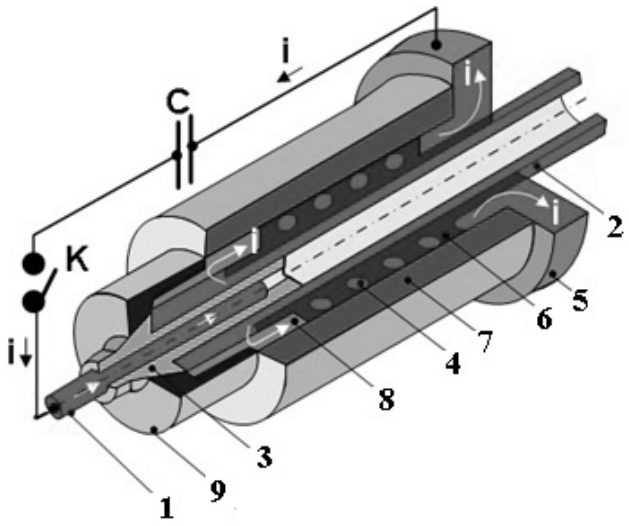


Рис. 2. Плазменный ускоритель: 1 – центральный электрод, 2 – электрод – ствол, 3 – изолятор центрального электрода, 4 – соленоид, 5 – контактный фланец, 6 – изоляция, 7 – корпус, 8 – контактный цилиндр, 9 – заглушка

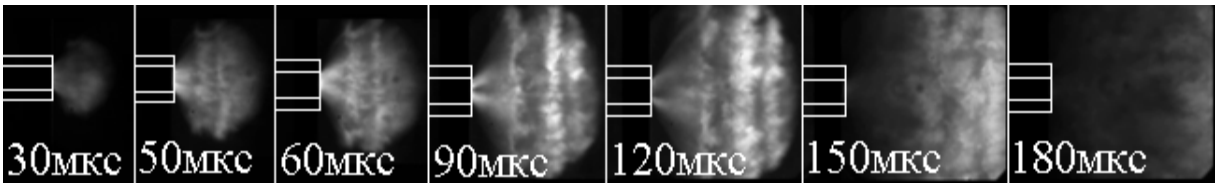


Рис. 3. Процесс горения плазмы

Анализ полученных фаз и структуры синтезированного порошка проводился на рентгеновском дифрактометре XRD Shimadzu 7000S (CuKα–излучение). Результат анализа представлен на рисунке 4.

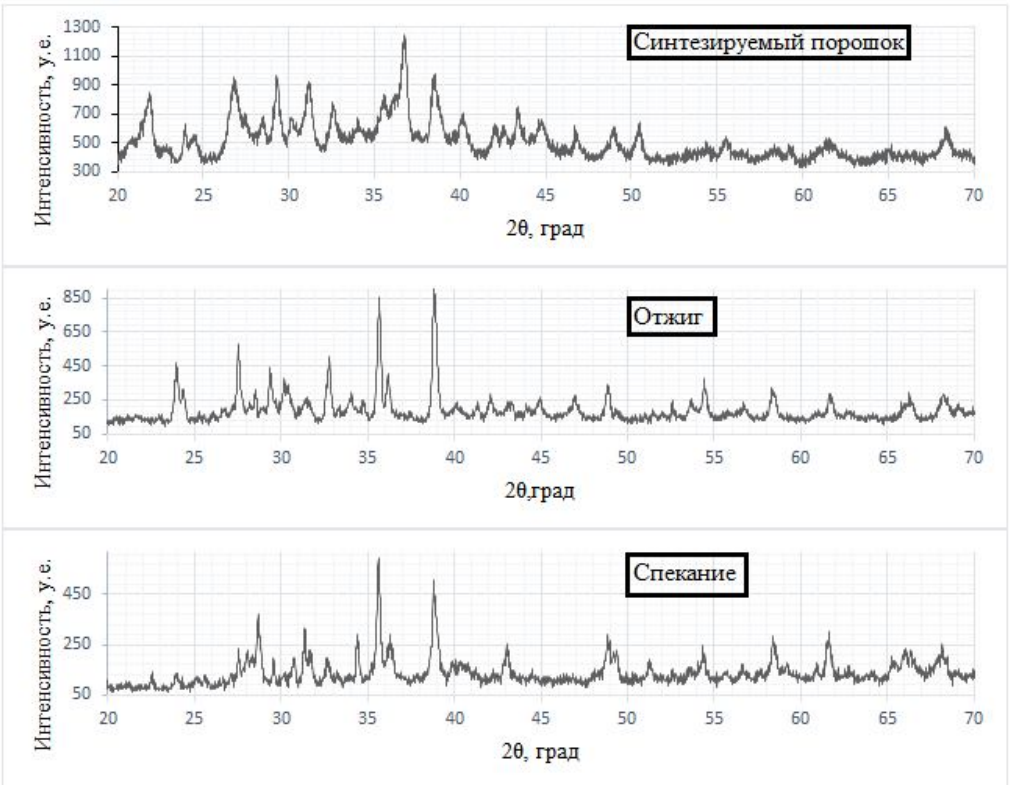


Рис. 4. Рентгенограммы синтезируемого порошка и керамики

Первый снимок – рентгенограмма исходного порошка; второй – рентгенограмма порошка после отжига при температуре 850°С, с последующей выдержкой в течении часа и третий – рентгенограмма готовой керамики, предварительно сформованной на двухстороннем магнитно–импульсном прессе [5] и спеченной при температуре 960°С в течении шести часов с контролируемым охлаждением 100 °С/ч.

В результате проделанной работе можно сделать следующие выводы.

Во-первых, что касается самой технологии синтезирования материалов, то тут есть две принципиальные особенности: 1) это одностадийность процесса, длительность которого составляет не более 500 мкс и 2) конечный продукт реакции имеет нанокристаллическую структуру, что в конечном итоге может существенно повлиять на температуру перехода образца в сверхпроводящее состояние.

Во-вторых, образец, полученный после спекания, удовлетворительно описывается эталонами, что говорит о правильном подборе соотношения исходных прекурсоров.

В-третьих, определены основные параметры системы (энергетические, технологические) влияющие и определяющие максимальное КПД всей системы.

Таким образом, в работе показана возможность синтеза шихты и керамики высокотемпературных сверхпроводников на основе иттрий бариевых купратов с использованием высокоинтенсивных технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Де Жен П. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М: ЁЁ Медиа, 280 стр., 2012.

2. Гинзбург В.Л. О сверхпроводимости и сверхтекучести. Автобиография. М.: Физматлит, 2006.

3. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. М.: МЦНМО, 2000.

4. Пат. 2243474 РФ. 7F41B 6/00. Коаксиальный ускоритель / Д.Ю. Герасимов, А.А. Сивков. Приор. 31.07.2003. Опубликовано 27.12.2004, Бюл. №36.

5. Ивашутенко А.С. Корундо-циркониевая нанокерамика, полученная с использованием высокоинтенсивных потоков энергии. Диссертация кандидата технических наук. 2010.

НЕОБХОДИМОСТЬ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Беккер А. В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В последние десятилетия в мире остро стоит вопрос антропогенного влияния на окружающую среду. Запасы природных ресурсов истощаются, уже сейчас они не кажутся столь безграничными, как раньше. Низкая стоимость энергии одновременно оказывает не только положительное влияние на энергобаланс в мире в целом, но и отрицательное, ресурсы, из-за их относительно невысокой стоимости, используются крайне расточительно и нерационально. Низкая стоимость также тормозит развитие новых, альтернативных источников энергии.

Повышение ресурсоэффективности означает использование меньшего количества ресурсов для производства того же объема продукции или получения того же свойства – например, срока эксплуатации и качества продукции или температуры воздуха в зданиях – при наличии данного количества материалов и энергии.

Природный газ является одним из главных природных энергоносителей, его доля в мировом топливно-энергетическом балансе, по прогнозам, будет только расти (табл.1).

Таблица 1.

Прогнозный топливно-энергетический баланс мира на 2010-2050 гг., %

Виды энергоносителей	2010 г.	2020 г.	2050 г.
Нефть	35-39	30	28-29
Природный газ	24-25	29	28-30
Уголь	18-19	17	22-24
Прочие	13-14	24	20

По данным МАГАТЭ, ОПЕК, департамента промышленного развития ООН[1].

Осуществление контроля эффективности энергосберегающих технологий на государственном уровне стимулирует предприятия на разработку и внедрение передовых технологий в данной отрасли. В соответствии с федеральным законом "Об энергосбережении" от 03.04.1996 г. №28-ФЗ проводятся энергетические обследования и аудит дочерних обществ по видам деятельности ОАО "Газпром": добыче, транспортировке, переработке и подземному хранению газа.

Энергоаудит и энергетические обследования в Газпроме обуславливают возможность систематически оценивать уровень эффективности расходования энергетических ресурсов дочерними обществами и разработки на этой основе эффективных энергосберегающих мероприятий, обеспечивающих снижение расхода топливно-энергетических ресурсов на собственные технологические нужды.

В процессе проведения энергетических обследований и энергоаудитов определяются и заносятся в энергетическтий паспорт потребителя ТЭР: показатели энергоэффективности обслеуемых объектов; энергетические балансы расхода ТЭР; рекомендации по повышению эффективности расходования ТЭР

Показатели энергоэффективности обеспечивают возможность оценки эффективности расходования ТЭР обследуемых объектов путем сравнения фактических показателей с их нормативными значениями.

Энергетические балансы расхода ТЭР количественно отображают приход и расход ТЭР с учетом их потерь.

Энергетические паспорта потребителей ТЭР обеспечивают представление в концентрированном виде информации об уровне эффективности использования ТЭР обследованных объектов[2].

Таким образом, на основании данных, указанных в энергетических паспортах, можно делать вывод об эффективности использования энергоресурсов, оценивать ресурсоэффективность производств, сокращать потребление природных энергоносителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Л. Лапидус, И.А. Голубева, Ф.Г. Жагфаров Газохимия часть I Первичная переработка углеводородных газов/ Москва-2004 С. 15-16

2. Кузнецов О.А., Гаврилин А.Н., Житомирский Б.Л., Хворов Г.А., Юмашев М.В Система энергетических обследований и аудитов технологических объектов ОАО «Газпром»// Газовая промышленность. 07.2008. №620. С 45-49

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКА УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Торопов А. В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Современные летательные аппарат совершают полеты на больших высотах, с большими скоростями, в любых метеорологических условиях. Выполнение таких полетов и решение задач управления различными агрегатами было бы невозможным без комплекса приборов и автоматов, установленных на борту летательного аппарата. Широкое применение индукционных элементов автоматических устройствах и в частности, в авиационных обусловлено разнообразием функциональных свойств, а также высокой надежностью при малогабаритных конструкциях.

Датчики угловых перемещений (Рис.1) относятся к области приборостроения и могут быть использованы в системах управления различных объектов, в том числе и летательных аппаратах. Датчик предназначен для преобразования угла поворота в сигнал переменного тока, величина напряжения которых пропорциональна углу поворота ротора. Общим достоинством датчиков является их простота, малые габариты, бесконтактность и, следовательно, высокая надежность в эксплуатации, что определяет их широкое применение.

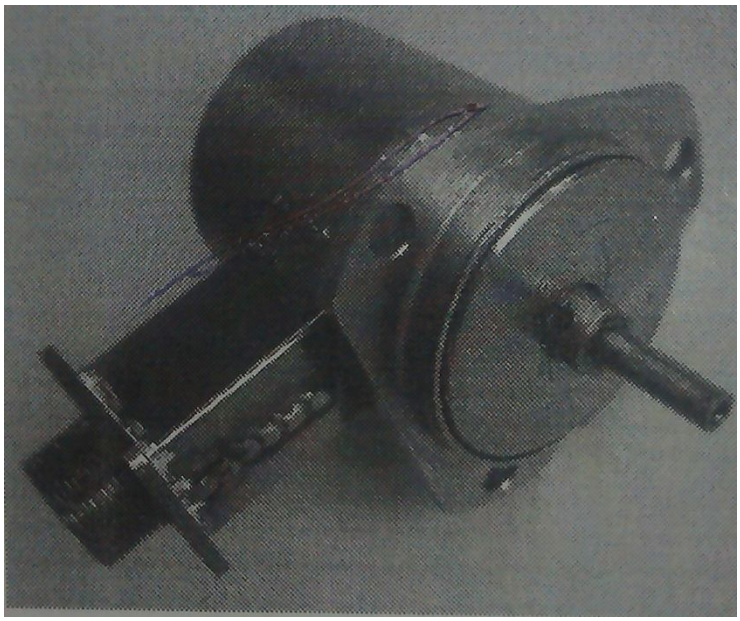


Рис. 1. Датчик угловых перемещений

Конструктивная схема датчика показана на рис. 2. Датчик состоит из следующих основных сборочных единиц: обмотки возбуждения 1, магнитопровода 2, экрана 3, вала 4 и рабочих обмоток 5.

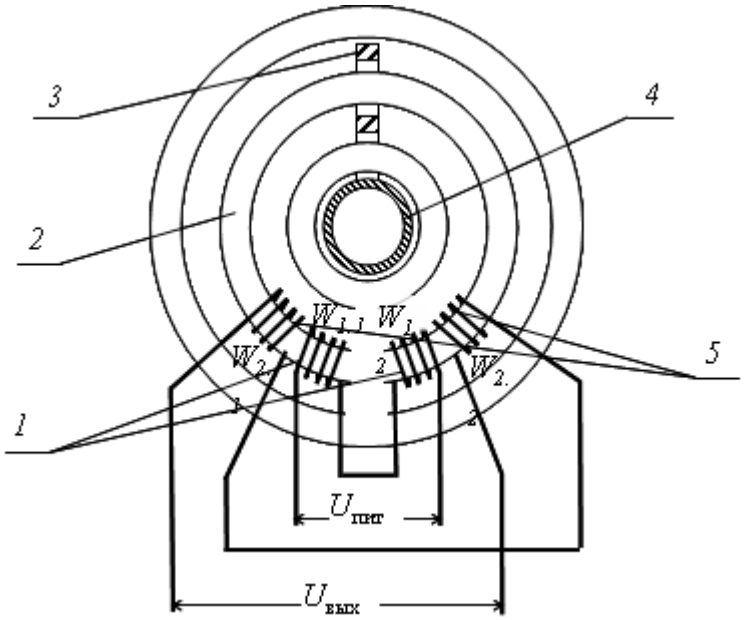


Рис. 2. Конструктивная схема датчика:
1 – обмотки возбуждения; *2* – магнитопровод;
3 – экран; *4* – вал; *5* – рабочие обмотки

Датчик содержит статор, состоящий из шихтованного магнитопровода 2 в виде трех колец, соединенных перемычками, и размещенных на среднем кольце сосредоточенных обмоток возбуждения 1, включенных встречно, и рабочих обмоток 5, включенных согласно, а также ротор в виде экрана 3 (короткозамкнутого витка), закрепленного на полом валу 4.

Проходная конструкция датчика (отсутствие подшипников) обеспечивает его высокую технологичность и позволяет разместить его непосредственно на валу привода.

Являясь развитием конструкции бесконтактного датчика углового перемещения с короткозамкнутым витком, данный датчик отличается сосредоточенными обмотками вторичной цепи вместо распределенных.

К оцениваемым показателям относятся следующие параметры датчика:

1) Выходной характеристикой является отношение разности напряжений выходных полуобмоток U21 и U22 к напряжению дополнительной выходной обмотки или к сигналу, эквивалентному U0, за который может быть принята сумма U21+U22 и определяется по формуле:

$$Y = \frac{U_{21} - U_{22}}{U_{21} + U_{22}}$$

2) крутизна выходной характеристики, определяется по выражению:

$$k_{cp} = \frac{\sum Y_i}{\sum \alpha_i}$$

где Yi – текущее значение выходной характеристики;

αi – текущее перемещения вала, град.

3) Нелинейность выходной характеристики датчика, определяется по формуле:

$$n = \frac{(Y_i / k_{cp}) - \alpha_i}{\alpha_{\max}} \cdot 100\%$$

где αi – угол поворота вала в текущей точке измерения, град.

kcp – средняя крутизна выходной характеристики датчика, 1/град.

αmax – максимальный угол поворота вала, град.

В результате проведенных испытаний были получены следующие параметры и характеристики датчика:

Таблица 1.

Параметры датчика

Угол, град.	Напряжение на выходе U1, В	Напряжение на выходе U2, В	$Y = \frac{U_{21} - U_{22}}{U_{21} + U_{22}}$	Нелинейность, %
-50	1,3761	2,746	-0,332	-0,24
-45	1,4487	2,673	-0,297	0,09
-40	1,5208	2,604	-0,262	0,29
-35	1,591	2,534	-0,228	0,43
-30	1,6607	2,465	-0,194	0,52
-25	1,7293	2,397	-0,161	0,53
-20	1,7964	2,328	-0,128	0,51
-15	1,8637	2,262	-0,096	0,4
-10	1,93	2,195	-0,064	0,28
-5	1,9967	2,13	-0,032	0,11
0	2,062	2,062	0	0
5	2,1282	1,995	0,032	-0,11
10	2,1952	1,929	0,064	-0,24
15	2,2637	1,862	0,097	-0,27
20	2,3307	1,79	0,131	-0,16
25	2,3994	1,7218	0,164	-0,14
30	2,469	1,6513	0,198	0,004
35	2,5401	1,5805	0,232	0,21
40	2,6128	1,507	0,268	0,58
45	2,6894	1,4311	0,305	1,17
50	2,7674	1,3523	0,343	1,93

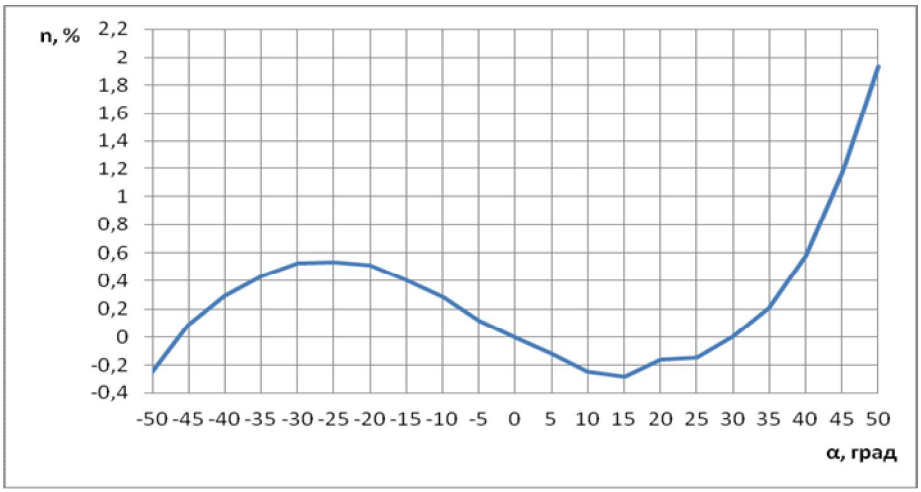


Рис. 3. Зависимость нелинейности от угла поворота ротора по инвариантной схеме

Полученные рабочие характеристики при изменениях, показывают, как изменяется выходное напряжение рабочей обмотки относительно угла поворота ротора датчика. Рабочие характеристики имеют линейный характер, что соответствует высокой точности датчика.

Нелинейность данного характера обуславливается величиной и равномерностью рабочего воздушного зазора между статором и ротором при изготовлении датчика. Следует отметить, что нелинейность не выходит за пределы допустимых значений.

Причиной неравномерностей могут быть различные факторы при изготовлении, такие как: несоосность конструкции датчика, отклонения от размеров, недостаточно равномерная шлифовка пакета роторов.

Касаемо крутизны характеристики датчика, наблюдается стабильность на всем рабочем диапазоне.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОНТАКТОРЫ

Коробков А.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск

В промышленности, гражданском и коммерческом строительстве, задачи связанные с пуском и остановкой электродвигателей, а также с дистанционным управлением электрическими цепями возложены на контакторы. Данные устройства применяются там, где необходимы частые пуски либо коммутация электрических устройств с большими токами нагрузки.

Контактор - это электрический аппарат, предназначенный для коммутации силовых электрических цепей, как при номинальных токах, так и при токах перегрузки. Наибольшее распространение получили контакторы, в которых замыкание и размыкание контактов осуществляется под воздействием электромагнитного привода. Контакторы бывают постоянного и переменного тока.

Отличительной особенностью электромагнитных контакторов, по сравнению с близкими к ним электромагнитными реле является то, что контакторы разрывают электрическую цепь в нескольких точках одновременно, в то время как электромагнитные реле обычно разрывают цепь только в одной точке.

Общепромышленные контакторы классифицируются:

- по роду тока главной цепи и цепи управления (включающей катушки) - постоянного, переменного, постоянного и переменного тока;

- по числу главных полюсов - от 1 до 5;
- по номинальному току главной цепи - от 1,5 до 4800 А;
- по номинальному напряжению главной цепи: от 27 до 2000 В постоянного тока; от 110 до 1600 В переменного тока частотой 50, 60, 500, 1000, 2400, 8000, 10 000 Гц;
- по номинальному напряжению включающей катушки: от 12 до 440 В постоянного тока, от 12 до 660 В переменного тока частотой 50 Гц, от 24 до 660 В переменного тока частотой 60 Гц;
- по наличию вспомогательных контактов - с контактами, без контактов.

Контакторы также различаются по роду присоединения проводников главной цепи и цепи управления, способу монтажа, виду присоединения внешних проводников и т.п.

Контакторы постоянного тока предназначены для коммутации цепей постоянного тока и, как правило, приводятся в действие электромагнитом постоянного тока.

Контакторы постоянного тока применяются для включения и отключения приемников электрической энергии в цепях постоянного тока; в электромагнитных приводах высоковольтных выключателей; в устройствах автоматического повторного включения.

Контакторы постоянного тока выпускаются в основном на напряжение 22 и 440 В., токи до 630 А., однополюсные и двухполюсные, со следующими категориями применения:

ДС-1 - активная или малоиндуктивная нагрузка. ДС-2 - пуск электродвигателей постоянного тока с параллельным возбуждением и их отключение при номинальной частоте вращения. ДС-3 - пуск двигателей с параллельным возбуждением и их отключение при неподвижном состоянии или медленном вращении ротора. ДС-4 - пуск электродвигателей с последовательным возбуждением и их отключение при номинальной частоте вращения. ДС-5 - пуск электродвигателей с последовательным возбуждением, отключение неподвижных или медленно вращающихся двигателей, торможение противотоком.

Контакторы переменного тока применяются для управления асинхронными трехфазными двигателями с короткозамкнутым ротором, для выведения пусковых резисторов, включения трехфазных трансформаторов, нагревательных устройств, тормозных электромагнитов и других электротехнических устройств.

Контакторы переменного тока предназначены для коммутации цепей переменного тока. Электромагниты этих цепей могут быть как переменного, так и постоянного тока. Категории применения:

АС-1- активная или малоиндуктивная нагрузка.
АС-2 - пуск электродвигателей с фазным ротором, торможение противовключением.
АС-3 - пуск электродвигателей с короткозамкнутым ротором.
АС-4 - пуск электродвигателей с короткозамкнутым ротором. Отключение неподвижных или медленно вращающихся электродвигателей. Торможение противовключением.

Контакторы переменного тока выполняются с дугогасительными устройствами. При возникновении дуга движется на решетку, разбивается на ряд мелких дуг и в момент перехода тока через ноль гаснет.

Контактор имеет следующие основные узлы: контактную систему, дугогасительное устройство, электромагнит и систему вспомогательных контактов. При подаче напряжения на обмотку электромагнита контактора его якорь притягивается. Подвижный контакт, связанный с якорем электромагнита, замыкает или размыкает главную цепь. Дугогасительное устройство обеспечивает быстрое гашение дуги, благодаря чему достигается малый износ контактов. Система вспомогательных слаботочных контактов служит для согласования работы контактора с другими устройствами.

Особенности конструкции контактора и принцип его действия рассмотрим на примере контактора постоянного тока КПВ-600 (рис. 1).

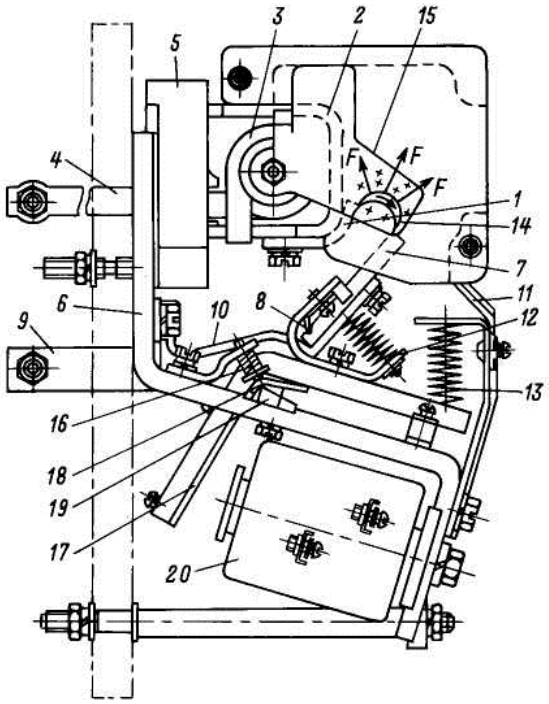


Рис. 1. Контактор постоянного тока серии КПВ

Неподвижный контакт 1 механически и электрически соединен со скобой 2 — дугогасительным рогом (направляющей для дуги). К скобе 2 присоединен один конец дугогасительной катушки 3, второй конец которой с выводом 4 закреплен в электроизоляционном основании 5 и является одним из двух токоподводов контактора. Основание 5 жестко укреплено на стальной скобе 6, являющейся основной несущей деталью для электромагнитного привода и подвижной контактной системы. Подвижный контакт 1 может поворачиваться относительно опорной точки 8. Вывод 9, являющийся вторым токоподводом, соединен с подвижным контактом 1 гибкой связью 10. С подвижным контактом 1 электрически связан другой дугогаси-тельный рог 11. Контактное нажатие создается пружиной 12, а возвратная пружина 13 предназначена для размыкания контактов и возврата привода в исходное положение. При размыкании контактов на них появляется электрическая дуга 14, которая попадает в магнитное поле между пластинами 15 магнитопровода системы магнитного дутья, создаваемого катушкой 3 и охватывающего камеру с обеих сторон. Под воздействием этого поля дуга перемещается в камеру, ее опорные точки переходят на дугогасительные рога, дуга растягивается, охлаждается и гаснет. В данном контактно-дугога-сительном устройстве применена система последовательного магнитного дутья. Электромагнитный привод контактора включает в себя обмотку 20 с магнитопроводом и якорь 17. Последний может поворачиваться на призме 19, прижимаемый к скобе 18 пружиной 16. При подаче напряжения на катушку 20 якорь 17, преодолевая противодействие возвратной пружины 13, начинает притягиваться к магнитопроводу. При определенном зазоре между якорем и магнитопроводом происходит соприкосновение контактов 1 и 1. Дальнейшее сближение якоря и магнитопровода влечет за собой поворот контакта 1 относительно опорной точки 8 (в направлении по часовой стрелке) и сжатие контактной пружины 12. Этим обеспечивается создание так называемого провала контактов.

Работу контактора можно оценивать двумя зависимостями: суммарной характеристикой противодействующих усилий (от возвратной и контактной пружин) и тяговой характеристикой электромагнитного привода.

Для сохранения работоспособности контактора должно соблюдаться условие: тяговая характеристика 1 электромагнита должна во всех точках идти выше характеристики 2 противодействующих усилий при минимально допустимом напряжении на катушке (15 %-е понижение напряжения по отношению к номинальному).

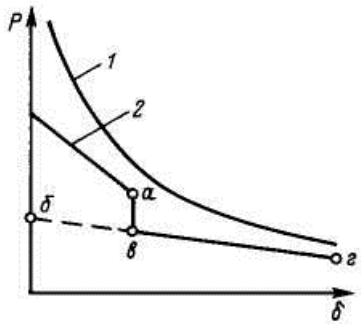


Рис. 2. Тяговая и противодействующие характеристики контактора

По горизонтальной оси принято откладывать значение зазора между якорем и магнито-проводом, по вертикальной — приведенные к этому зазору тяговые и противодействующие усилия. На графике обозначены: точка а — момент соприкосновения контактов; часть характеристики между точками (г-в — провал контактов; в—г — раствор между контактами (зазор между якорем и сердечником); а—в — предварительное сжатие контактной пружины (оно необходимо для предотвращения сваривания и вибрации контактов при включении токовой нагрузки).

В число крупнейших заводов электротехнической промышленности России, производящих контакторы, входят: IEK, ОАО «Контакор», Кашинский завод электроаппаратуры (КЗЭА), Курский электроаппаратный завод (КЭАЗ), УралЭлектро.

Мировой лидер в производстве электротехнического оборудования: Schneider Electric, SIEMENS, Eaton, Legrand, ABB.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таев И. С. Электрические аппараты управления: Учебник для вузов по специальности «Электрические аппараты». 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1984 (69) – 247 с.

2. Сахаров П. В. Проектирование Электрических аппаратов - М.: «Энергия», 1971. – 559 с.

3. Буль Б.К. и др. Основы теории электрических аппаратов. Под ред. Буткевича Г. В. Учеб. пособие для электротехнич. специальностей вузов. - М.: «Высшая школа», 1970. – 600 с.

4. http://www.obzor-electro.ru

ВЛИЯНИЕ КОРОТКОЗАМКНУТОГО ФЛАНЦА СОЛЕНОИДА КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ НА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЙ ИЗНОС ПОВЕРХНОСТИ УСКОРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА

Шарипов Р.Р, Привезенцев С.И.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Конструктивной особенностью индуктора коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) [1] является наличие контактного фланца на выходном конце соленоида. вместе с токоподводящими шпильками он обеспечивает токоподвод к соленоиду и механическую прочность конструкции в осевом направлении. С другой стороны он представляет собой короткозамкнутый виток очень большого сечения. Естественно, что при протекании тока по соленоиду в витке наводится ток сравнимый с током соленоида. Магнитное поле этого тока в суперпозиции с торцевым полем соленоида и полем наведенным в стенке ствола может оказывать тормозящее действие при прохождении токонесущей плазменной структуры по ускорительному каналу (УК) [2]. Возникновение так называемой “магнитной пробки” на выходе из соленоида должно оказать влияние на динамические характеристики течения и на электроэрозионный износ поверхности УК. Устранение этого фактора возможно путем радиального разреза фланца. Однако эта мера нежелательна из-за нарушения механической прочности конструкции индуктора.

В связи с этим в работе приводятся экспериментальные исследования напряженности внешнего магнитного поля (ВМП) соленоида индукционной системы КМПУ с короткозамкнутым витком и без него. Исследования проведены на ускорителе со съемным короткозамкнутым кольцом. В качестве короткозамкнутым фланца использовалось медное кольцо толщиной 10,0 мм и диаметром 98,5/30,0 мм. В экспериментах регистрировались (ВМП) (осевое и торцевое), а так же рабочий ток, протекающий через ускоритель. Датчики аксиальной и радиальной составляющей магнитного поля устанавливались в УК на подходе к выходному концу соленоида на разных расстояниях. На рис.1 показаны типичные осциллограммы аксиальной и радиальной составляющих напряженности ВМП на разных расстояниях от контактного фланца в зоне охваченной соленоидом. По амплитудным значениям таких осциллограмм построены кривые изменения Hm по координате Z на подходе к плоскости фланца (рис.2). Их анализ показывает, что радиальная составляющая H ВМП в присутствии короткозамкнутого фланца возрастает на порядок в

сравнении со случаем распиленного фланца, на координате Z=145 мм, т. е. не доходя 15 мм до контактного фланца. При этом осевая составляющая Hz не значительно снижается.

Для исследования влияния короткозамкнутого фланца на динамические характеристики ускорителя и электроэрозионный износ (электроэрозионной наработки рабочего материала) с поверхности УК, для получения порошкообразных материалов и нанесения функциональных покрытий [3, 4], проведены эксперименты по ускорению плазмы разряда на разных ускорителях с короткозамкнутым витком и без него. Исследования проводились в процессе отработки технологии нанесения покрытия состава нержавеющей стали. В экспериментах использовались стволы из нержавеющей стали марки 12Х18Н9Т. Основные данные и результаты экспериментов приведены в таблице.

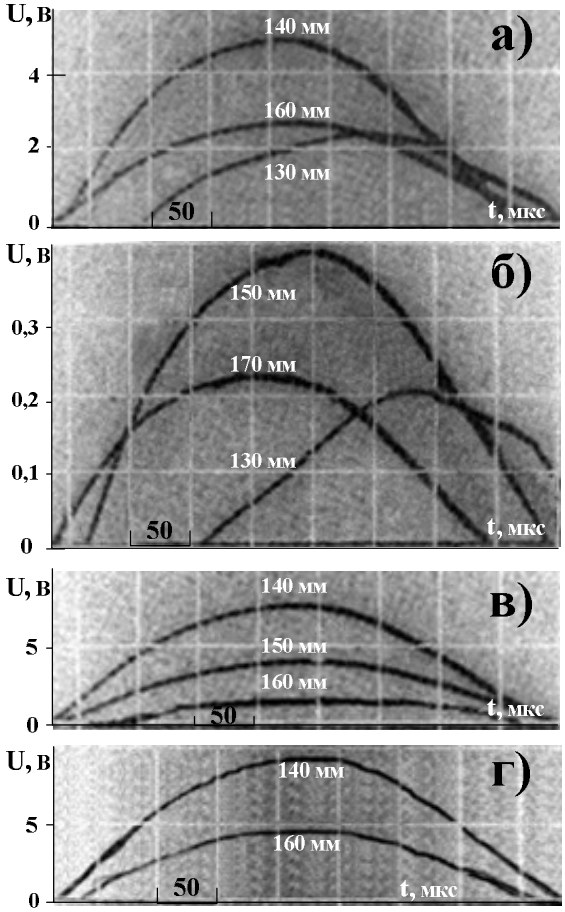


Рис. 1. Осциллограммы напряженности магнитного поля внешней индукционной системы (МИ-8) внутри УК из нержавеющей стали с Dxdук = 20х16 мм: а) радиальная составляющая в случае с короткозамкнутым витком-фланцем; б) радиальная составляющая в случае с распиленным фланцем; в) осевая составляющая с короткозамкнутым витком-фланцем; г) осевая составляющая в случае с распиленным фланцем. На осциллограммах указаны координаты z установки индукционных датчиков

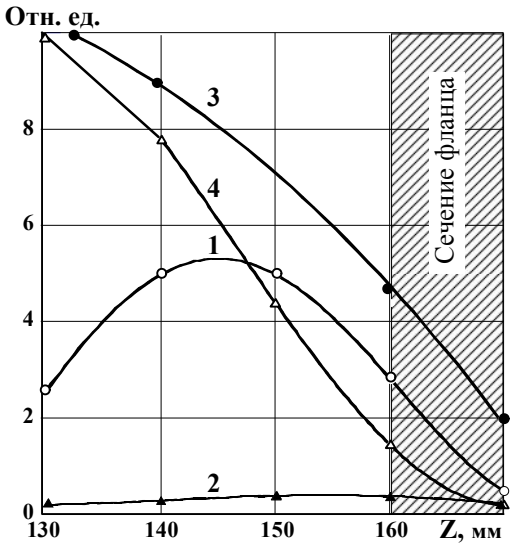


Рис. 2. Зависимость осевой (3 и 4) и радиальной (1 и 2) составляющих напряженности ВМП по оси УК на подходе к контактному фланцу индуктора. 1, 4 - с короткозамкнутым витком-фланцем, 2, 3 - с распиленным фланцем

Таблица 1.

Сравнительные экспериментальные данные по влиянию короткозамкнутого фланца соленоида на электроэрозионный износ УК

Параметры / № опыта	Ед. изм.	1	2	3	4
Индуктор	-	НСИ-4	НСИ-4	МИ-8	МИ-8
Наличие короткозамкнутого фланца	-	–	+	–	+
Наружный диаметр ствола, D	мм	25	25	20	20
Внутренний диаметр УК, d	мм	19	19	16	16
Подведенная энергия, W	кДж	123,0	116,0	61,0	59,4
Эродированная масса, m	г	18,2	22,0	7,1	9,3
Удельная эродированная масса, m/W	г/кДж	0,148	0,190	0,116	0,156
Удельная подведенная энергия,W/Vук	кДж/см3	1,605	1,522	1,123	1,106
Время ускорения головной части, Δt1-2	мкс	60,2	69,1	62,1	68,6
Скорость на срезе стволе, υс	км/с	4,83	4,51	4,77	4,48

Из приведенных на рис.3 эпюр удельного дифференциального электроэрозионного износа Δm(ℓук), номера которых соответствуют номерам экспериментом в таблице, видно заметное увеличение эрозии при наличии короткозамкнутого фланца в основном за счет увеличения длины эродированного участка УК. Это подчиняется установленным закономерностям, в соответствии с которыми, с увеличением скорости течения в УК снижается эрозия и возникает концевой участок с наслоившимся материалом [5].

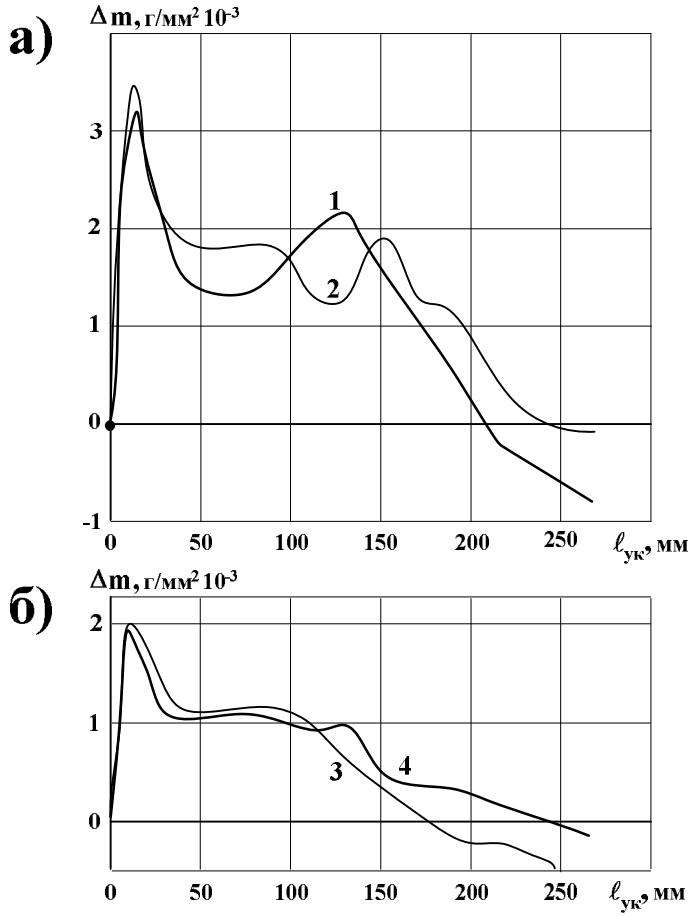


Рис. 3. Эпюры удельного дифференциального электроэрозионного износа полученные в экспериментах с распиленным витком (1 и 3) и с короткозамкнутым (2 и 4); а) индуктор НСИ-4, б) МИ-8. Номера соответствуют опытам в таблице

На рис.4 приведена зависимость удельного интегрального эрозионного износа от удельной подведенной энергии. Из графика видно, что зависимости распадаются на отдельные ветви, соответствующие экспериментам при использовании индуктора с короткозамкнутым фланцем (1) и без него (2), которые аппроксимируются выражениями:

Зависимость 1: $\frac{m}{W} = 0.171 \cdot \left(\frac{W}{V} - 0.37 \right)$; Зависимость 2: $\frac{m}{W} = 0.120 \cdot \left(\frac{W}{V} - 0.40 \right)$ (1)

Анализ представленных данных показал существенное уменьшение коэффициента удельного интегрального электроэрозионного износа А2=0,120 по отношению к А1=0,171. Приведенные зависимости имеют начало в одной точке, это говорит о том, что удельная критическая энергия (W*/Vук) у них одинакова, так как короткозамкнутый фланец не влияет на начало процесса.

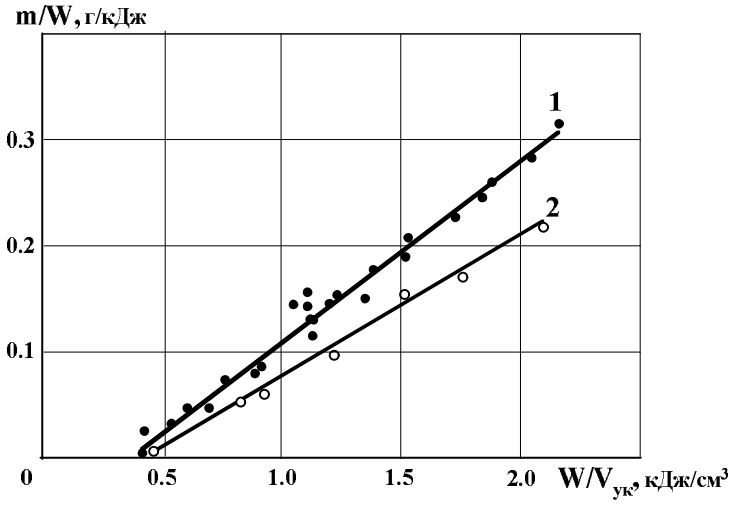


Рис. 4. Зависимость удельного интегрального электроэрозионного износа от удельной подведенной энергии: 1 - с короткозамкнутым витком, 2 - без короткозамкнутого витка

Исследование динамики плазменной струи на выходе из УК показали, что в присутствии короткозамкнутого фланца скорость течения на срезе ствола снижается примерно на 0,3 км/с по сравнению со скоростью в случае распиленного фланца (таблица).

Короткозамкнутый виток создает магнитную преграду, движущемуся потоку плазмы разряда, вследствие чего увеличивается электроэрозионный износ поверхности УК, при незначительном уменьшении динамических параметров плазменной струи, и при использовании КМПУ в качестве технологического ускорителя электроэрозионной плазмы с целью повышения КПД наработки рабочего материала целесообразно иметь на выходе из соленоида короткозамкнутый виток-фланец.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Сивков. Гибридная электромагнитная система метания твердых тел. Прикладная механика и техническая физика. 2001 г. Т. 42. № 1, с. 3-12.

2. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. Перевод с англ. Николаева Ф.А. и Свириденко Ю.П. М.: «Мир». 1972. 391 с.

3. Sivkov A.A., Gerasimov D.U., Tsibina A.S. Electrical Erosion of the Magnetoplasma Accelerator Channel // 13th International Symposium on High Current Electronics. Proceedings Edited by B. Kovalchuk and G. Remnev. – Russia, Tomsk, Institute of HCE, 25–29 July 2004. - P. 417-420.

4. Sivkov A.A., Gerasimov D.U., Tsibina A.S., Abramochkin V.N. Copper Coating of Aluminium Contact Surfaces Using Magneto-plasma Accelerator // Там же P. 457-459.

5. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Цыбина А.С. Электроэрозионная наработка материала в коаксиальном магнитоплазменном ускорителе для нанесения покрытий // «Электротехника». – 2005. - № 6. - С. 25-33.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДАТЧИКА ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Фролова С.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Сегодняшний день характеризуется новыми проектами и планами освоения космического пространства, в связи с этим важно улучшение параметров космической аппаратуры. Системы автоматического управления, одним из важнейших элементов которых является датчик линейных перемещений, нуждается в совершенствовании параметров и характеристик.

Исследуемый датчик относится к системе управления и может быть использован, в частности, в гидравлических системах летательных аппаратов, где требуется информация о перемещениях исполнительных элементов, например, гидроцилиндров [1].

Специфические условия работы датчиков в космосе, часто находящихся в непосредственном контакте с объектом регулирования, заставляют выбирать из всех возможных принципиальных решений и конструкций только те, которые удовлетворяют необходимым эксплуатационным требованиям прочности, надежности, стойкости против действия агрессивных веществ, виброустойчивости и т. д.

Далеко не все применяемые в настоящее время датчики удовлетворяют общим требованиям. Широкое применение в настоящее время нашли резистивные, емкостные, индуктивные и трансформаторные датчики, последние из которых в наибольшей мере отвечают всем требованиям, предъявляемым к аппаратуре, используемой в космической технике. Они обеспечивают устойчивость к вибрации и большим температурам, линейность характеристики, высокую точность преобразования перемещений в электрический сигнал, а также усиленный выходной сигнал [2].

Наиболее удачна конструкция двухканального дифференциально-трансформаторного датчика линейного перемещения, который отличается наличием двух гальванически не связанных измерительных каналов в одном корпусе датчика, что делает датчик более технологичным и надежным.

С целью получения большего выходного напряжения датчика, а также повышения чувствительности, линейности и крутизны выходной характеристики, была разработана методика оптимального расчета параметров датчика в программе Mathcad. Алгоритм методики представлен на рисунке 1.

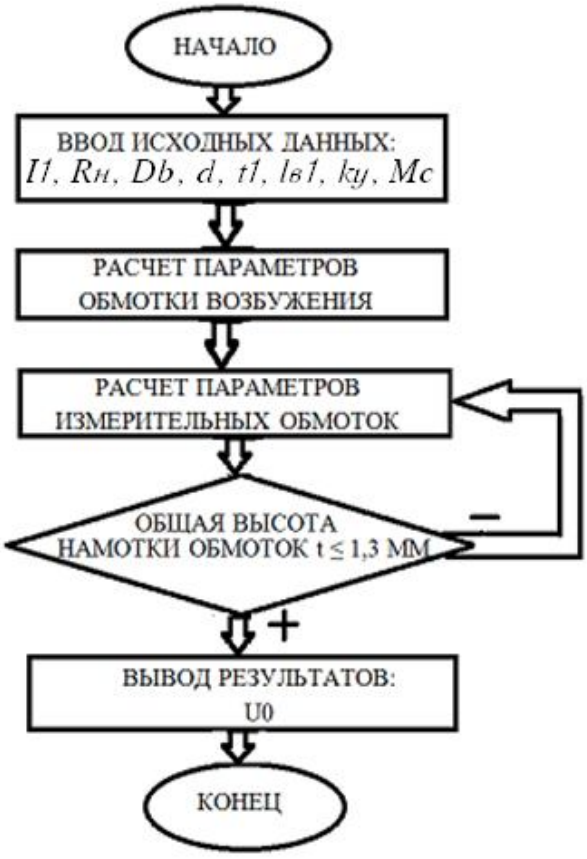


Рис. 1. Алгоритм методики оптимизации

Методика позволяет подобрать оптимальные обмоточные данные и один из источников питания, являющийся оптимальным, обеспечивая при этом усиленный выходной сигнал и сохраняя тем самым линейность, крутизну.

При расчете оптимального варианта сначала определяются исходные данные для расчета. К ним можно отнести параметры датчика, геометрические размеры [3]. Расчет проводится с целью определения обмоточных данных, обеспечивающих наилучшие параметры датчика при заданных габаритах катушки.

При расчете принято следующее ограничение:

– общая высота намотки обмоток должна быть не более 1,3 мм (на основании требований технического задания);

Выходными параметрами являются: выходное напряжение, а соответственно чувствительность датчика, линейность и крутизна выходной характеристики.

Варьируемыми параметрами приняты обмоточные данные (марка, материал, диаметр, а соответственно, характеристики провода) и источник питания, который может быть выбран (U=3В, f=3000 Гц; U=3В, f=4000 Гц и U=2В, f=2000 Гц).

В ходе расчета рассматривались нихромовый и манганиновый провода в качестве вторичной обмотки. Наилучшие результаты показал провод марки ПЭВНХ□2 диаметром 0,115 мм, выполненный из нихрома. Также было выявлено, что при источнике питания (напряжение 3В, частота 4000 Гц) достигаются более высокие точностные параметры датчика.

Результаты расчета сравнивались с экспериментальными данными. По этим данным построена выходная характеристика, представленная на рисунке 2.

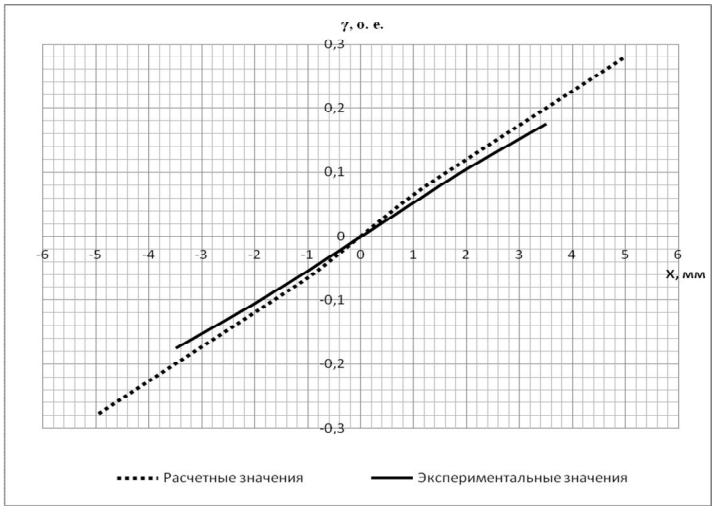


Рис. 2. Выходная характеристика

Рассчитанные и экспериментальные данные имеют близкие значения. Выходная характеристика, построенная по рассчитанным данным, имеет отклонения 8% от характеристики, построенной по экспериментальным данным в точке 3,5 мм рабочего хода. Это говорит о том, что методика верна и может применяться для оптимизации и совершенствования характеристик датчика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алейников А.Ф. и др. Датчики (перспективные направления развития) / А.Ф. Алейников, В.А. Гридчин, М.П. Цапенко. — Новосибирск: НГТУ, 2001. — 176 с.

2. Шидлович Л.Х. Дифференциальные трансформаторы и их применение. М. — Л.: «Энергия», 1966.- 96 с. с черт.

3. Электромеханические аппараты автоматики: Учеб. для вузов по спец. «Электрич. аппараты» // Буль Б.К., Буль О.Б., Азанов В.А., Шоффа В.Н. — М.: Высш. шк., 1988. — 303 с.: ил.

ВЫРАВНИВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА ПОВЕРХНОСТИ КАНАЛА КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ

Привезенцев С.И., Шарипов Р.Р.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В коаксиальном магнитоплазменном ускорителе (КМПУ) (рис. 1) материал для получения нанодисперсных порошков нарабатывается электроэрозионным путем с поверхности ускорительного канала (УК) титанового ствола (ВТ1-0) [1]. Эффективность использования ствола зависит от величины электроэрозионного износа по его длине. В связи с этим исследование электрической эрозии УК КМПУ является актуальной задачей.

Характер электроэрозионного износа поверхности УК по длине изучался путем разрезания отработанного ствола на равные отрезки длиной 10÷20 мм, их взвешивания, определения дефекта массы по сравнению с эталонным отрезком, построения и анализа эпюр дифференциального износа по длине УК $\Delta m(\ell_{УК})$.

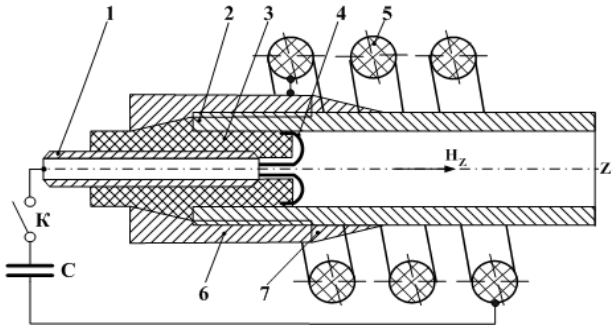


Рис. 1. Конструкция КМПУ:1) центральный электрод; 2) электрод-ствол; 3) изолятор центрального электрода; 4) электровзрывающиеся проводники; 5) соленоид; 6) заглушка; 7) дополнительный экран

Одним из недостатков рассматриваемой системы как технологической установки является неравномерность электроэрозионного износа по длине УК, обусловленная неустойчивостью скорости плазменного течения [2]. При многократной частотной работе укорителя может произойти перегорание стенки ствола в месте максимума эрозии. Это снизит эффективность использования ствола как расходного материала. На титановых стволах максимальный пик эрозии, значительно превышающий ее среднее значение, имеет место на начальном участке ствола длиной 40-50 мм (кривая 2, рис. 2). На остальной - основной части ствола с оптимальными для конкретных условий параметрами ускорителя эрозия достаточно равномерна.

Ранее полученные данные по влиянию экранирования [3] позволили сделать предположение о возможности устранения этого пика эрозии за счет частичного усиления экранирования начального участка ствола. Причем необходимо обеспечить плавное уменьшение поперечного сечения стенки экрана на этом участке ствола с целью исключения эффекта “магнитной пробки”. Это может быть достигнуто при использовании дополнительного электромагнитного экрана с внешней конусообразной поверхностью (7, рис.1).

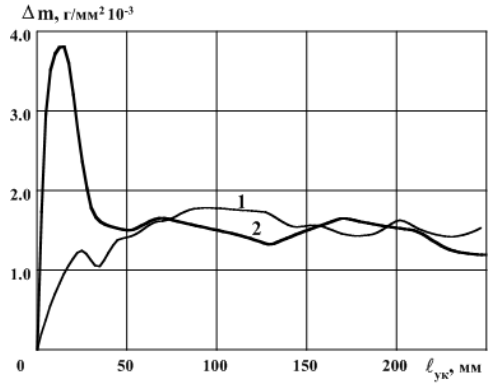


Рис 2. Эпюры Δm(ℓук): 1) при экранировании начального участка УК, 2) без экранирования

Для экспериментальной проверки этого предположения была проведена серия опытов на титановых стволах с использованием дополнительного экрана из Ст.3 с диаметром основания конуса d=44 мм и длиной ℓ.=50 мм и без него при следующих условиях: С=42·10-3 Ф; Uзар.=3.2 кВ; длина УК ℓук.=275 мм; dук=21 мм. результаты испытаний представлены на (рис. 2) в виде эпюр Δm(ℓук). Из сравнения кривых видно, что при использовании дополнительного электромагнитного экрана исключается пик эрозии на начальном участке ствола, что обеспечивает выравнивание электроэрозионного износа по длине УК и максимальное использование титанового ствола в технологическом процессе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Цыбина А.С. Электроэрозионная наработка материала в коаксиальном магнитоплазменном ускорителе для нанесения покрытий // Электротехника. – 2005. – № 6. – С. 25–33.

2. Пирумов У. Г., Росляков Г. С. Газовая динамика сопел. - М.: Наука, 1990.- 368 с.

3. Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С., Шарипов Р.Р., Привезенцев С.И. Влияние короткозамкнутого фланца соленоида коаксиального магнитоплазменного ускорителя на электроэрозионный износ поверхности ускорительного канала. Фундаментальные проблемы новых технологий в 3-м тысячелетии. Материалы 3-й Всероссийской конференции молодых ученных. Томск: Изд-во ИОА СО РАН. 3-6 марта 2006 г., с. 29-33.

СОДЕРЖАНИЕ

КРУГЛЫЙ СТОЛ 3.
СТРАТЕГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КАК СОВРЕМЕННАЯ ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В РОССИИ
Видяев И.Г. **4**

МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА МАГИСТРАНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕЛОВЫХ ИГР ПО ОПЕРАТИВНОМУ УПРАВЛЕНИЮ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ
Калани Э.Я. **7**

ПРОБЛЕМЫ ЗАПАДНО – СИБИРСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО РАЗВИТИЯ В НАЧАЛЕ ТРЕТЬЕГО ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ
Едешева Ч.В. **11**

КАЧЕСТВО РАБОЧЕЙ СИЛЫ, КАК УСЛОВИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
Гаврикова Н.А., Долгих И.Е. **15**

КОНЦЕПЦИЯ «SMART GRID» КАК СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ
Видяев И.Г. **18**

ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ
Боголюбова М.Н., Охотин И.С. **21**

НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ РУСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ В МОБИЛЬНОСТИ В IT-ОТРАСЛИ
Стрельников А.В. **24**

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ
Гаврикова Н.А. **29**

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОВЕДЕНИЮ ЭНЕРГОАУДИТА
Видяев И.Г. **31**

ПРОГРАММНО-ЦЕЛЕВОЙ МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ
Гаврикова Н.А. **34**

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ В МЕТАЛЛУРГИИ
Видяев И.Г. **37**

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕЙ ОБМЕНА ДАННЫМИ И ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ
Мартюшев Н.В. **40**

СИСТЕМА ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА ПРЕДПРИЯТИЯ, КАК ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
Гаврикова Н.А. **44**

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАГРУЗКИ АППАРАТНЫХ КОМПОНЕНТОВ IT-ИНФРАСТРУКТУРЫ И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ «УМНОГО ДОМА»
Лаптев И.А. **47**

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ
Гаврикова Н.А. **51**

КАБЕЛИ ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК
Стасевская А.И. **53**

ТЕПЛОПРОВОДНАЯ НАНОКЕРАМИКА ИЗ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ И СОПУТСТВУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДАМИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Никитушкин И.В., Анненков Ю.М. **58**

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ
Чернухин Р.В. **61**

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ УЛИЧНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ
Валиуллин К. Р., Семенова Н. Г. **64**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ В КАБЕЛЯХ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ
Стрыжков А.Е. **69**

ДВУХСТОРОННЕЕ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЕ ПРЕССОВАНИЕ КОРУНДО-ЦИРКОНЕВОЙ КЕРАМИКИ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ
Дуданец А.А. **70**

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ НА ОСНОВЕ ИТТРИЙ-БАРИЕВЫХ КУПРАТОВ
Степанов К.И. **75**

ТРАДИЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХПРОВОДНИКОВ ИЗ ИТТРИЙ-БАРИЕВЫХ КУПРАНТОВ
Лазарева Н.В., Выгузов Д.О. **78**

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА НА РАЗВИТИЕ ПРОБОЯ В СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ
Барсуков Д. А. **81**

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ РАДИОЧАСТОТНЫЙ КАБЕЛЬ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПРИБОРНОГО МОНТАЖА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ
Потеряева Н.Л. **84**

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОЙ ЖИДКОСТИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ В КОНСТРУКЦИИ КАБЕЛЕЙ
Матери Т.М. **88**

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАРЕНИЯ ОДНОЖИЛЬНОГО ПРОВОДА С ИЗОЛЯЦИЕЙ И ОБОЛОЧКОЙ ИЗ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТА
Белёва Е.С. **91**

КРУГЛЫЙ СТОЛ 4. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

АУТСОРСИНГ КАК ИНСТРУМЕНТ СОКРАЩЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ
Видяев И.Г. **96**

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И БИЗНЕСС-ПРОЦЕССОВ
Лаптев И.А. **99**

РЕЗИДЕНТНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ НА СТАНКАХ С ЧПУ
Горелова А. Ю., Кристаль М. Г. **103**

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Беккер А. В. **107**

СОЗДАНИЕ ПРИКЛАДНОЙ БИБЛИОТЕКИ МОДЕЛЬНОЙ ОСНАСТКИ В СРЕДЕ КОМПАС-3D
Висторопский А.Д., Жохов Р.В. **109**

СОВРЕМЕННЫЕ СТАНДАРТЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕРВЕРА
Видяев И.Г. **113**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ СИГНАЛА ФАЗ В КОМПЬЮТЕРНОМ АНАЛИЗЕ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ
Бубёнов С.С. **118**

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ
Беккер А. В. **121**

НАДЕЖНОСТЬ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ТРОЛЛЕЙБУСА
Николаев Д.В. **124**

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО КОНТАКТОРА
Суетина Н.И. **127**

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ РАСЧЁТЫ АСИНХРОННОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ
Кашеутов Д.В. **130**

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ
Кормилин Ю. А., Гирник А. С. **133**

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРОЛЛЕЙБУСОВ МАРКИ АКСМ - 321
Черепенников О.В. **137**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОГАБАРИТНОГО ИНДУКЦИОННОГО ЛИНЕЙНОГО ДАТЧИКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО – ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА С РАБОЧИМ ХОДОМ ШТОКА ± 15 ММ
Абрамовская А.В. **140**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ ПРИВОДНОГО ДВИГАТЕЛЯ ГИДРОИМПУЛЬСНОГО МЕХАНИЗМА БУРИЛЬНЫХ МАШИН
Юровский П.Г. **146**

СИЛОВЫЕ КОММУТАЦИОННЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ГАЛЛИЯ ДЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
Ерофеев Е.В., Кагадей В.А.*, Казимиров А.И., Федин И.В. **150**

ПРИВОДЫ ТЯГОВЫХ АППАРАТОВ
Бурец А.С. **153**

ГАШЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В АВТОМАТИЧЕСКОМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕ
Пашковский В.В. **156**

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНТАКТОРА ПК-32А ДЛЯ ЭЛЕКТРОВОЗА 2ЭС6 «СИНАРА»
Феоктистов К.А. **161**

ОПТИМИЗАЦИЯ ДУГОГАСИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ КОНТАКТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА
Динь Конг Кюи. **163**

RESEARCH IONIZING EFFECT OF VARIOUS SUBSTANCES AND COVERED ELECTRODES
Bezginov R. **166**

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ
Михеев А.Ю. **170**

О КУМУЛЯТИВНОМ МЕХАНИЗМЕ СВЕРХГЛУБОКОГО ПРОНИКАНИЯ МАТЕРИАЛА ГИПЕРЗВУКОВОГО ПОТОКА В ТВЕРДЫЕ ПРЕГРАДЫ
Сайгаш А.С. **172**

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЯ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТМГ-160/10 В ПРОГРАММЕ ELCUT
Фролов А.А. **173**

ЗАМЕНА ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ В БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕМ КОНТАКТОРЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА БК-78Т
Кулибаба М.В. **177**

ДИНАМИКА ПЛАЗМЕННОЙ СТРУКТУРЫ В УСКОРИТЕЛЬНОМ КАНАЛЕ КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ
Шарипов Р.Р., Сайгаш А.С., Привезенцев С.И. **179**

ИССЛЕДОВАНИЯ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА
Клюковский С.В. **181**

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ
Клочихин Ю.А. **186**

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ АСИНХРОННЫХ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ КЛАССИЧЕСКИМ МЕТОДОМ И ПОСРЕДСТВОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ ELCUT
Асланян Р.О. **190**

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ШЕСТЕРЕНЧАТЫХ НАСОСОВ НА ПРИМЕРЕ НШН-600
Массон И.А. **193**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ
Пушкарев И.И., Ильченко И.С. **196**

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ТРОЛЛЕЙБУСОВ
Фисюнова Е.В. **199**

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭРОЗИЯ ПОВЕРХНОСТИ УСКОРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ
Великосельский В.С. **204**

СТАЦИОНАРНОЕ ВРАЩЕНИЕ НЕУРАВНОВЕШЕННОГО РОТОРА, ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННОГО ЖИДКОСТЬЮ ПРИ ДЕЙСТВИИ СИЛ ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ
Пономарёв А.В. **208**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
Кортенко А.В. **212**

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
Гулин А.О. **214**

БЕСКОНТАКТНОЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ КОММУТАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО
Номоконова Ю.А., Розаев И.А. **218**

РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭМА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ(МКЭ), РЕАЛИЗОВАННОМ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ ELCUT И ANSYS
Серов А.Б. **221**

ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
Володин С.С. **226**

ВЫБОР ПРОТОТИПА МАГНИТНОГО ПУСКАТЕЛЯ
Ринчино Ж.С. **231**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ
Кунулеков Д.С. **234**

ПРИБОР ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ОХЛАЖДЕНИЯ И МЕТОДИКА ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
Файзуллин Р. Р. **238**

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРИВОДА ДИСКОВЫХ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ЗАДАННЫМ БЫСТРОДЕЙСТВИЕМ
Шараевский А.А., Баранов П.Р. **242**

ОСНОВНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРАМВАЕВ
Калугин В.М. **249**

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ НА ОСНОВЕ ИТТРИЙ-БАРИЕВЫХ КУПРАТОВ
Степанов К.И. **252**

НЕОБХОДИМОСТЬ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Беккер А. В. **256**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКА УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ
Торопов А. В. **258**

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОНТАКТОРЫ
Коробков А.А. **262**

ВЛИЯНИЕ КОРОТКОЗАМКНУТОГО ФЛАНЦА СОЛЕНОИДА КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ НА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЙ ИЗНОС ПОВЕРХНОСТИ УСКОРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА
Шарипов Р.Р, Привезенцев С.И. **267**

ОПТИМИЗАЦИЯ ДАТЧИКА ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ
Фролова С.В. **272**

ВЫРАВНИВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА ПОВЕРХНОСТИ КАНАЛА КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ
Привезенцев С.И., Шарипов Р.Р. **275**

Научное издание

ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ

СБОРНИК ТРУДОВ РОССИЙСКОЙ МОЛОДЕЖНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

В двух томах

Том 2

Подписано в печать 03.12.2013.
Формат 60x84/16.
Бумага «Svetocopy», «ColorCopy». Печать XEROX.
Усл.печ.л. 33,24. Уч. –изд.л. 11,89.
Заказ 2/03.12.13 – 13. Тираж 30 экз.



ООО «СКАН», Студенческий центр, 634050, Томская область г. Томск, Ул. Советская,80, тел.: (3822) 56-17-26, e-mail: ntb@scan.tom.ru,
сайт: scan.tom.ru.