

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Сборник статей
XVII Международной научно-технической конференции

25 ноября – 29 ноября 2024 г.

Томск 2024

УДК 621.002(063)
ББК 34.4л0
С56

С56 **Современные проблемы машиностроения** : сборник статей XVII Международной научно-технической конференции / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2024. – 620 с.

Сборник содержит статьи XVII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения». Конференция работала по секциям: конструирование, расчет и надежность машин; электромеханика и мехатроника; современные производственные технологии; материаловедение и нанотехнологии в машиностроении; промышленная безопасность; современный промышленный дизайн; наземно-транспортные машины и комплексы; школьная секция.

Предназначен для специалистов в области материаловедения, сварки, машиностроения, а также для студентов и аспирантов вузов соответствующих специальностей.

УДК 621.002(063)
ББК 34.4л0

Редакционная коллегия

А.И. Сечин, доктор технических наук, профессор ТПУ;
М.С. Кухта, доктор философских наук, профессор ТПУ;
Е.Н. Пашков, кандидат технических наук, доцент ТПУ;
А.П. Соколов, кандидат технических наук, доцент ТПУ;
В.Н. Козлов, кандидат технических наук, доцент ТПУ;
Е.А. Ефременков, кандидат технических наук, доцент ТПУ;
С.Н. Кладиев, кандидат технических наук, доцент ТПУ;
С.В. Ляпушкин, кандидат технических наук, доцент ТПУ;
К.А. Колесникова, кандидат технических наук, доцент ТПУ;
С.Н. Сорокова, кандидат физико-математических наук, доцент ТПУ;
В.А. Аметов, доктор технических наук, профессор ТГАСУ;
М.Ю. Попов, кандидат технических наук, доцент ТГАСУ;
П.В. Исаенко, кандидат технических наук, доцент ТГАСУ;
И.И. Медведев, директор АНО ДО ДТ «Кванториум»;
Т.Г. Костюченко, кандидат технических наук, доцент АНО ДО ДТ «Кванториум»;
М.А. Джасем, кандидат технических наук, старший преподаватель ТПУ;
М.С. Черемискина, старший преподаватель ТПУ;
А.М. Богдан, эксперт ТПУ;
Т.В. Пегушина, инженер ТПУ.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН	19
ТЕХНОЛОГИЯ САД В ПРОЕКТИРОВАНИИ ОПТИМИЗАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ Мэн Шиюй, Цзинь Чжи	20
АРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТНЫХ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ Шампиева А.Т.	22
ПЛАНЕТАРНЫЕ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ ЦИКЛОИДАЛЬНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ Чавров Е.С.	25
КОНСТРУИРОВАНИЕ СБОРНЫХ И СКЛАДНЫХ ЛЕСТНИЦ Устюгов М.В.	27
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУЙНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ ЭЙЛЕРА И CFD-ТЕХНОЛОГИЙ Конюшков Е.И.	30
ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ И ИХ НОРМИРОВАНИЕ Крджаян А.В.	32
К ПРОБЛЕМЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПО САТЕЛЛИТАМ В ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМАХ Максимов И.В., Жуков И.А.	35
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НАДЕЖНОСТИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЕ Ли Синь, Гуань Юньжо	37
АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПОДКЛЮЧЕННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ Ли Шуцзя, Пэй Цзясинь	39
РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РОБОТА НА КОЛЬЦЕВОЙ ОСНОВЕ Авад П.А., Исаев Ю.Н.	41
РАСЧЕТ НА КОНТАКТНУЮ ПРОЧНОСТЬ ПЛАНЕТАРНЫХ РОТОРНЫХ ГИДРОМАШИН С НЕКРУГЛЫМИ ЗУБЧАТЫМИ КОЛЕСАМИ Базаров Б.И., Ивкина О.П.	44
ОБЗОР МЕТОДИК ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПЛАНЕТАРНО-РОТОРНЫХ ГИДРОМАШИН Ивкина О.П., Базаров Б.И.	46
ВЛИЯНИЕ ТИПА ПЛАСТИКА НА ПРОЧНОСТНЫЕ КАЧЕСТВА ПЕЧАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ Дороганов Д.В.	48
АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ МЕЖДУ САТЕЛЛИТАМИ В ПЛАНЕТАРНО-ЦЕВОЧНОЙ ПЕРЕДАЧЕ Зайцева А.В.	51

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РВС С ДЕФЕКТОМ ТИПА «НЕПРОВАР» УТОРНОГО СОЕДИНЕНИЯ Темный Н.Д.	54
АНАЛИЗ САД-СИСТЕМ ПРИМЕНЯЕМЫХ В МИРЕ Фань Синъюэ	57
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА 3D-ПРИНТЕРЕ Спиненко С.М.	59
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА Алеев Д.С.	61
МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПЯТИОСЕВОЙ ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК БЕЗКОНСОЛЬНОГО ТИПА Андропова А., Братченко Т.С, Крауиньш Д.П.	63
АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ – СТУПЕНЧАТЫЙ ВАЛ Анисимов Н.А., Черемискина М.С.....	67
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ЗУБЧАТОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ В РЕВЕРСИНЖИНИРИНГЕ Будаев В.Е.....	69
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЕ ЗАКРЫЛКОВ Воробьев Д.И.	71
ТИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ И ИХ ЗНАЧЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ Гвоздев М.В.	73
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УПАКОВОЧНОГО АВТОМАТА Гуров И.А.....	75
ВЛИЯНИЕ СМАЗКИ НА КПД ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ Гынгазов В.Н., Черемискина М.С.	77
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ШАССИ САМОЛЕТОВ Зыков О.Д.	79
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ АВТОМОБИЛЯ-РЕФРИЖЕРАТОРА Казаков К.С.....	81
УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС Краснослободцев Т.В.....	83
ПАГУБНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ЭФЕКТА НА МЕХАНИЗМЫ МЕТОДЫ БОРЬБЫ Лановский Н.А.	86
ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ БЕССЕПАРАТОРНЫХ РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗУБЧАТОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ Микаелян А.Т., Трофимов Н.А., Пашков Е.Н.	88
РАСЧЁТ ЁМКОСТИ ШАРИКОВОГО АВТОБАЛАНСИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ВЕНТИЛЯТОРА Недошивин В.В., Зиякаев Г.Р.	90

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ НА БАЗЕ ДИПЛОСКОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ Пиунов А.С.	92
СРАВНЕНИЕ ЗАЦЕПЛЕНИЯ НОВИКОВА И СТАНОВСКОГО Пугин О.В., Пашков Е.Н.	94
КОМПОНОВКА МАЛОГАБАРИТНОГО ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА Рузанова А.Г., Крауиньш Д.П.	98
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА НА СИЛЫ В ЗАЦЕПЛЕНИИ ДВУХПОЛЮСНОЙ ЦИКЛОИДАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ Русин А.А.	101
ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ, СОДЕРЖАЩИХ РЕЗЬБЫ, В САД-СИСТЕМАХ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ Сенчило В.П.	103
ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВХОДНОГО ВАЛА ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА Сильнягин А.Н., Черемискина М.С.	105
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА КРИВОШИПНО-КОЛЕННОГО ПРЕССА Смирнов И.П.	107
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПОДШИПНИКОВ Спиридонов А.В.	109
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ «ПРЕССА-АВТОМАТА» Черченко В.К.	111
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА ЗУБЬЕВ ШЕСТЕРНИ МЕТОДОМ ОБМЕРА Эшматов А.К.	113
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФРЕЗЕРНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО СТАНКА С ЧПУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА Масловский А.А., Крауиньш Д.П.	115
УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ Бахытханова А.	117
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОМ МАШИНОСТРОЕНИИ Шарафиева Р.Р., Денисова Я.В., Сопин В.Ф.	119
ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЁТ РУКИ РОБОТА ГУМАНОИДА Каличкин К.К.	121
РАСЧЁТ РЕДУКТОРА РОБОТА ГУМАНОИДА Каличкин К.К.	124
САПР И КАК ИХ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ Казанцев В.А., Казанцева О.А., Сонвальд К.Я.	128

ОДНОМЕРНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДИАГНОСТИКИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	
Лаубган К.В., Гаврилин А.Н.	131
ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАВИТАЦИОННОГО ЛОПАСТНОГО СМЕСИТЕЛЯ–ДИСПЕРГАТОРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПОРОШКОВЫХ СУСПЕНЗИЙ	
Леонтьев Н.А., Букин А.А., Гордеев Ю.И.	134
НАИБОЛЕЕ ИЗНАШИВАЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ И МЕТОДЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ	
Пищальников Я.И.	137
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ	
Сидоренко А.А., Пустовых И.В., Семенов Г.В.	139
МАГНИТНЫЕ ОПОРЫ	
Комлягин К.Д.	140
ПОДБОРЩИК ПРОСЫПИ: КОНСТРУКЦИЯ, НАЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ	
Кривошеев Д.Ю.	142
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ УКЛАДКИ АРМАТУРНОЙ ПРОВОЛОКИ	
Рожков П.Д.	145
УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА ЗА СЧЁТ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИИ	
Окороков Е.А.	147
ПРОЕКТИРОВАНИЕ САМОУСТАНОВЛИВАЮЩЕЙСЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ С АРОЧНЫМИ ЗУБЬЯМИ	
Стариков А.И., Сызранцев В.Н.	149
СЕКЦИЯ 2 ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И МЕХАТРОНИКА	156
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАТРОННОГО УДАРНОГО СТЕНДА	
Попов А.Н., Полищук М.Н., Решетов Д.В.	157
ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ДЕМПФЕР НА ОСНОВЕ ТРАБЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ	
Коптев И.К., Ермаков Д.В., Дерусова Д.А.	159
РАСЧЕТ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ НАСТРАИВАЕМОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НЕСТАЦИОНАРНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА	
Кулеш Ю.О., Беляускене Е.А., Боловин Е.В.	162
РАЗРАБОТКА ПИД-КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО МАНИПУЛЯТОРА	
Авад П.А., Мамонова Т.Е.	165
АНАЛИЗ ОСОБЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ БЕСПРОВОДНОЙ ЗАРЯДКИ НА СТЫКОВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ БПЛА	169
Соболев В.С., Кустов А.С., Ковалевский Д.О.	169

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СМЕСЕВОГО БИОТОПЛИВА Попрядухин В.С., Курашкин С.Ф., Ковалев А. В., Постникова М.В., Борохов И.В.	172
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СМЕСЕВОГО БИОТОПЛИВА Попрядухин В.С., Кушлык Р.В., Минаева Т.С.	174
ИЗОЛЯЦИЯ СУДОВЫХ КАБЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ БЕЗГАЛОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ Душкин Ю.В., М.Д. Жульмина, Леонов А.П.	176
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАРАБОТКИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ Журиков Р.Н., Невмывака А.Н.	178
ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХЗОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕКТОРА ТЯГИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА Филипас А.А., Пластунова С.Н.	180
СЕКЦИЯ 3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	183
ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПО КРИТЕРИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ РОТАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ МНОГОРАННЫМИ РЕЗЦАМИ Гопанцов Д.Н., Бинчуров А.С., Гордеев Ю.И., Колбасина Н.А.	184
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА 3D-ПЕЧАТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ МАРКИ 316L Рюмин Е.Е., Криницын М.Г., Торопков Н.Е., Лернер М.И.	187
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ Синюков М.С.	189
МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ СЕГМЕНТИРОВАНИЯ СТРУЖКИ ПРИ ТОЧЕНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СТАЛЕЙ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА Сергеева В.М., Гильвитинов М.О.	191
ОПТИМИЗАЦИЯ ФРЕЗЕРНОЙ ОПЕРАЦИИ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОКИ МАТЕРИАЛА НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕМ ОБОРУДОВАНИИ С ЧПУ Морев Д.А., Ефременков Е.А.	193
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЗАМКОВЫХ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПУТЕМ ФИНИШНОЙ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ Каренина Р.А.	196
МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ОДНОИМПУЛЬСНОЙ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКОЙ Каргин А.М.	198
ПОСТРОЕНИЕ РАСПИСАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О РЮКЗАКЕ Андреев Д.И., Муравьев С.В.	202

ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ «MES» В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ Малеев Л.А., Шаповалов Д.С.	205
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ФРЕЗАМИ-РОУТЕРАМИ Салатов К.О., Вакулин М.С., Гордеев Ю.И., Бинчуров А.С.	207
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НА ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ НАПЛАВКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ КОСВЕННОЙ ДУГОЙ Безруких А.А.	210
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КРУГЛЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ СВЕРХТВЁРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО ОХЛАЖДЕНИЯ Кокорин И.Н.	212
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И СОЗДАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СБОРОК В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА Рагиня Д.В., Бинчуров А.С., Ясинский В.Б.	214
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ФАСКЕ ИЗНОСА РЕЗЦА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ Козлов В.Н., Бабаев А.С., Семёнов А.Р.	216
ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ СПЛАВА ИНКОНЕЛЬ 625 МЕТОДОМ WAAM Бельчиков И.А., Бабаев А.С., Семёнов А.Р.	221
ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ШИРОКОАПЕРТУРНЫХ ВНЕОСЕВЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ ДЛЯ ПЕЧАТИ ПРИ ПОМОЩИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ Бердников Н.С., Шкитов Д.А.	223
ПЕЧАТЬ МЯСА В КОСМОСЕ Будницкая А.И.	227
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ И ИНТЕГРАЦИИ АККУМУЛЯТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОМОБИЛЯХ Вагнер А.М.	229
МАТЕРИАЛЫ В УСКОРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ: ВЫБОР КОНСТРУКЦИОННЫХ ПРОФИЛЕЙ Шкитов Д.А., Волков М.И.	231
АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ Груздев А.А.	234
НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ КОНЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ КРУГЛЫМИ РЕЖУЩИМИ ПЛАСТИНАМИ Дин Ц., Козлов В.Н., Семёнов А.Р.	236
ВЛИЯНИЕ ВИДА НАГРУЗКИ НА ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗЦА НА НДС РЕЖУЩЕГО КЛИНА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ Дин Ц., Козлов В.Н., Цао С.	238

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВУЗЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КВИЗОВ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ Ломовская С.А., Самолук Н.Г.....	242
3D-ПЕЧАТЬ КАК СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО БЕЗВОЗДУШНОГО БАСКЕТБОЛЬНОГО МЯЧА Ураймахунов Р.Р.	245
ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ГРАВИТАЦИИ КАК ПРОБЛЕМА 3D-ПЕЧАТИ Ураймахунов Р.Р.	248
ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ СЛОЕВ Протопопова Е.Ю., Лысак И.А.	251
КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ ПЛАЗМЕННОГО ПЛАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ $MGO-AL_2O_3-SiO_2$ Шеховцов В.В., Улмасов А.Б., Семеновых М.А.	253
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТРЕНДЫ И ВЫЗОВЫ Цзя Чуанчуан.....	255
МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРЕХФАЗНОГО ДУГОВОГО РЕАКТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА Поваляев П.В., Шляхов Т.С., Корытов Д.А., Власов А.В.	257
АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ ИЗ ЧИСТОГО ТИТАНА $TA1$, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЕЧАТИ Ци М., Чжан Ц., Клименов В.А., Козлов В.Н., Чинахов Д.А., Чернухин Р.В., Майорова Е.И.	259
РАЗРАБОТКА АДДИТИВНО-СУБТРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ Байдуров М.А. Щербатов Г.Я.	263
МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА (ОБЗОР) Ван Цзымин.....	265
ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ В МЕХАНИЗМАХ ДРЕВНЕГО КИТАЯ Лю Сяоцзе, Лю Линъи.....	267
МЕХАНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДРЕВНЕМ КИТАЕ Чжоу Юйцзе; Дун Хуэйюй; Ван Ижу.....	269
МЕХАНИЧЕСКАЯ ТРАНСМИССИЯ ВЧЕРА – СЕГОДНЯ – ЗАВТРА (ОБЗОР) У Вэньфэн, Цао Сяохуэй.....	271
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ «БАРАБАН (ПЕРЕДНЯЯ ЧАСТЬ)» Цуй Шуан.....	273
РАЗВИТИЕ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ 3D-ПЕЧАТИ И ДРУГИХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СЛОЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ И ЦЕЛЫХ УЗЛОВ.....	275
Шейерман Ю.Д.....	275

СЕКЦИЯ 4. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НАНОТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ.....	277
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗООБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ СПЕКАНИЯ ПОРОШКОВЫХ ПРЕССОВОК $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3\text{-Fe}$ и $\text{Ti-Fe}_2\text{O}_3\text{-Fe-C}$ Сафронова В.С., Князева А.Г., Коростелева Е.Н.	278
ВЛИЯНИЕ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ Жукова Т.В.	281
ВЛИЯНИЕ ПРОБОПОДГОТОВКИ НА СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА Лиханосова У.А., Станько А.Ю.	283
АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО СПЛАВА FeAlCoNiCrC Дмитриенко А.Н., Юаньсюнь Лю, Ковалевская Ж.Г.	285
ИСКРОВОЕ ПЛАЗМЕННОЕ СПЕКАНИЕ БОРИДОВ МОЛИБДЕНА, ПОЛУЧЕННЫХ БЕЗВАКУУМНЫМ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ Васильева Ю.З., Некля Ю.А.	287
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДОВ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ Александрова Е.П., Наплавкова К.С.	289
ВЛИЯНИЕ ЗАКАЛКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЛАВА AA2055 Юзбекова Д.Ю., Зуйко И.С.	291
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ Филиппов Д.М., Колесникова К.А.	293
АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВОЙ МЕДИ СИСТЕМЫ Cu-Al-C-O Владимирова Ю.О., Плотников В.В., Шалунов Е.П.	295
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ ПРОВОЛОКИ ИЗ ТИТАНА С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В НАПЛАВЛЯЕМОМ МАТЕРИАЛЕ И ПОДЛОЖКЕ Савлук А.А., Савлук Д.А., Лысак Г.В., Лысак И.А.	298
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ ПРОВОЛОКИ ИЗ ТИТАНА С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В ПРОЦЕССЕ НАПЛАВКИ Савлук Д.А., Савлук А.А., Лысак Г.В., Лысак И.А.	300
ЗАЩИТА СТЕКОЛ ИЛЛЮМИНАТОРОВ В КОСМОСЕ Шемелева Д.И.	302
МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКОННО-АРМИРОВАННЫХ ПФА-КОМПОЗИТОВ ПРИ ЛИНЕЙНОМ ТРИБОКОНТАКТЕ В УСЛОВИЯХ СУХОГО РЕНИЯ Шэнь Ю., Буслович Д.Г., Панин С.В.	305

АНАЛИЗ СОЕДИНЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ДЕТАЛЯХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ЦИКЛИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ Расстальная Д.С.....	308
РАЗРАБОТКА АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛАМИДА И НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА Чжун Х., Шевченко И.Н., Лямина Г.В.....	310
РАЗРАБОТКА АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА Афум Э.Т., Шевченко И.Н., Лямина Г.В.	313
ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОЙ ТРУБЫ Юршев В.И., Юршев И.В., Кириленко А.С.	316
ВЛИЯНИЕ НИТРАТА ЕВРОПИЯ НА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОРОШКОВ СИСТЕМЫ ОКСИД ИТТИРЯ – ОКСИД АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШКИ Деулина Д.Е., Пайгин В.Д., Шевченко И.Н., Илела А.Э.	319
ВЛИЯНИЕ МЕТОДА КОНСОЛИДИРОВАНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КАРБОНИТРИДА ЦИРКОНИЯ Кузьменко Е.Д., Матренин С.В.	321
ОПТИЧЕСКОЕ ПРОПУСКАНИЕ КЕРАМИКИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ ИЗ КОММЕРЧЕСКОГО НАНОПОРОШКА $MgAl_2O_4$ С ДОБАВКОЙ LiF Лян Линьсинь, Хуан Фули, Деулина Д.Е., Шевченко И.Н., Пайгин В.Д.	323
ВЛИЯНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ТОЧЕЧНЫМИ ДЕФЕКТАМИ НА ДИСЛОКАЦИОННОЕ ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ВИНТОВОЙ ДИСЛОКАЦИИ В ДИССИПАТИВНОЙ СРЕДЕ Дежин В.В.	325
МЕТОДИКА АНАЛИЗА КОЛЛОИДНЫХ СВОЙСТВ НАНОЧАСТИЦ Лю Я, Станько А.Ю.	328
ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ХЛОРИДА НАТРИЯ НА ПРОЦЕСС МИКРОВОЛНОВОГО СПЕКАНИЯ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАКА Женжурист И.А.	331
О ТЕКСТУРЕ СПЛАВА АА2055 ПОСЛЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ И ЗАКАЛКИ Зуйко И.С., Юзбекова Д.Ю., Миронов С.Ю.	333
ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГАЗИФИЦИРУЕМОЙ МОДЕЛИ ЛИТЕЙНОЙ ЗАГОТОВКИ.....	335
Мухаметшина Е.С., Малышев А.В.	335
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В ОБРАЗЦЕ ИНКОНЕЛЬ 625, ПОЛУЧЕННЫМ ПО АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЕВАМ Овчаренко В.А., Бабаев А.С., Семёнов А.Р.	338
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОРОШКОВ АЛЮМОМАГНИЕВОЙ ШНИПЕЛИ ПОЛУЧЕННЫХ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ.....	340
Лю Синьуй, Илела А.Э.	340

THE EFFECT OF ZIRCONIUM TUNGSTATE (ZT) PARTICLES ON THE STRUCTURE AND TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF POLYETHERIMIDE/POLYTETRAFLUOROETHYLENE MATRIX COMPOSITES He C.J., Buslovich D.G., Tarasov S.Yu., Panin. S.V.....	342
СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОПОРОШКОВ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ Фу Цзинъюй, Илела А.Э.....	344
ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБОВ ИХ НАНЕСЕНИЯ Ражабов Х., Колесникова К.А.....	346
МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫМ В _{ам} В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ Сорока М.В., Колесникова К.А.	349
ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ДЛИННОМЕРНОГО ИЗДЕЛИЯ Марьин С.С.....	351
АНАЛИЗ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ВАЛА ПРЯМОХОДНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НОВОЙ РАЗРАБОТКИ Зонтиков Е.В.....	353
ИЗУЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ СТЕКОЛ ПРОТИВ ЭРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЧАСТИЦ Турсунханова Р.Б., Сергеев В.П.	355 355
АППАРАТУРНО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИТОВ ИЗ ОТХОДОВ УГЛЕПЛАСТИКОВ Букин А.А., Тимошев П.В., Леонтьев Н.А, Бинчуров А.С., Гордеев Ю.И.....	357
СЕКЦИЯ 5. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	360
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ Казинцев Р.В.....	361
К УТОЧНЕНИЮ МЕТОДА ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ УЯЗВИМОСТИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ СЦЕНАРИЕВ АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ТЭК Соловьев О.И., Мосолов А.С., Акинин Н.И.....	363
ЗАЩИТА ОПЕРАТОРА ОТ ВИБРАЦИИ НА ОБОРУДОВАНИИ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СПОСОБАХ СВАРКИ Дында Е.П.	365 365
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОПЕРАТОРА ОБОРУДОВАНИЯ – ВАКУУМНАЯ КАМЕРА Ившин В.С.	367 367
СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ, ИСПОЛЗУЕМЫХ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ..... Чжао Вэнья, Чжан Ифань, Сорокова С.Н.	369 369

ЗАЩИТА ОТ РЕНГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОНОЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ Киппес К.Д.....	371
ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ОТ 3D-ПЕЧАТИ Кириянов А.А.	373
РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРОГРЕВА И ОБЪЕМА ВЫДЕЛЯЕМОЙ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ИЗ ЧАСТИЦЫ ТОПЛИВА Сечин А.И., Мезенцева И.Л. Сечин А.А.....	375
КИНЕТИКА ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ СОЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ВОДЫ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ Пилипец Н.В., Матвеев А.П., Штенцов Д.Г., Сечин А.И.	379
РАЗРАБОТКА МЕТОДА И ПРИБОРА СОЗДАНИЯ АЭРОДИСПЕРСНЫХ ОБЛАКОВ С ЦЕЛЬЮ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ Сечин А.И., Мезенцева И.Л., Сечин А.А.,.....	382
ПОДГОТОВКА ОГНЕТУШАЩЕГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ВОДОГАЗОВОЙ СМЕСИ (ЭМУЛЬСИИ) Пилипец Н.В., Матвеев А.П., Штенцов Д.Г., Сечин А.И.	386
СЕКЦИЯ 6. СОВРЕМЕННЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН.....	389
СОВРЕМЕННЫЕ РЕВОЛЬВЕРНЫЕ ГОЛОВКИ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ Дыров Н., Кухта М.С.	390
ДИЗАЙН СОВРЕМЕННОГО ТОКАРНОГО СТАНКА С ЧПУ Казак А.К., Кухта М.С.	393
ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ДИЗАЙН РУКИ РОБОТА ГУМАНОИДА Каличкин К.К..	396
АНТИВИБРАЦИОННАЯ ДЕРЖАВКА Нурмукаев К.Ж., Кухта М.С.	399
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ Сидоренко А.А., Кухта М.С.....	404
КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЙ ПЯТИКООРДИНАТНОГО ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА Суханов М.А., Кухта М.С.	406
АНТИДИЗАЙН В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ Ергин И.А.	412
ХУДОЖЕСТВЕННАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ Милицин М.В.	414
РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО ГАЙДА ПРОГРАММЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ «ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН» Семенюта К.В.....	416
ШВЕЙЦАРСКИЙ СТИЛЬ В ВЕБ-ДИЗАЙНЕ Алферьева В.Е.	419
MOBILE FIRST: НОВЫЙ СТАНДАРТ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕБ-САЙТОВ Алферьева В.Е.	422

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ Бердюгин Д.О., Соколов А.П.	425
Значимость ВЕБ-ДИЗАЙН В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ Прокопчук Д.Д.	428
УВЕЛИЧЕНИЕ РАЗНООБРАЗИЯ СВЕТИЛЬНИКОВ Карелин С.Ю., Соколов А.П.	431
ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ И ПСИХО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ПСИХИАТРИЧЕСКИХ БОЛЬНИЦ Будянская Е.А., Кухта М.С.	434
СТИЛИЗАЦИЯ ОБРАЗОВ РУССКОЙ КУЛЬТУРЫ КАК СПОСОБ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ В ДИЗАЙНЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В КОНТЕКСТЕ ГЛОКАЛИЗАЦИИ Бурнышева Е.С., Давыдова Е.М.	438
КОНСТРУКЦИЯ И ДИЗАЙН ВЕНСКОГО СИФОНА Вишнякова Н.Ф., Кухта М.С.	441
НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ПОДХОД К УВЕЛИЧЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ Гарифуллин Ф.	444
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ И СКЛАДНОГО МЕХАНИЗМА ХОЗЯЙСТВЕННОЙ СУМКИ Годунова А.Е.	447
ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ГАЙДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГРАММ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ Ершова А.А.	449
ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ФОТОГРАММЕТРИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ Ануфриев М.Д.	451
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В КОНСТРУИРОВАНИИ И ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНВЕЙЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ Кривошеев Д.Ю., Кухта М.С.	455
ТЕХНОЛОГИЯ ПРЯМОГО ПРИВОДА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ВРАЩАТЕЛЬНЫМ СИСТЕМАМ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ Кузнецов Е.Ф., Кухта М.С.	458
ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ЗЕЛЕННОГО ДИЗАЙНА В МАШИНОСТРОЕНИИ Ли Дэсян, Цзинь Чжи.	462
РАЗВИВАЮЩИЕ ИГРУШКИ Матусев А.С., Соколов А.П.	464
ЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ДИЗАЙНЕ СЦЕНАРИЯ КОМФОРТНОГО ОСВЕЩЕНИЯ Нестеров Т.М., Васильева М.О.	466
АНАЛИЗ СООТНОШЕНИЯ ЭСТЕТИКИ И ФУНКЦИИ В ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИИ МОДУЛЬНОГО БИОНИЧЕСКОГО ОРТЕЗА РУКИ Полех Е.С.	469

ДИЗАЙН СОВРЕМЕННОГО ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА Рузанова А.Г., Кухта М.С.....	472
АРХИТЕКТУРНАЯ ПОДСВЕТКА: ВАРИАНТЫ КРЕПЛЕНИЯ СВЕТИЛЬНИКОВ К ФАСАДАМ Симанович Е.Е., Кухта М.С.	475
МОДЕЛИРОВАНИЕ – ПОМОЩЬ ПРИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГОТОВОГО ПРОДУКТА Старобахина В.Г.....	478
ЭРГНОМИКА В СМАРТФОНЕ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОДНОЙ РУКОЙ Трушляков В.А.....	480
МОДУЛЬНЫЙ НОЧНИК СО СВЕТОВЫВОДЯЩЕЙ ПАНЕЛЬЮ Турбина Е.А.....	482
ВЫЯВЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К АППАРАТУ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ЗДОРОВОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ Турбина Е.А., Вехтер Е.В., Туранов С.Б.	484
СЕКЦИЯ 7. НАЗЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ	487
ВИДЫ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН Мусатова Ю.С., Савкович А.А., Власов Ю.А., Фукс В.Р.	488
ВЫБОР МЕТОДА АНАЛИЗА ГРУБОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ НЕФТЕПРОДУКТОВ Мусатова Ю.С., Савкович А.А., Власов Ю.А.	490
СЕДИМЕНТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА ЗАГРЯЗНЕНИЙ НЕФТЕПРОДУКТОВ Мусатова Ю.С., Савкович А.А., Власов Ю.А., Фукс В.Р.	493
СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.	496
СОСТОЯНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.	499
К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ТОМСКОЙ АГЛОМИРАЦИИ Кобылянский Р.А., Власов Ю.А.	502
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.	505
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЛЬТРАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.	508
ТИПЫ ФИЛЬТРОВ И СПОСОБЫ ИХ ВКЛЮЧЕНИЯ В ТОПЛИВНУЮ СИСТЕМУ ДВИГАТЕЛЕЙ Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.	511
ОЧИСТКА ТОПЛИВА И МАСЛА В СИЛОВЫХ ПОЛЯХ Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.	514

ПРИБОР ДЛЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОСМОТРА	
Алушкин Т.Е., Зубрицкий А.В., Спирин Е.Н., Полозова С.А.	516
РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ	
Барков Ю.М., Власов Ю.А., Фукс В.Р.	518
АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ	
Зубрицкий А.В., Федяев В.О., Ахмадышин Д.С.	521
АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ ОТКАЗОВ ДИЗЕЛЬНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ БЕЛАЗ	
Зубрицкий А.В., Алушкин Т.Е., Абдуллаева З.А., Сапьян А.В., Майоров С.М.	525
МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ И САМОХОДНЫХ МАШИН ПО ПАРАМЕТРАМ КАРТЕРНЫХ ГАЗОВ	
Власов Ю.А., Спирин Е.Н., Алушкин Т.Е.	528
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ГОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ ANYLOGIC	
Кобылянский Р.А., Спирин Е.Н., Алушкин Т.Е.	530
ШКОЛЬНАЯ СЕКЦИЯ ЮНЫЙ ТЕХНИК	532
ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ	
Журавлев М.Д.	533
РОБОТИЗИРОВАННЫЙ СПОСОБ ЧИСТКИ ТРУБ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ	
Григорьев К.А., Каманин М.Р.	536
НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ИННОВАЦИИ 2024 – ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ	
Минайлов К.В.	538
ВИРТУАЛЬНЫЙ ГЕЙМЕРСКИЙ УГОЛОК	
Тонкоглаз Я.А.	540
ДИЗАЙН-ПРОЕКТ РАЗВЛЕКАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА «КАЛЕЙДОСКОП»	
Балабан А. Колмаков А.	543
ЭЛЕКТРОНИКА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КОСМИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯТОРАХ	
Киселев Л.Н., Белоусова А.А., Аверьянов М.И., Бывшенко А.В.	546
РАЗРАБОТКА ВЫПУСКАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА ДЛЯ СИСТЕМЫ РАЗВЕРТЫВАНИЯ СПУТНИКОВ «КОСМИЧЕСКАЯ КАТАПУЛЬТА»	
Белоусова А.А., Аверьянов М.И., Киселев Л.Н.	548
МЕХАНИЗМ ОТКРЫТИЯ КРЫШКИ СИСТЕМЫ РАЗВЕРТЫВАНИЯ СПУТНИКОВ «КОСМИЧЕСКАЯ КАТАПУЛЬТА»	
Аверьянов М.И., Белоусова А.А., Киселев Л.Н.	550

РОБОТ-УПАКОВЩИК ПОДАРКОВ	
Лабунин В.Е., Дубинин Р.Е.....	552
ОБЕЗЬЯНА-ЭКСКУРСОВОД	
Буртовой К.Е., Рачис А.А., Рулевский Е.В.....	553
РОБОТ ДЛЯ СБОРА БАХИЛ	
Ткачев А.А.	555
КВЕСТ-ЭКСКУРСИЯ ПО ГИМНАЗИИ № 6	
Цапко А.Ю.	557
РОБОТ-МЕРЧАНДАЙЗЕР	
Шумилевич И.Ю.	559
УПРАВЛЯЕМЫЙ СВЕТОВОЙ ПРИБОР НА ОСНОВЕ СВЕТОПРОВОДЯЩИХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ КОМФОРТНОГО ОСВЕЩЕНИЯ	
Бричков Г.А.	560
ПРОБЛЕМА ЗАЖАТИЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ	
Харитонов А.В.	562
ПРИЛОЖЕНИЕ «РАЗВЛЕКАТЕЛЬНАЯ ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ»	
Ананин А.И., Федин А.Д., Бударев К.А., Чащин В.М.	564
ПРИЛОЖЕНИЕ-ИГРА «ТОГДА И СЕЙЧАС»	
Бронников И.П., Бронников А.П., Плашевский М.В.	566
ПРИЛОЖЕНИЕ «СИМУЛЯТОР МАШИНИСТА VR»	
Верлинский М.В., Тюрин Н.О., Святный М.А.....	568
РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОТЛАДОЧНЫХ И ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ «ROBOSET»	
Гужихин И.А.	570
СИСТЕМА ФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУХА МХОМ	
Вершинский А.П., Саломатов И.В., Григорьев К.А.	572
ДЕТЕКТОР ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА	
Виншель В.С., Ноженко К.Р., Хворостов Е.Д., Шмидт Г.Е.....	574
ПРИЛОЖЕНИЕ «ДРОН-КОНСТРУКТОР»	
Гончаров М.В., Попков М.А., Вялов А.М.	577
УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ «NOTHING WATER»	
Демин Д.А.....	579
СОЗДАНИЕ 3D-МОДЕЛЕЙ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ ГОРОДА ТОМСКА	
Ефремов К.Б., Лусникова А., Костылева М., Лусников Т. Шаклеина А., Торопов Е., Семакина М.	584
ДРОНОХОД	
Ильченко Н.А., Ромашов С.О.	586
РАЗРАБОТКА БЫТОВОГО МАССАЖЕРА С ФУНКЦИЕЙ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ	
Кравченко М.А.	588

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ VR-КЛАСС «ПОЛЮС»	
Пилипенко Н.М. Левко С.Р., Шеин А.А.	590
ПРИЛОЖЕНИЕ ИГРА «ПРИПЯТСТВИЕ НА ЛЕТУ»	
Коваленко С.М., Соколов С.Я., Никитков А.А.	592
ВИДЕОИГРА НА UNITY «МОВУ: THE LEGEND»	
Слюта Е.А.	594
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ДРОН НА ВОДНОЙ ПОДУШКЕ	
Пискунов М.С.	596
ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫЙ ДРОН	
Цуканов В.Н., Родин Р.А.	598
РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВЕЛОСИПЕДА	
Дорохов М.Д.	601
МИНИМОБИЛЬ	
Козлов Е.Е., Захаров Д.В.	603
АВТОНОМНАЯ ДОСТАВКА ГРУЗА С ПОМОЩЬЮ ДРОНА	
Шалдо Н.	605
РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	
Михлеева А.М.	607
АВТОНОМНЫЙ БПЛА САМОЛЕТНОГО ТИПА ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ	
Шуплецов М.А.	609
АЛГОРИТМ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ ПРИ ИНСУЛЬТЕ. СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ	
Пантюхина Л.Ю., Остердак А.А., Богдан В.С.	611
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ПЛАТФОРМА «ДЕМИУРГ»	
Носовец В.А.	613
ПРИЛОЖЕНИЕ «НА ВСЮ НОЧЬ В МУЗЕЕ»	
Юдин Д.Д., Болтовский А.В.	615
ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ЛУНОХОДА	
Поляков. Т.Л.,	616

СЕКЦИЯ 1
КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

ТЕХНОЛОГИЯ CAD В ПРОЕКТИРОВАНИИ ОПТИМИЗАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ

Мэн Шиюй¹, Цзинь Чжи²

¹Международный инженерный институт Шэньянского политехнического университета
и Томского политехнического университета, группа-22180101,
e-mail: azhi0226@mail.ru

²Шэньянский политехнический университет, Международный инженерный институт,
заведующий кафедрой,
e-mail: azhi0226@163.gmail.com

Аннотация: Оптимизация механической надежности является важной частью разработки механических изделий, и ее эффект оптимизации будет проходить через весь жизненный цикл проектирования, производства, обработки и изготовления механических изделий. Применение технологии CAD в процессе проектирования оптимизации надежности механических изделий позволяет объединить информационные технологии с проектированием изделий, реализовать обмен данными, создать платформу обмена информацией, повысить эффективность проектирования механических изделий и эффективно обеспечить качество изделий.

Ключевые слова: механическая надежность; технология CAD; SolidWorks; проектирование оптимизации

Как передовая программная технология, технология CAD все шире используется в области механического проектирования. Применение технологии CAD не только повышает эффективность и качество процесса механического проектирования, но и значительно улучшает традиционные методы проектирования. В частности, модуль анализа методом конечных элементов в технологии CAD играет жизненно важную роль в механической технологии CAD, он может не только помочь инженерам анализировать и прогнозировать характеристики конструкции, но и оптимизировать проектирование, проверить надежность проектирования, уменьшить потребность в физических испытаниях и повысить точность проектирования.

1. Проектирование оптимизации механической надежности

Механическая надежность, как основной элемент современной деятельности по обработке и производству механических изделий, обычно можно разделить на структурную надежность и надежность механизма. Конструктивная надежность в основном учитывает прочность механической конструкции, а также усталостное разрушение, разрушение износа и разрушение излома, вызванные нагрузкой. Надежность механизма в основном учитывает отказ механизма, вызванный кинематическими проблемами механизма в процессе работы. Следовательно, оптимизация механической надежности является важной частью разработки механических изделий, и ее эффект оптимизации будет проходить через весь жизненный цикл проектирования, производства, обработки и изготовления механических изделий. Проектирования оптимизации надежности механических изделий в основном делятся на этап проектирования оптимизации надежности, этап производства оптимизации надежности и этап послепродажного обслуживания оптимизации надежности [1].

2. Технология CAD

В 1960-х годах технология CAD использовалась для содействия проектированию и черчению, помогая инженерам превращать идеи в визуальные проектные чертежи. С развитием компьютерных технологий программное обеспечение CAD стало мощным инструментом, который может обеспечивать такие функции, как трехмерное моделирование, имитационный анализ и управление данными и т. д. Развитие технологии CAD делает процесс механического производства более эффективным и точным, что значительно повышает качество и эффективность проектирования и изготовления изделий [2].

В процессе проектирования механической надежности дизайнер может использовать трехмерное программное обеспечение CAD для моделирования изделия, затем использовать технологию CAD для виртуальной сборки и анализа использования, в соответствии с результатами имитационного анализа, оптимизировать характеристики и структуру схемы проектирования изделия, а также ввести проектированное изделие в программное обеспечение конечных элементов для анализа оптимизации формы, анализа силы, анализа вибрации, анализа усталости, анализа теплорассеивания, анализа потока формы и т. д. до тех пор, пока не будет соответствовать проектным требованиям.

В традиционном проектировании оптимизации, чтобы обеспечить рациональность, научность и надежность проектирования изделий, большинство из них используют метод добавления коэффициента безопасности, который не только легко приводит к растрате ресурсов, но и не реализует оптимизацию проектирования изделий. Применение технологии CAD в процессе проектирования оптимизации механической надежности изделий позволяет объединить информационные технологии с проектированием изделий, реализовать обмен данными, создать платформу обмена информацией и повысить эффективность проектирования механических изделий, тем самым эффективно гарантируя качество изделий.

3. Технология CAD в проектировании оптимизации механической надежности

В технологии CAD интеграция анализа методом конечных элементов очень важна. Например, программное обеспечение SolidWorks является первой в мире трехмерной системой CAD, разработанной на основе Windows. Встроенный в программное обеспечение плагин анализа конечных элементов позволяет дизайнерам непосредственно создавать модели, анализировать структуру и оптимизировать проектирование в привычной среде CAD. Анализ напряжений методом конечных элементов с помощью модуля Simulation, входящего в программное обеспечение SolidWorks, не только устраняет ошибку анализа, вызванную потерей данных при импорте модели, но и в значительной степени сокращает цикл проектирования изделия, повышает эффективность проектирования дизайнеров, эффективно улучшает структуру изделия и повышает надежность проектирования изделия, эффективно отражает важную роль технологии CAD в проектировании оптимизации надежности механических изделий.

В заключение следует отметить, что в процессе проектирования оптимизации механической надежности, с помощью технологии CAD, дизайнеры могут создавать, модифицировать и оптимизировать проектирование цифровым способом в соответствии с мощными функциями трехмерного моделирования, моделирования движения, анализа методом конечных элементов и параметрического проектирования, предоставляемыми технологией CAD. Значительно повышает эффективность и точность проектирования механических изделий [2].

Список литературы

1. Тань Сяоцзюнь, Цзян Лэй. Исследование проектирования оптимизации надежности в механическом проектировании и производстве [J]. – Производство пресс-форм, 2023. – 7:116–118.
2. Юань Юньфань. Состояние применения и развития технологии CAD в современном машиностроении и проектировании [J]. – Горизонт науки и техники, 2024. – 14(13): 94–96.

АРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТНЫХ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

*Шампиева А.Т.
НИ ТПУ, ИШПР, А4-20,
e-mail: shampiyeva@mail.ru*

Аннотация. Статья посвящена обзору металлокомпозитных баллонов высокого давления: разновидностям, свойствам, характеристикам, схемам армирования (методам намотки). Рассмотрены вопросы оптимизации конструкции баллона на основе результатов конечно-элементного моделирования.

Ключевые слова: металлокомпозитный баллон, тип баллона, метод намотки, схема армирования, лейнер, ровинг.

Abstract. The article is devoted to the review of high-pressure metal-composite vessels: varieties, properties, characteristics, reinforcement schemes (filament winding methods). The issues of vessel design optimization based on the results of finite element modeling are considered.

Keywords: metal-composite vessel, vessel type, filament winding method, reinforcement scheme, liner, roving.

Введение

Баллоны высокого давления широко используются в различных отраслях промышленности, таких как аэрокосмическая, автомобильная, энергетическая и химическая, где безопасное хранение и транспортировка жидкостей или газов под давлением имеет большое значение. Традиционно металлические материалы, такие как сталь и алюминий, были основными для баллонов высокого давления из-за их механических свойств и относительно низкой стоимости.

Баллоны под давлением можно разделить на четыре типа:

- тип 1 полностью изготовлены из металлов;
- тип 2 используют металлический лейнер с композитным армированием только по цилиндрической части баллона;
- тип 3 лейнер армирован полностью;
- тип 4 представляют собой композитные баллоны с неметаллическим лейнером (обычно полимерным) [1, 2].

Металлические баллоны высокого давления типа 1 имеют определенные недостатки, такие как большой вес, склонность к коррозии и ограниченный срок службы из-за усталости металла, поэтому все более широкое распространение получают композитные баллоны.

Композитные баллоны легче в сравнении со стальными баллонами и демонстрируют отличную коррозионную стойкость и высокие усталостные характеристики. Баллоны высокого давления типа 3 и типа 4 могут обладать меньшим весом (на 70 %) по сравнению с баллонами типа 1 [3].

Композитные баллоны высокого давления обычно изготавливаются с использованием метода непрерывной намотки. Метод непрерывной намотки получил широкое распространение в 80-х и 90-х годах XX века. Данный метод основывается на технологическом процессе, при котором непрерывные пропитанные смолой армирующие волокна, называемые ровингами, обматываются вокруг лейнера, образуя композитный материал на его поверхности. Ровингами обычно являются углеродное волокно, стекловолокно или их промежуточные вариации [4–6].

В зависимости от способа нанесения связующего на волокнистый армирующий материал различают мокрую и сухую намотку. В процессе мокрой намотки волокна пропитываются смолой и оборачиваются вокруг вращающейся оправки. Предварительно пропитанные жгуты волокон наматываются на лейнер в сухой или препреговой намотке. Мокрая намотка является более популярной и часто используется для изготовления композитных баллонов.

Мокрая намотка имеет несколько преимуществ перед сухой намоткой в том числе меньшие затраты на материалы и более короткие сроки изготовления изделий. Контроль объема волокна также лучше при мокрой намотке [5]. Выбор волокон и смолы [7] производится в зависимости от требований, предъявляемых к изделию. Широкое применение имеет углеродное волокно. Плотность и высокая прочность на усталость углеродного волокна обеспечивает более длительный срок службы баллона по сравнению с традиционными материалами. Усиленные углеродным волокном баллоны высокого давления типа 3 и 4 могут прослужить до 30 лет без необходимости замены, что вдвое дольше, чем баллоны типа 1 и 2.

В зависимости от типа укладки армирующего волокнистого материала в намотанном изделии различают следующие технологические схемы намотки [5]: прямая (окружная); спирально-винтовая (тангенциальная, кольцевая); спирально-перекрестная (спирально-продольная, спирально-поперечная); совмещенная спирально-кольцевая; продольно-поперечная, косослойная продольно-поперечная; планарная (полносная, орбитальная, плоскостная); тетрамотка; зональная. Прямую намотку можно назвать спирально-винтовой намоткой с большим углом, намотанной под углом 90° (обычно от 85° до 90°). В спиральной намотке значение угла лежит в диапазоне от 0° до менее 90° или от 5° до 85° . Волокна наматываются от полюса к полюсу в совмещенной спирально-кольцевой намотке; угол не является постоянным и зависит от длины оправки. Спиральная обмотка придает радиальную прочность конструкции, в то время как прямая обмотка удерживает кольцевые контуры, обеспечивает устойчивость на концах и участвует в несении осевых нагрузок. Спиральный вид намотки часто используется для изготовления композитных труб и баллонов высокого давления. До достижения желаемой толщины и прочности композита напряжение намотки, угол намотки и качество смолы волокна могут быть изменены в каждом слое армирования. В процессе намотки образуется некоторый рисунок, определяющий схему армирования. Такие рисунки (схемы армирования), в свою очередь, подразделяют на геодезические и негеодезические. Геодезический вид намотки устойчив и не скользит, поскольку ему не требуется внешняя сила, чтобы удержать нити от падения с поверхности лейнера. Негеодезический вид неустойчив, ему требуются силы трения, чтобы удержать нити от соскальзывания с поверхности лейнера. Вследствие этого коэффициент трения становится существенным фактором, поскольку он определяет набор траекторий намотки [5, 8–12]. Схема армирования определяет свойства готового изделия.

Большой угол обеспечивает большее сопротивление сжатию, а малый угол обеспечивает усиленное сопротивление растяжению. Для создания надежного изделия необходимо учитывать различные параметры процесса, их комбинированное воздействие и связанные с этим проблемы (сложность типа модели, переменная толщина, горловина и днище баллона) при проектировании и разработке схем армирования.

Экономические требования определяют актуальность вопросов оптимизации схем армирования для достижения массогабаритного совершенства, определения наилучших параметров конструкций существующих баллонов высокого давления. Оптимизацию баллона высокого давления для минимизации массы и расчета напряженно-деформированного состояния можно выполнить с использованием метода конечных элементов (МКЭ) [13], что позволяет эффективно учесть ориентацию волокон, толщину волокнистого материала, последовательность укладки и количества слоев для различных материалов, таких как стекловолокно и углеродное волокно. Для расчета эффективных упругих характеристик композитов часто используют метод асимптотического осреднения, который в сочетании с методом конечных элементов позволяет вычислять характеристики композитов для любых структур армирования [14]. Существует множество методов многопараметрической оптимизации, которые рекомендуются для поиска оптимальных проектных параметров при разработке нового изделия (метод координатного спуска, спирального координатного спуска, метод Розенброка, поиск по симплексу, метод Хука Дживса с поиском по образцу и др.) [15]. Дальнейшее исследование предполагает численное моделирование за счет комбинирования методов МКЭ и раз-

личных методов оптимизации с учетом эффективных свойств волокнистого материала и достижение снижения массы и повышения допустимого давления.

Список литературы

1. Fryer D.M. et al. High pressure vessels. – Springer US, 1998. – С. 1–10.
2. Семенищев С.П., Килин П.Г. Достижения и перспективы развития в создании мобильных заправщиков природным газом // Транспорт на альтернативном топливе. – 2016. – № 5 (53). – С. 6–9.
3. Гайсин А.А., Билалов Н.Р., Ихсанов Ю.А. Разработка установки для производства баллонов высокого давления для бытовых нужд и автомобильного транспорта // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 27. – С. 1165–1178.
4. Воробей В.В., Евстратов С.В. Новые направления в современной технологии намотки конструкций из композиционных материалов // Вестник Московского авиационного института. – 2009. – Т. 16. – № 1. – С. 8–8.
5. Евстратов С.В. Разработка технологических процессов изготовления сверхлегких комбинированных металлокомпозитных баллонов давления: специальность 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Евстратов Сергей Владимирович. – Москва, 2015. – 151 с.
6. Gemi L., Kara M., Avci A. Low velocity impact response of prestressed functionally graded hybrid pipes // Composites Part B: Engineering. – 2016. – Т. 106. – С. 154–163.
7. Зимин Д.Е., Блазнов А.Н. Физико-химические и реологические основы создания полимерных композиционных материалов для изготовления композитных баллонов на их основе // Ползуновский вестник. – 2018. – № 4. – С. 164–169.
8. Зенцов А.П., Лопарев С.В. Кинематические параметры намотки на цилиндрическую поверхность // Вестник Димитровградского инженерно-технологического института. – 2017. – № 3. – С. 98–101.
9. Образцов И.Ф., Васильев В.В., Бунаков В.А. Оптимальное армирование оболочек вращения из композиционных материалов. – М.: Машиностроение. – 1977. – 144 с.
10. Миткевич А.Б., Протасов В.Д. Равновесные стеклопластиковые баллоны давления минимальной массы при негеодезической намотке // Механика полимеров. – 1975. – № 6. – С. 983–987.
11. Zu L., He Q.X., Shi J.P. Semi-geodesics-based dome design for filament wound composite pressure vessels // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Т. 275. – С. 1601–1604.
12. Zu L., Koussios S., Beukers A. Design of filament-wound domes based on continuum theory and non-geodesic roving trajectories // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2010. – Т. 41, № 9. – С. 1312–1320.
13. Склемина О.Ю., Татусь Н.А., Полилов А.Н. Конструирование и прочностной расчет композитных многополостных сосудов давления // XXXII Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения. – 2021. – С. 676–682.
14. Димитриенко Ю.И., Губарева Е.А., Сборщиков С.В. Конечно-элементное моделирование эффективных вязкоупругих свойств однонаправленных композиционных материалов // Математическое моделирование и численные методы. – 2014. – № 2 (2). – С. 28–48.
15. Захарова Е.М., Минашина И.К. Обзор методов многомерной оптимизации // Информационные процессы. – 2014. – Т. 14. – № 3. – С. 256–274.

ПЛАНЕТАРНЫЕ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ ЦИКЛОИДАЛЬНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Чавров Е.С.¹

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, А3-20,

e-mail: esc12@tpu.ru

Циклоидальное зацепление известно с давних времен. Такое зацепление образуется путем профилирования зубьев по участкам циклоид: эпициклоид и гипоциклоид. Эпициклоида образует наружный циклоидальный профиль, а гипоциклоида внутренний циклоидальный профиль (рис. 1).

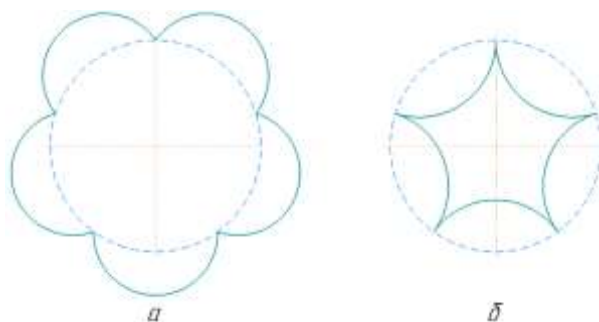


Рис. 1. Виды циклоид: а – эпициклоида; б – гипоциклоида

Первое упоминание о циклоиде датировано XVI веком [1]. Галилео Галилей, изучая траекторию точки катящейся окружности, построил циклоиду и предложил ее назвать так от греческого слова «циклос» – круглый. С того момента по настоящее время изучение применения циклоиды заметно продвинулось вплоть до появления множества механизмов, использующих циклоидальный профиль. На основе циклоидального профиля сформировано циклоидальное зацепление. В прошлом веке активно разрабатывались циклоидальные механизмы советскими и зарубежными учеными, при этом чаще всего планетарные, по следующим причинам: меньший габаритный осевой размер, многопарность зацепления и др. Изучив литературу [2–3] можно выделить следующие виды планетарных передач с циклоидальным зацеплением:

- планетарно-цевочные передачи;
- эксцентриково-циклоидальные передачи;
- передачи с промежуточными телами качения (ПТК);
- передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой (ПТКСО).

Наиболее перспективной из этих передач является передача с промежуточными телами качения и свободной обоймой (ПТКСО), так как она имеет комплекс преимуществ в сравнении с другими циклоидальными передачами. К таким преимуществам можно отнести: пониженное трение в зацеплении; высокую нагрузочную способность; повышенную надежность [4].

Передача с ПТКСО (рис. 2) работает следующим образом: вращение входного вала 1 сообщает кулачку 3 поступательное движение от эксцентрика. В свою очередь, профиль кулачка 3 вместе с профилем венца 6 создают клин, в который попадают тела качения 4. Тела качения 4, стараясь выйти из клина, начинают обкатываться по профилю венца 6, сообщая кулачку 3 и сепаратору 5 (вместе с телами качения 4) вращательное движение относительно собственных осей O_1 и O_2 соответственно. Таким образом, выходным звеном передачи с ПТКСО является кулачок 3, который совершает планетарное движение, вокруг своей оси O_1 , а его центр – вокруг оси передачи O_3 [4].

В передачах с ПТК слабым звеном является тонкостенный сепаратор, соединенный с выходным валом. Кроме того, под воздействием тел качения на пазы сепаратора увеличивается трение скольжения в зацеплении. Такой недостаток в передаче с ПТКСО компенсируется выделением сепаратора из передачи усилий.

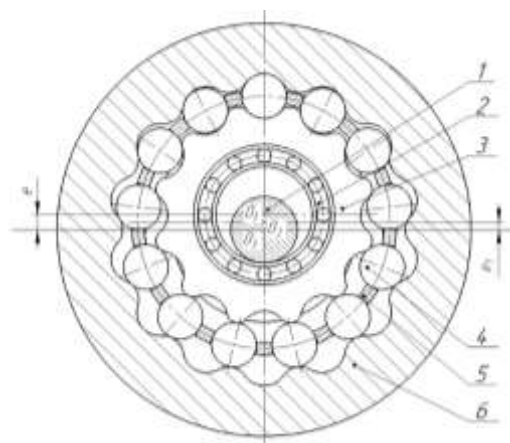


Рис. 2. Схема передачи с ПТКСО

Самым нагруженным звеном в передаче с ПТКСО является подшипник качения под сателлитом-кулачком. Для уменьшения усилия, действующего на подшипник качения, необходимо минимизировать усилия в зацеплении. В случае с однополюсной передачей (рис. 3, а) имеются ограничения по управлению параметрами, так как усилия F_i действуют по одной нормали. Двухполюсная передача (рис. 3, б) имеет в зацеплении разные по направлению усилия F_{1i} и F_{3i} , что расширяет технические возможности и позволяет подбирать оптимальные параметры передачи, способствующие уменьшению контактных напряжений в зацеплении и нагрузке на опору качения.

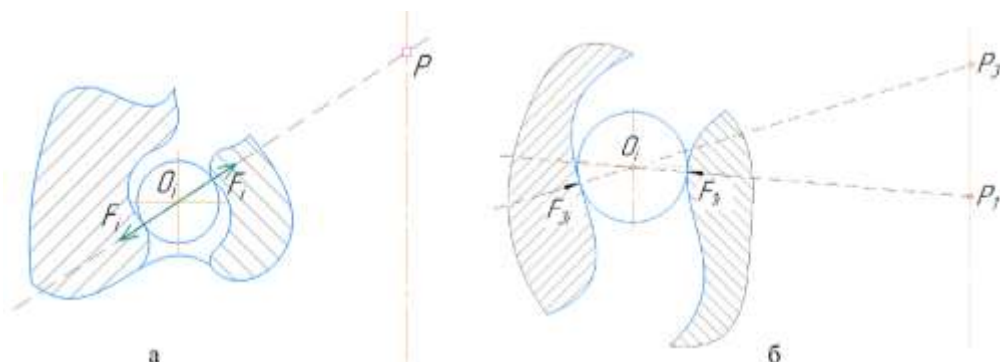


Рис. 3. Распределение усилий в зацеплении: а – однополюсной передачи; б – двухполюсной передачи

Рассмотренные виды циклоидальных механизмов подобны по следующим признакам: наличие эксцентрика, выполняющего функцию водила; являются планетарными; присутствует многопарность зацепления. Но каждая из них имеет определенные преимущества и недостатки. Для совершенствования таких механизмов требуется проводить углубленные исследования в области: КПД; усилий и контактных напряжений в зацеплении; смазочных материалов; материалов, из которых изготовлены детали таких передач.

Список литературы

1. Гиндикин С.Г. Рассказы о физиках и математиках / С.Г. Гиндикин. – 3-е изд., расширенное. – Москва: МЦНМО, 2001. – 448 с.
2. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений / Ф.Л. Литвин. – Издание второе, переработанное и дополненное. – Москва: Издательство «Наука», 1968. – 585 с.
3. Фомин М.В. Планетарно-цветочные передачи : учебное пособие. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 64 с.
4. Ефременков Е.А., Ефременкова С.К., Пашков Е.Н. Проектирование циклоидальных механических передач с промежуточными телами качения и свободной обоймой. – Томск: ТПУ, 2022. – 90 с.

КОНСТРУИРОВАНИЕ СБОРНЫХ И СКЛАДНЫХ ЛЕСТНИЦ

Устюгов М.В., студент группы 5031
Научный руководитель: А.П. Соколов, доцент, к.т.н.
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел. +7 (952) 004-23-02
E-mail: ustgov05@mail.ru

В период с 2010 по 2024 год наблюдается увеличение числа патентов на складные и сборные лестницы как в России, так и за рубежом. Это связано с появлением новых архитектурных форм, которые требуют разработки современных и инновационных конструкций лестниц. При проектировании лестниц для обслуживания купольных сооружений следует особенно акцентировать внимание на устойчивости конструкции. Следует учитывать соотношение жесткости лестницы и жесткости купольной структуры.

Ключевые слова: сборные лестницы, складные лестницы, конструирование, анализ.

Проведёт анализ патентной литературы за период с 2010 по 2024, и показано, что большинство разработок становятся сложнее [1]. Основное направление развития – дополнение старых разработок новыми полезными особенностями конструкции. Например, создание дополнительных стоек, изменение формы ступеней, несколько рознящие системы шарниров и креплений.

Рассмотрев российские и зарубежные патенты за период с 2010 по 2024 год, получили следующие гистограммы:

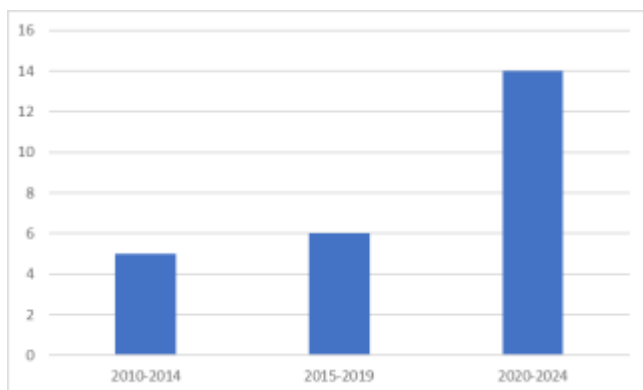


Рис. 1. Патентование в РФ в 2010–2024 гг.

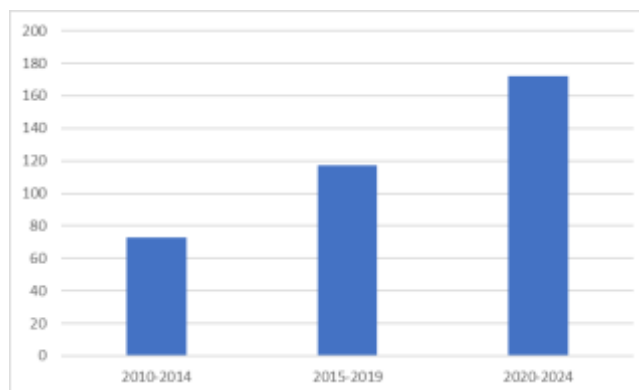


Рис. 2. Патентование за рубежом в 2010–2024 гг.

Патентный поиск показал: количество запатентованных решений увеличивается в каждом пятилетнем промежутке. Увеличение количества патентов указывает на возросший интерес к разработкам в этой сфере. Это означает, что компании и исследователи видят перспективы таких проектов и стремятся защитить свои разработки.

Большинству изделий этого класса присущи следующие недостатки: высокая сложность механизма, ненадёжность механизма, трудоёмкость установки, неудобство эксплуатации, низкая устойчивость, низкая устойчивость конструкции. Каждый из этих факторов чрезвычайно важен для обеспечения безопасной работы на высоте. Но чрезвычайно трудно создать такой продукт, который бы удовлетворял всем указанным критериям.

Степень важности различных критериев варьируется в зависимости от области применения, будь то строительство, производство или домашнее хозяйство. Самым важным требованием является устойчивость для всех областей. Для строительных лестниц важную роль играют такие факторы: высота, грузоподъёмность, прочность. Для производственных же

лестниц: компактность, надёжность, удобство. Для домашних хозяйств: высота, портативность, компактность, лёгкость.

При поиске решений для нестандартных задач, например, обслуживание купольного здания с внешней стороны, патентный поиск результатов почти не дал. Это говорит о том, что, чем более задача нестандартная, тем меньше существует решений для неё. Чаще всего, решения для задач выбираются из максимально общих концепций, которые потом дорабатываются. Чрезвычайно мало таких решений, которые значительно отличались по основной концепции от других разработок для схожих проблем [2].

Патентный поиск показал, что нет решений, которые удовлетворяют нашим критериям и позволяют обслуживать купольные сооружения с внешней стороны. Существуют решения стационарные, но их невозможно применить для куполов разного радиуса кривизны, а также они не являются мобильными. Проведём анализ одного из решений – передвижной лестницы для купольного здания (рис. 3) [3].

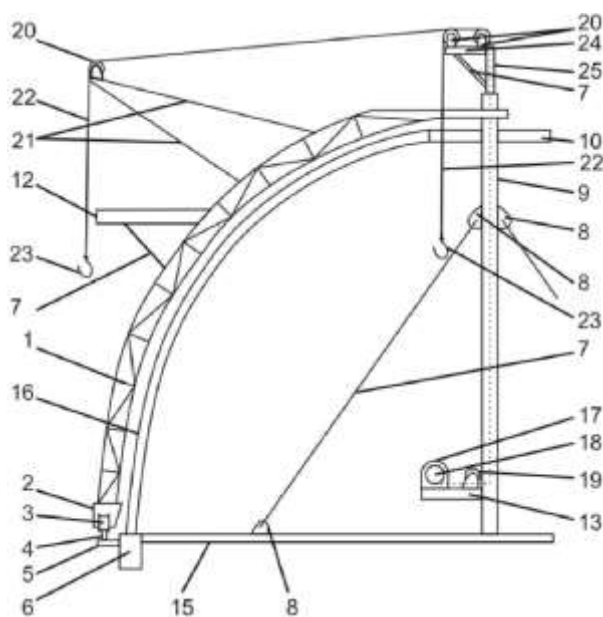


Рис. 3. Чертёж передвижной лестницы для купольного здания

Данная полезная модель обладает следующими преимуществами: возможен поворот вдоль основания здания, высокая надёжность, возможность использования для проведения ремонтно-строительных работ снаружи здания, удобство при использовании, наличие площадки для размещения инструментов, наличие лебёдки.

Данная полезная модель обладает следующими недостатками: стационарность конструкции, сложный механизм, влияние на внешний вид здания, необходимость заранее проектировать вертикальную колонну с поворотным механизмом, высокие трудозатраты на установку и подготовку.

Резюмируя вышесказанное, данное решение будет полезно, если здание предполагает частые, долгие и трудоёмкие ремонты. В иных случаях, лучше найти более подходящее решение. Подобное решение будет значительно влиять на внешний вид здания, что очень часто бывает важно. Данную разработку нельзя применить к уже построенным зданиям, ввиду необходимости предварительно возведённой колонны.

Выводы

1. За период с 2010 по 2024 наблюдается увеличение запатентованных решений на тему складных и сборных лестниц в России и за рубежом.
2. Новые формы зданий и помещений порождают новые решения в конструкциях лестниц.

3. При разработке лестниц для обслуживания купольных сооружений нужно уделять основное внимание устойчивости конструкции и учитывать соотношение жесткости лестницы и жесткости купольного строения.

Список литературы

1. Каталог федерального института промышленной собственности [Электронный ресурс]. – URL: <https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/> (дата обращения – 15.10.2024).

2. Каталог патентного поиска «Espacenet» [Электронный ресурс]. – URL: <https://worldwide.espacenet.com/> (дата обращения – 14.10.2024).

3. Патент № 198229. Российская федерация, МПК E06C 1/397 (2020.02). Передвижная лестница для купольного здания / Лапенко С.Д. Оpubл. 25.06.2020. Бюл. № 18.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУЙНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ ЭЙЛЕРА И CFD-ТЕХНОЛОГИЙ

Конюшков Е.И.

Аспирант РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Москва

e-mail: grknshv@mail.ru

Известно, что в производственных системах для добычи, транспорта и переработки нефти и газа активно используются передовые научные разработки из других отраслей производства, включая авиационные технологии и модифицированные авиационные двигатели, так как наиболее актуальной является проблема сокращения энергетических затрат в производственных процессах, в том числе при добыче и подготовке нефти и газа. Специалистами Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина выполняются научно-исследовательские и конструкторские работы по созданию перспективных струйных аппаратов и турбомашин. В этих перспективных системах проточные каналы имеют сетчатую структуру, которая широко применяется при создании летательных аппаратов.

В общепринятом понимании, сетка – это представление более крупной геометрической области меньшими дискретными ячейками. В струйном аппарате камера смешения больших размеров заменяется набором более мелких камер смешения, которые связаны между собой с образованием проточных каналов в виде сетчатой структуры. Такая сетчатая структура проточной части турбомшины обеспечивает прочность и жесткость конструкции ротора при малой массе. Из-за малого числа подвижных деталей струйная система управления отличается высокой надежностью.

Разработанное техническое решение относится к области струйной техники, включая струйные насосы и компрессоры, струйные усилители с системами управления и струйные реактивные движители для систем динамического позиционирования с управлением вектором. Из известных технических решений наиболее близким к предлагаемому является струйная насосная установка, содержащая источники рабочей среды и перекачиваемой среды, струйный насос, оснащенный системой сопел, гидравлически соединенных по параллельной схеме и размещенных на входе в рабочую камеру с образованием кольцевого канала, в котором размещены П-образные карманы с образованием в них изолированных друг от друга подводящих каналов, в каждом из которых установлено одно сопло и которые гидравлически связывают рабочую камеру с источниками перекачиваемой среды через запорные регулирующие устройства, при этом источник рабочей среды гидравлически связан с входами сопел, а источники перекачиваемой среды гидравлически соединены с кольцевым каналом. Недостатком указанного технического решения является относительно узкий диапазон регулирования рабочих параметров потока на выходе рабочей камеры, что ограничивает область применения струйной установки.

Технической проблемой, на решение которой направлено предлагаемое техническое решение, является расширение диапазона рабочих параметров потока на выходе рабочей камеры.

Указанная проблема решается тем, что струйная установка содержит источники рабочей и перекачиваемой среды, струйный аппарат, оснащенный системой сопел, гидравлически соединенных по параллельной схеме и размещенных на входе в рабочую камеру с образованием кольцевого канала, в котором размещены П-образные карманы с образованием в них изолированных друг от друга подводящих каналов, в каждом из которых установлено одно сопло и которые гидравлически связывают рабочую камеру с источниками перекачиваемой среды через запорные регулирующие устройства, при этом источник рабочей среды связан с входами сопел через гидравлический распределитель, а в рабочей камере выполнены разнонаправленные выходные каналы, каждый из которых сообщается с отдельным подводящим каналом, с обеспечением подачи смеси рабочей и перекачиваемой среды в направлении от периферии к центру рабочей камеры.

Достижимый технический результат заключается в обеспечении контролируемого перераспределения энергии потока по площади выходного канала в рабочей камере с возможностью регулирования параметров количества движения потока и параметров эпюры скоростей в поперечном сечении на выходе рабочей камеры и с одновременным созданием условий для управления вектором тяги в рамках геометрической полусферы или в рамках полной геометрической сферы. Разработанная струйная установка показана на рисунке 1.

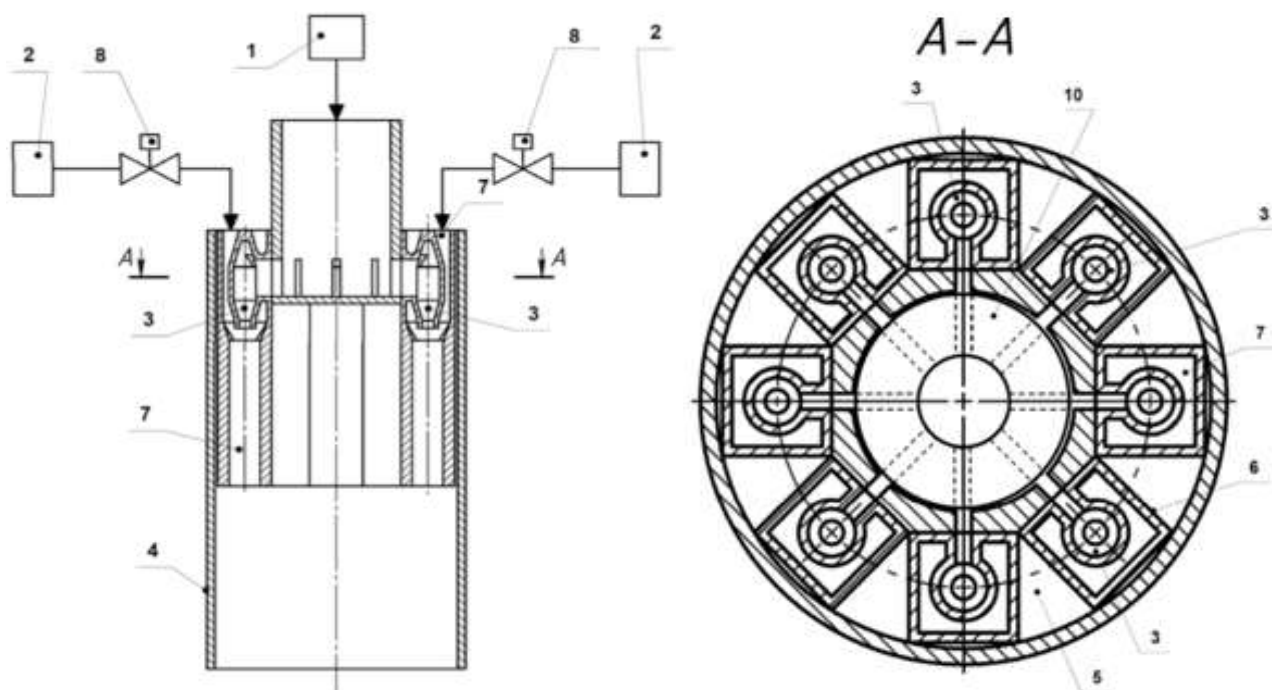


Рис. 1. Схема струйной насосной установки:

1 – источник рабочей среды; 2 – источник перекачиваемой сред; 3 – система сопел; 4 – рабочая камера; 5 – кольцевой канал; 6 – П-образные каналы; 7 – подводящие каналы; 8 – запорное устройство; 9 – выходные каналы; 10 – распределитель

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания в сфере научной деятельности, номер темы FSZE-2023-0004.

Список литературы

1. Патент № 2813562 С1 Российская Федерация, МПК F04F 5/02, F04F 5/46. Струйная установка: заявл. 02.06.2023; опубл. 13.02.2024 / Ю.А. Сазонов, М.А. Мохов, Х.А. Туманян [и др.]; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа». – EDN CVXTDN.
2. Thrust Vector Control within a Geometric Sphere, and the Use of Euler's Tips to Create Jet Technology / Yu.A. Sazonov, M.A. Mokhov, I.V. Gryaznova [et al.] // Civil Engineering Journal. – 2023. – Vol. 9. – No. 10. – P. 2516-2534. – DOI: 10.28991/cej-2023-09-10-011. – EDN LXRMBY.
3. Патент № 2781455 С1 Российская Федерация, МПК F04F 5/02. Струйная насосная установка: № 2021136707; заявл. 13.12.2021; опубл. 12.10.2022 / Ю.А. Сазонов, М.А. Мохов, Х.А. Туманян [и др.]; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа». – EDN WUFFCM.
4. Development and prototyping of jet systems for advanced turbomachinery with mesh rotor / Y.A. Sazonov, M.A. Mokhov, I.V. Gryaznova [et al.] // Emerging Science Journal. – 2021. – Vol. 5, No. 5. – P. 775–801. – DOI: 10.28991/esj-2021-01311. – EDN BEZGFX.

ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ И ИХ НОРМИРОВАНИЕ

*Крджаян А.В., студент гр. 4НМ41
Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822) 701-777
e-mail: AVK253@tpu.ru*

Металлорежущие станки с числовым программным управлением играют ключевую роль в современном машиностроении, обеспечивая высокую точность и производительность обработки деталей. Однако, как и любое сложное оборудование, они подвержены износу и другим факторам, влияющим на их работоспособность. В данной статье рассматриваются основные показатели надежности МЦС с ЧПУ и их нормирование.

Технологическая надежность станка с ЧПУ определяется его способностью обеспечивать выполнение технологических операций с заданными показателями качества в течение требуемого промежутка времени. Отказ станка происходит, когда любой из заданных показателей качества обработки выходит за установленные пределы.

Основные показатели надежности

1. Вероятность безотказной работы $P(t)$ и вероятность отказа $Q(t)$: $P(t)$ – вероятность того, что в интервале времени t не возникнет отказа, связанного с точностью обработки.

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0},$$

где N_0 – число объектов в начале работы (серии испытаний); $n(t)$ – число отказавших элементов за время t .

Вероятность того, что отказ объекта произойдет за время, не превышающее заданной величины T , т. е. что $T < t$, как вероятность события, противоположного тому, при котором $T \geq t$, равна

$$Q(t) = \Pr\{T < t\} = 1 - P(t), t \geq 0.$$

Функция $Q(t)$ – вероятность отказа – представляет собой интегральную функцию распределения случайной величины, т. е. $Q(t) = F(t)$. Если функция $Q(t)$ дифференцируема, то производная от интегральной функции распределения есть дифференциальный закон (плотность) распределения случайной величины T – времени исправной работы:

$$\frac{dF(t)}{dt} = \frac{dQ(t)}{dt} = f(t), f(t) = -\frac{dP(t)}{dt}.$$

Функция $f(t)$ также называется плотностью отказов.

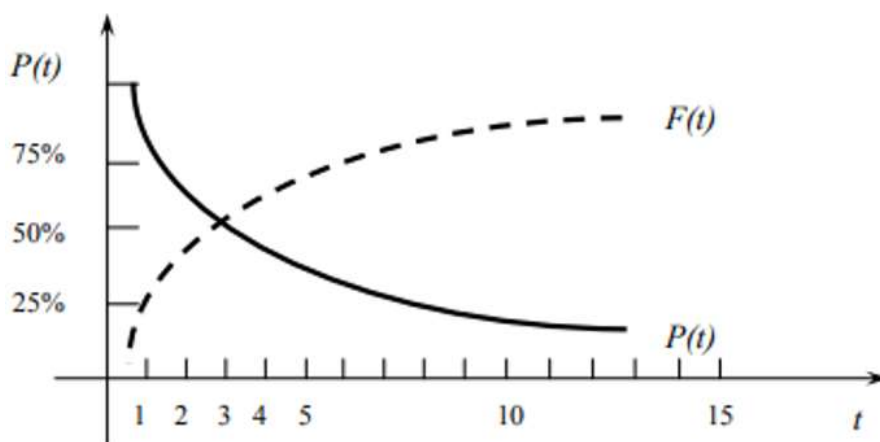


Рис. 1. Функция надежности $P(t)$ и функция распределения $F(t)$ случайной величины для экспоненциального распределения

2. Запас надежности (КТ): Потенциальная возможность станка по сохранению работоспособности.

$$KT = T_p - t,$$

где T_p – планируемый ресурс станка; t – текущее время.

3. Резерв станка по выходному параметру (δT): Запас станка по выходному параметру, который определяет его способность сохранять точность обработки.

$$\delta T = T_p - T_0,$$

где T_p – планируемый ресурс станка; T_0 – текущий ресурс станка.

4. Скорость изменения резерва станка (γT): Скорость изменения резерва станка по выходному параметру.

$$\gamma T = \frac{\delta T}{T_p},$$

где δT – резерв станка по выходному параметру; T_p – планируемый ресурс станка.

5. Скорость изменения коэффициента резерва (γK): Скорость изменения коэффициента резерва станка по выходному параметру.

$$\gamma K = \frac{\Delta K}{K_p},$$

где ΔK – изменение коэффициента резерва; K_p – планируемый коэффициент резерва.

6. Ресурс станка (ТР): Нарботка в часах до потери точности обработки.

$$T_p = \frac{T_{\text{раб}}}{K_{\text{ти}}}$$

где $T_{\text{раб}}$ – суммарное время работы станка за некоторый период эксплуатации; $K_{\text{ти}}$ – коэффициент технического использования.

Нормирование показателей надежности МЦС с ЧПУ включает установление предельных значений для каждого из выходных параметров станка. Эти параметры определяют его работоспособное состояние и включают точность обрабатываемых поверхностей, режимы резания, нагрузки и величины перемещений рабочих органов.

С помощью кривой нормального распределения можно определить вероятное количество годных деталей при обработке партии заготовок. Также, зная номинальный размер обработки и допуск на него, по площади кривой нормального распределения можно рассчитать процент возможного брака.

Обеспечение высокой технологической надежности МЦС с ЧПУ является важной задачей для любого машиностроительного предприятия. Введение и нормирование показателей надежности, перечисленных в данной статье, позволяет эффективно прогнозировать и поддерживать работоспособное состояние станков, что способствует повышению качества и производительности обработки деталей.

Металлорежущие станки с числовым программным управлением (МЦС с ЧПУ) играют ключевую роль в современном машиностроении, обеспечивая высокую точность и производительность обработки деталей. Однако, несмотря на их важность, существует ряд актуальных проблем, связанных с их надежностью и нормированием показателей.

Основные проблемы

1. **Устаревшее оборудование:** Значительная часть станков в машиностроительном комплексе имеет средний возраст 20 и более лет. Это приводит к снижению эффективности работы и надежности выпускаемых машин.

2. **Нехватка квалифицированных кадров:** Средний возраст работников отрасли превышает 50 лет, что свидетельствует о снижении интереса к инженерным специальностям

среди молодого поколения. Это ограничивает возможности отрасли адаптироваться к меняющимся технологическим условиям.

3. **Недостаточная государственная поддержка:** до 2014 года предприятия преимущественно выбирали готовые решения зарубежных компаний, что свидетельствует о недоверии к отечественным возможностям. Последующий переход к разработке отечественного программного обеспечения и оборудования требует надежных механизмов поддержки.

4. **Глубокая специализация:** Каждое предприятие придерживается строго определенной номенклатуры продукции, что ограничивает возможности отрасли по удовлетворению широкого спектра потребностей и делает ее уязвимой к колебаниям в отдельных секторах экономики.

5. **Отсутствие интеграции:** Исторически сложившееся единство машиностроительных предприятий как интегрированных комплексов разрушилось, уступив место фрагментарности. Это препятствует эффективному обмену знаниями, ресурсами и передовым опытом.

Отсутствие интеграции в машиностроительной отрасли является одной из ключевых проблем, которая существенно влияет на показатели надежности станков с ЧПУ и их нормирование. Исторически сложилось так, что машиностроительные предприятия функционировали как интегрированные комплексы, где обмен знаниями, ресурсами и передовым опытом был естественным процессом.

Однако с течением времени эта структура разрушилась, уступив место фрагментарности. В результате каждое предприятие стало придерживаться строго определенной номенклатуры продукции, что ограничивает возможности отрасли по удовлетворению широкого спектра потребностей и делает ее уязвимой к колебаниям в отдельных секторах экономики.

Отсутствие интеграции приводит к следующим негативным последствиям для надежности станков с ЧПУ:

1. **Недостаток обмена опытом:** Каждое предприятие работает в изоляции, что затрудняет обмен знаниями и передовыми практиками. Это снижает общий уровень технологической осведомленности и не позволяет внедрять лучшие практики в области надежности станков.

2. **Ограниченные ресурсы:** Фрагментация отрасли приводит к тому, что предприятия не могут эффективно использовать общие ресурсы и технологии. Это ограничивает возможности для модернизации и повышения надежности оборудования.

3. **Снижение качества продукции:** Недостаток обмена знаниями и ресурсами приводит к тому, что предприятия не могут гарантировать стабильное качество продукции.

Список литературы

1. Горбунов В.П., Рудюк А.Н. «Показатели надежности металлорежущих станков с ЧПУ и их нормирование» Брестский государственный технический университет, 2023.
2. Иванов И.И. «Технологическая надежность станков с ЧПУ» Машиностроение, 2022.
3. Петров П.П. «Нормирование показателей надежности станков с ЧПУ» Машиностроение, 2021.
4. Сидоров С.С. «Расчет показателей надежности станков с ЧПУ» Машиностроение, 2020.

К ПРОБЛЕМЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПО САТЕЛЛИТАМ В ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМАХ

Максимов И.В.¹, Жуков И.А.²

¹Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
группа ИТО-21,

e-mail: s210505@stud.spmi.ru

²Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
зав. кафедрой машиностроения,

e-mail: Zhukov_IA@pers.spmi.ru

Во многих современных механических системах используются планетарные зубчатые передачи с числом сателлитов более одного. Данные передачи имеют большие передаточные отношения при своей компактности и высокий КПД машины или агрегата в целом. Многосателлитные планетарные механизмы имеют ряд достоинств, по сравнению с другими зубчатыми механизмами. Такими достоинствами являются, например, меньшие габаритные размеры при аналогичных значениях мощности и частоте вращения на входном валу по сравнению с прочими зубчатыми передачами, а также соосная конструкция механизма и симметричная позиционность сателлитов, что позволяет, в совокупности, обеспечить компактность передачи. Тем не менее, имеются и существенные недостатки, основными из которых являются высокие требования к точности изготовления и сборки.

Планетарные механизмы с числом сателлитов более одного также имеют проблему с избыточностью связей в механизме. Данной проблеме было посвящено достаточное количество работ, среди которых популярным является решение, предусматривающее использование принципа образования механизмов по Ассуру, предложенное Л.Т. Дворниковым [1]. Идея заключается в добавлении таких групп нулевой подвижности, при которых по формуле П.Л. Чебышева подвижность механизма стала бы равна единице:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 - p_4,$$

где n – число подвижных звеньев; p_5 – число кинематических пар пятого класса; p_4 – число кинематических пар четвертого класса.

Рассмотрим односателлитный планетарный механизм Джеймса (рис. 1, а). По (1) подвижность данного механизма равна единице. Так как в механизме задействован всего один сателлит, то и момент будет передаваться от центрального зубчатого колеса на выходное звено только через него.

Далее, если обратиться к двухсателлитному или четырехсателлитному планетарным механизмам, то можно заметить, что их подвижность по (1) равна меньше единицы, а значит данные механические системы статически неопределимы и неработоспособны. На практике, однако, данные механизмы показывают обратное. Это объясняется тем, что в механизмах умышленно, при изготовлении, создают зазоры между зубьями сателлитов и центрального колеса. Данный метод обеспечивает работоспособность механизма, но момент от центрального колеса одновременно передается лишь через один сателлит, исключая передачу через остальные сателлиты (рис. 1, б; в), что будет учитываться при расчете сателлита на прочность, что в дальнейшем негативно повлияет на габаритные размеры всей передачи.

Решением проблемы избыточности связей и равномерной передачи момента на все четыре сателлита для четырехсателлитного планетарного механизма является Патент РФ № 2583320 [2]. Если разложить предложенную схему послойно (рис. 1, г), то становится ясно, что, при добавлении группы нулевой подвижности, было решено сразу две проблемы. Во-первых, подвижность механизма по (1) стала равна единице, что говорит нам о работоспособности механизма. Во-вторых, благодаря добавлению трехшарнирных рычагов, момент от центрального колеса передается равномерно через все сателлиты. Таким образом, при расчете на прочность такого механизма будет считаться, что момент делится на все четыре

спутника одновременно, что позволит уменьшить их габариты, однако, с добавлением подобной группы, механизм также приобрел динамическую неуравновешенность, что ведет к перегрузкам и разрушению подшипниковых опор механизма.

Новым техническим решением является Патент РФ № 229267 [3], представляющий собой четырехспутниковый планетарный механизм и отличающийся тем, что он является динамически уравновешенным (рис. 1, д).

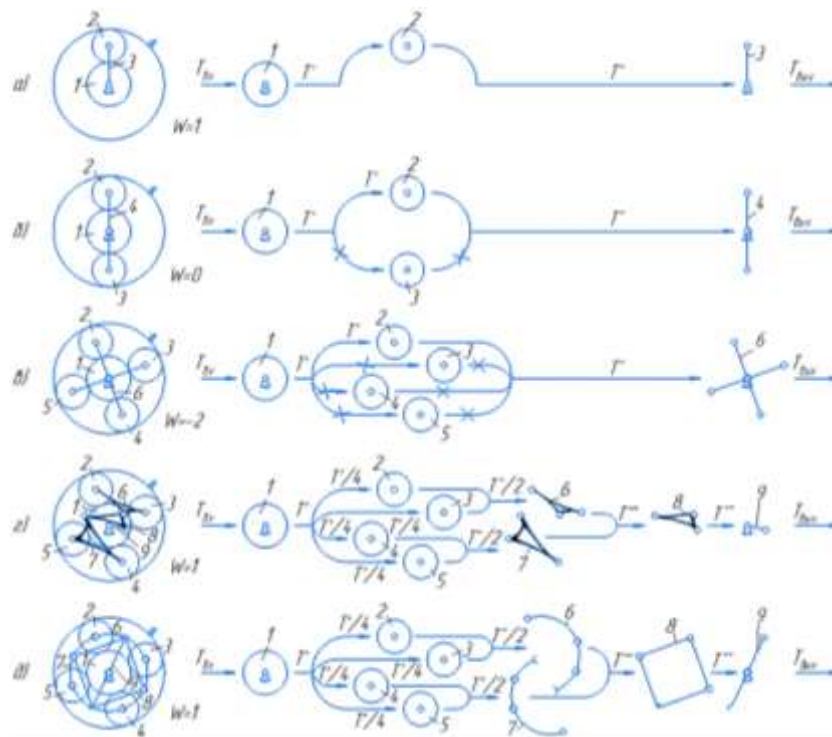


Рис. 1. Схемы планетарных механизмов [составлено авторами]

Если данный механизм также рассмотреть послойно, то можно заметить, что момент, получаемый центральным ведущим зубчатым колесом, также равномерно передается на выходное звено через все четыре спутника, соединенные посредством группы Ассур. Первый и второй трехшарнирные рычаги, с целью уравновешивания, были выполнены в виде двух симметричных относительно центральной оси вращения полуколец. Третий трехшарнирный рычаг был выполнен в виде полого квадрата с центром, находящимся на центральной оси всего механизма. От третьего трехшарнирного рычага момент передается на выходное звено, выполненное в виде стержня, длина которого равна двум межосевым расстояниям механизма.

Обобщая все вышеперечисленное, можно сказать, что новое техническое решение обеспечивает динамическую уравновешенность механизма. Одновременная передача момента через все спутники обеспечивает уменьшение их размеров и передачи в целом.

Список литературы

1. Дворников Л.Т., Герасимов С.П. Принципиальные проблемы многоспутниковых планетарных зубчатых передач и возможные пути их разрешения // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 12–1. – С. 44–51
2. Патент № 2583320 РФ, МПК F16H 1/28. Самоустанавливающаяся четырехспутниковая планетарная передача / Дворников Л.Т., Герасимов С.П. – № 2015100339/11 приоритет от 12.01.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 13.
3. Патент №229267 РФ, МПК F16H 1/48. Уравновешенный четырехспутниковый планетарный механизм / Жуков И.А., Филипенко И.А., Максимов И.В. – № 2024120014 приоритет от 17.07.2024; опубл. 30.09.2024, Бюл. № 28.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НАДЕЖНОСТИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЕ

Ли Синь¹, Гуань Юньжо²

¹Международный инженерный институт Шэньянского политехнического университета
и Томского политехнического университета, группа-22180101,
e-mail: azhi0226@mail.ru

²Международный инженерный институт Шэньянского политехнического университета
и Томского политехнического университета, группа-22180101,
e-mail: azhi0226@163.gmail.com

Аннотация: С непрерывным прогрессом в развитии сельскохозяйственной экономики Китая количество применяемого оборудования для механизации сельского хозяйства продолжает увеличиваться, а качество и надежность оборудования привлекают все больше внимания. Безопасность и качество сельскохозяйственной машины необходимо срочно улучшить. Поэтому на основе анализа надежности сельскохозяйственной машины необходимо проанализировать качество и безопасность сельскохозяйственной машины.

Ключевые слова: сельскохозяйственная машина; качество продукции

По сравнению с развитыми странами, качество и надежность оборудования для механизации сельского хозяйства в Китае нуждаются в постоянном улучшении и совершенствовании. В общем случае под надежностью понимается способность продукта стабильно выполнять заданную функцию в течение ожидаемого срока службы при заданных условиях эксплуатации. Это понятие тесно связано с эксплуатационными характеристиками сельскохозяйственных машин и оборудования: в частности, «надежность» относится к продолжительности безотказной работы сельскохозяйственных машин и оборудования в течение срока их службы, а в более широком смысле – к удовлетворенности пользователей и доверию к работе оборудования [1].

Значение работы по обеспечению надежности: способность эффективно снижать частоту проблем с оборудованием и тем самым эффективно повышать безопасность; можно эффективно увеличить время эффективного использования оборудования, избежать проблем, вызванных неисправностями, которые могут вызвать простои, вызванные ремонтом оборудования, и увеличить фактическое использование оборудования в целом. Сокращение ненужных затрат на техническое обслуживание, снижение затрат на использование и повышение эффективности использования оборудования. Для предприятий по производству сельскохозяйственной машины и оборудования улучшение качества и надежности оборудования может способствовать лучшему развитию предприятий.

Содержание работ по надежности сельскохозяйственной машины:

1. Проектирование надежности: внимание уделяется созданию надежности и качества продукции, повышению надежности проектирования и производства и в конечном итоге созданию высококачественной продукции сельскохозяйственной машины.

2. Моделирование и прогнозирование надежности: модель надежности сельскохозяйственной техники и механической продукции относится к блок-схемам и соответствующим математическим выражениям между подсистемами и компонентами внутри продукции. При прогнозировании надежности частота отказов компонентов и компонентов оборудования обычно сначала прогнозируется.

3. Анализ влияния режима неисправности (FMEA): анализ режима неисправности каждой части и его влияния, таким образом можно хорошо прогнозировать и реагировать на виды неисправности, овладеть слабыми и ключевыми звеньями продукции, обеспечить позитивную и эффективную основу для улучшения оборудования и профилактики контроля.

4. Анализ дерева неисправностей (FTA): может систематически анализировать сложные проблемы неисправностей, проводить слой за слоем дедукцию, может комплексно анали-

зировать различные факторы влияния, включая факторы влияния человека и факторы влияния окружающей среды, и может визуально отображать с помощью графики, а анализ отказов более интуитивно понятным.

5. Анализ наихудшего случая (WCA): в условиях анализа наихудшего случая схемы и стресс-анализа компонентов мы можем заблаговременно определить факторы, влияющие на производительность схемы и стресс компонентов, и таким образом точно выявить уязвимые места качества продукции.

6. Анализ потенциальных схем (SCA): в конце проектирования схемы важно не упустить потенциальные схемы из анализа, своевременно исключить потенциально проблемные схемы, усилить слежение и избежать потенциальных проблем в схеме, применяя соответствующие рекомендации по проектированию.

7. Испытание на надежность: испытание на повышение надежности, на этапе разработки продукта, может быть принято, чем соответствующие технические спецификации более суровые условия испытаний, чтобы ускорить возникновение потенциальных дефектов в продукте, так что обеспечить условия для непрерывного совершенствования продукта и проверки качества продукции. Например, в прибрежных районах, с их высокой влажностью почвы и солевым составом, могут проводиться испытания на солевой туман [2].

Вывод

В заключение следует отметить, что необходимо проводить и реализовывать политику и требования по энергичному повышению надежности сельскохозяйственной машины, усилить значение надежности сельскохозяйственной машины и оборудования. Также необходимо усилить обучение, постоянно совершенствовать соответствующие рабочие стандарты и систему продукции, чтобы повысить надежность работы сельскохозяйственных машин и оборудования, чтобы обеспечить соответствующие условия и основу.

Список литературы

1. Ван Сяоин. Характеристики и проблемы использования сельскохозяйственной техники в Китае // Использование и техническое обслуживание сельскохозяйственной техники. – 2018. – № 12. – С. 37.
2. Дай Чанцзян, Му Хайтао, Юань Чжунсин. Анализ ремонта и технического обслуживания сельскохозяйственной машины // Друзья фермеров за богатство. – 2018. – № 24. – С. 151.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПОДКЛЮЧЕННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Ли Шуцзя¹, Пэй Цзясинь²

¹Международный инженерный институт Шэньянского политехнического университета
и Томского политехнического университета, группа-22180301,
e-mail: azhi0226@mail.ru

²Международный инженерный институт Шэньянского политехнического университета
и Томского политехнического университета, группа-22180501,
e-mail:azhi0226@163.gmail.com

Аннотация: Надежность механических систем интеллектуальных подключенных автомобилей имеет решающее значение для эксплуатационных характеристик автомобилей. Надежность трансмиссии, тормозной и рулевой систем необходимо глубоко анализировать с помощью таких методов, как FMEA и FTA. На примере Tesla Model S изучается надежность электропривода, ЕВА и EPS, а также предлагаются стратегии оптимизации.

Ключевые слова: интеллектуальные подключенные автомобили; надежность механических систем; анализ неисправностей

1. Введение

Интеллектуальные подключенные автомобили являются продуктом промышленной интеграции и становятся направлением развития транспорта. Технический прогресс повышает интеллектуализацию автомобилей и многостороннее взаимодействие, хотя это полезно для транспорта, но предъявляет более высокие требования к надежности механических систем. Поэтому анализ надежности механических систем интеллектуальных подключенных автомобилей имеет решающее значение.

2. Методы анализа надежности механических систем

2.1. Теория анализа надежности

Теоретическая основа имеет ключевое значение при анализе надежности интеллектуальных подключенных автомобильных механических систем. FMEA и FTA являются широко используемыми методами: FMEA выявляет потенциальные неисправности и их последствия и способствует раннему вмешательству; FTA показывает события и причины неисправности с помощью логического дерева, что облегчает понимание причин неисправности [1]. Сочетание этих двух систем обеспечивает всесторонний анализ надежности механических систем и обеспечивает высокую надежность и безопасность на протяжении всего жизненного цикла [2].

2.2. Создание модели надежности

Математическая модель надежности основана на теории вероятностей и математической статистике для прогнозирования поведения при отказе. Базовая модель имеет экспоненциальное распределение $R(t) = e^{-\lambda t}$ и подходит для компонентов без заметного износа. Для механических систем процесс износа и старения описывается с помощью логарифмического распределения или логарифмического нормального распределения [2]. Для механических систем обычно используются более сложные модели, такие как распределение Вейбура или логарифмическое нормальное распределение. Модель надежности каскадной системы: $R_{series}(t) = \ln R_i(t)$, параллельная система $R_{parallel}(t) = 1 - \ln(1 - R_i(t))$. Доступность в стационарном состоянии $A = \lambda + \mu$, если учесть возможность восстановления системы. Для точного описания надежности механических систем интеллектуальных подключенных автомобилей может потребоваться внедрение модели Маркова или байесовской сети.

3. Анализ надежности механических систем интеллектуальных подключенных автомобилей

3.1. Анализ надежности системы силового привода

Распознавание режима отказа и оценка надежности имеют ключевое значение в интеллектуальной подключенной системе трансмиссии автомобиля. Tesla Model S использует пе-

редовую технологию электропривода, аккумулятор рассчитан на длительный срок службы и низкую скорость деградации. Tesla идентифицирует режимы отказов с помощью постоянного мониторинга и анализа данных (например, BMS контролирует состояние аккумуляторных блоков) и использует прогнозные модели для оценки надежности, предоставляя владельцам точные рекомендации по техническому обслуживанию. При этом обновления программного обеспечения постоянно оптимизируют производительность и надежность.

3.2. Анализ надежности тормозной системы

Tesla Model S использует электронную систему усилителя тормозов (ЕВА), которая обладает преимуществами быстрого отклика и простоты обслуживания по сравнению с традиционными гидравлическими тормозными системами. Согласно записям технического обслуживания, предполагается, что за 100 000 км пробега частота отказов тормозной системы составляет 0,5 %, то есть около 1 из 200 автомобилей столкнется с неисправностью. Анализ с использованием функции надежности $R(t) = e^{(-\lambda t)}$, где $\lambda = 0,005$ неисправности / (автомобиль $\times$ км). Подсчитано, что после 10 000 километров пробега Tesla Model S надежность тормозной системы составляет около 97,5 %.

3.3. Анализ надежности системы рулевого управления

Tesla Model S имеет электроусилитель руля (EPS), который обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными системами. Неисправности его системы рулевого управления включают в себя отказ усилителя, отказ электронного блока управления и датчиков, а частота отказов связана со сроком службы и пробегом автомобиля. Предполагая, что частота отказов составляет 1 % на 100 000 транспортных средств, то есть 1 отказ на 1000 транспортных средств, частота отказов λ составляет около 0,00167 отказов / (автомобиль $\times$ месяц). По оценкам, надежность рулевой системы Tesla Model S после 60 месяцев езды составляет около 98 %.

Заключение

Tesla Model S основывается на инновациях в системах силы, торможения и рулевого управления, опираясь на передовые электронные управления и интеллектуальные технологии. В будущем интеллектуальные подключенные автомобильные механические системы будут в большей степени зависеть от этой технологии, необходимо обратить внимание на надежность и безопасность, изучать новые материалы, стратегии проектирования и обслуживания для повышения производительности и конкурентоспособности.

Список литературы

1. Ли Мэнжэнь, Ху Панхуэй, Янь Шисяо. Применение диагностики неисправностей в механических системах автомобильных двигателей // China Equipment Engineering. – 2023. – № 23. – С. 181–182.
2. Цинь Цинь. Исследование ключевых технологий электронно-механического торможения автомобилей // Электронные технологии и программная инженерия. – 2022. – № 13. – С. 162–165.

РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РОБОТА НА КОЛЬЦЕВОЙ ОСНОВЕ

Авад П.А.¹, Исаев Ю.Н.²
¹ТПУ, ИШИТР, гр. 8ЕМ42,

e-mail: paa12@tpu.ru

²ТПУ, ИШИТР, Доктор Ф-М Наук,

E-mail: isaev@tpu.ru

Введение

В последние годы наблюдается значительный рост интереса к разработке многофункциональных роботов, которые находят широкое применение в таких областях, как промышленность, научные исследования и медицина [1].

Многофункциональные роботы способны выполнять разнообразные задачи, включая транспортировку грузов, диагностику и ремонт оборудования, мониторинг окружающей среды и даже оказание помощи в медицинских учреждениях.

Конструкция многофункционального робота должна соответствовать ряду требований, чтобы эффективно справляться с широким спектром задач [2–4].

Одним из инновационных подходов к проектированию таких роботов является использование кольцевой структуры в качестве основы конструкции.

Кольцевая структура обладает рядом преимуществ: она обеспечивает устойчивость и равномерное распределение нагрузки, что особенно важно для работы в сложных условиях. Благодаря своей симметрии и централизованной форме, кольцевая структура позволяет значительно улучшить маневренность и компактность робота, а также упростить добавление модулей для выполнения различных задач [5].

Такое решение делает робота универсальным и эффективным для выполнения задач в условиях ограниченного пространства и сложных сред на рис. 1.



Рис. 1. Конструкция многофункционального робота (Curiosity Rover)

Концепция и особенности конструкции

Конструкция многофункционального робота на основе кольцевой структуры отличается продуманной колесной базой, состоящей из шести колес, каждое из которых оснащено независимой подвеской. На изображении рис 2, что подвеска представляет собой систему соединительных рычагов, закрепленных на общей оси.



Рис. 2. Концепция и особенности конструкции

Кроме того, каждый узел на рис 3 крепления колеса снабжен амортизирующими элементами, которые снижают воздействие вибраций и ударных нагрузок, передаваемых на основную платформу робота. Эта система подвески не только улучшает плавность хода, но и увеличивает срок службы узлов за счет уменьшения износа при движении по сложной поверхности.

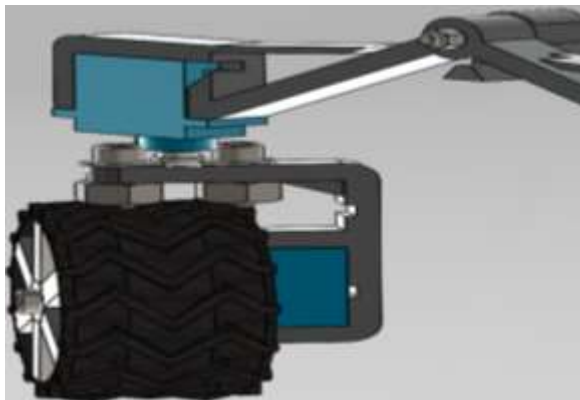


Рис. 3. Концепция и особенности конструкции

Важной частью конструкции является система поворота, которая позволяет роботу маневрировать даже в ограниченном пространстве. Благодаря такой системе креплений и механизму подвески робот обладает высокой гибкостью и маневренностью, что делает его эффективным для решения широкого спектра задач, требующих повышенной устойчивости и адаптации к изменяющимся условиям эксплуатации.

Для описания концепции и особенностей конструкции робота с учетом первого изображения, можно выделить следующие аспекты:

Разработка многофункционального робота и особенности конструкции

На изображении рис 4 представлена общая конструкция многофункционального робота, разработанная на основе кольцевой структуры.

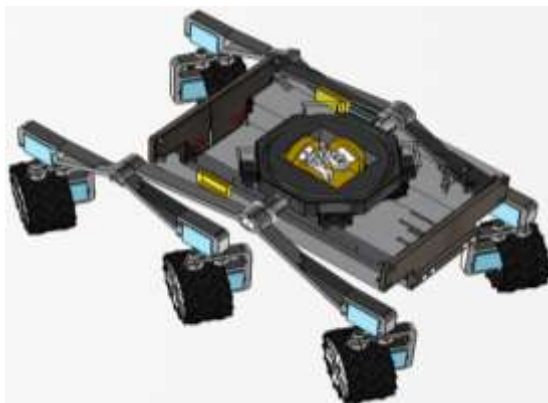


Рис. 4. Разработка многофункционального робота на кольцевой основе

Выбор именно такой структуры продиктован несколькими ключевыми факторами.

1. Устойчивость и равномерное распределение нагрузки: кольцевая структура позволяет равномерно распределить вес и нагрузку по всей платформе робота.
2. Гибкость и адаптивность колесной базы: конструкция робота включает шесть колес с независимой подвеской, что обеспечивает высокую проходимость и способность преодолевать препятствия.
3. Многофункциональность: кольцевая платформа позволяет легко добавлять или заменять модули и оборудование, расширяя возможности робота для выполнения различных задач.
4. Экономичность и простота сборки: конструкция на основе кольцевой платформы не только облегчает сборку, но и упрощает обслуживание.

Преимущества

- Высокая устойчивость благодаря кольцевой платформе, что делает робота надежным даже на неровных поверхностях.
- Плавность хода и адаптивность за счет независимой подвески, что позволяет роботу легко преодолевать препятствия.
- Многофункциональность и расширяемость, позволяющие добавлять различные модули для выполнения широкого спектра задач.
- Экономичность и удобство обслуживания благодаря модульной конструкции, что упрощает замену и ремонт компонентов.

Выбор такой конструкции обусловлен необходимостью создания устойчивого и гибкого робота, способного выполнять различные задачи в сложных условиях.

Заключение

Разработка многофункционального робота на кольцевой основе показала, что такая конструкция улучшает устойчивость, маневренность и гибкость. Кольцевая структура позволяет равномерно распределять нагрузку, адаптироваться к сложной поверхности и легко добавлять модули для различных задач. Независимая подвеска и амортизация колес обеспечивают плавность хода и повышенную проходимость, что делает робота пригодным для использования в условиях ограниченного пространства или на пересеченной местности. Данная конструкция повышает универсальность и экономичность робота, расширяя его возможности для применения в промышленности, медицине и научных исследованиях, отвечая требованиям современных автоматизированных решений.

Список литературы

1. Калабин М.А. Разработка и проектирование роботов: учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020 (дата обращения: 13.11.2024).
2. Иванов И.В. Инновационные технологии в робототехнике. – СПб.: Питер, 2019.
3. Соловьев П.А., Сидоров А.В. Основы теории надежности машин и механизмов. – М.: Академкнига, 2018.
4. Robotics Engineering: Principles and Practice / Ed. S. R. Schilling. – Berlin: Springer, 2021.
5. Smith A. Advances in Multifunctional Robotics // Journal of Robotics Research. – 2022. – Vol. 41, No. 3. – P. 215–231.

РАСЧЕТ НА КОНТАКТНУЮ ПРОЧНОСТЬ ПЛАНЕТАРНЫХ РОТОРНЫХ ГИДРОМАШИН С НЕКРУГЛЫМИ ЗУБЧАТЫМИ КОЛЕСАМИ

Базаров Б.И.¹, Ивкина О.П.²

¹НИ ТПУ ИШПР группа 2БМ36,
e-mail: bazarov.bair2016@yandex.ru

²НИ ТПУ ИШПР группа А4-20,
e-mail: olivkina93@yandex.ru

С развитием технологий стало актуально применение планетарных роторных гидромашин с некруглыми зубчатыми передачами (ПРГМ). Их достоинствами являются простая конструкция опорных узлов, уравновешенность, высокая быстроходность, надёжная работа, высокий КПД. В настоящее время производство ПРГМ сдерживается слабой изученности теоретических вопросов, в частности геометрического синтеза некруглых зубчатых звеньев.

Планетарная роторная гидромашина (ПРГМ) – это объемная гидромашина, состоящая из центральных зубчатых колёс и плавающих сателлитов.

Поскольку планетарная роторная гидромашина с некруглыми зубчатыми колёсами в настоящее время находит своё применение, и материалов по ее исследованию мало, становится актуальным исследование ее контактных напряжений. Для этого, был произведен расчет геометрии, построена 3D-модель и произведен расчет в ПО «ANSYS R2 2020».

Выбор геометрических характеристик профилей солнечных колёс и сателлита.

Исходные данные:

Число волн внутреннего колеса $M = 6$;

Число волн наружного колеса $N = 8$;

Число зубьев колёс: $Z_1 = 72$; $Z_2 = 96$; $Z_c = 12$;

Модуль зацепления $m = 1,25$;

Передаточное отношение $i = 12 = N/M = 1,33$;

Сталь 20Х;

Допустимое контактное напряжение – 389 МПа.

Для проведения анализа напряженно-деформированного состояния механической передачи использовалась ПО ANSYS R2 2020. В версии ANSYS 2020 применяется метод конечных элементов для построения и решения математических моделей различных физических процессов.

По завершении анализа граничных условий можно оценить работоспособность и надежность механической передачи, потенциальные проблемы и внести необходимые изменения для оптимизации конструкции.

После установки ограничений на солнечное колесо и сателлит применяется нагрузка. Нагрузка накладывается на солнечное колесо. Зная предел прочности материала, методом перебора нахожу максимальную нагрузку. Она равна $-4600 \text{ Н} \cdot \text{мм}$.

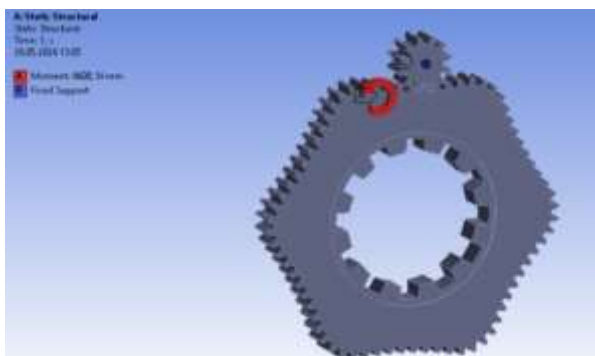


Рис. 1. Граничные условия

После выполнения вышеперечисленных задач, запускается расчет напряженно-деформированного состояния солнечного колеса и сателлита.

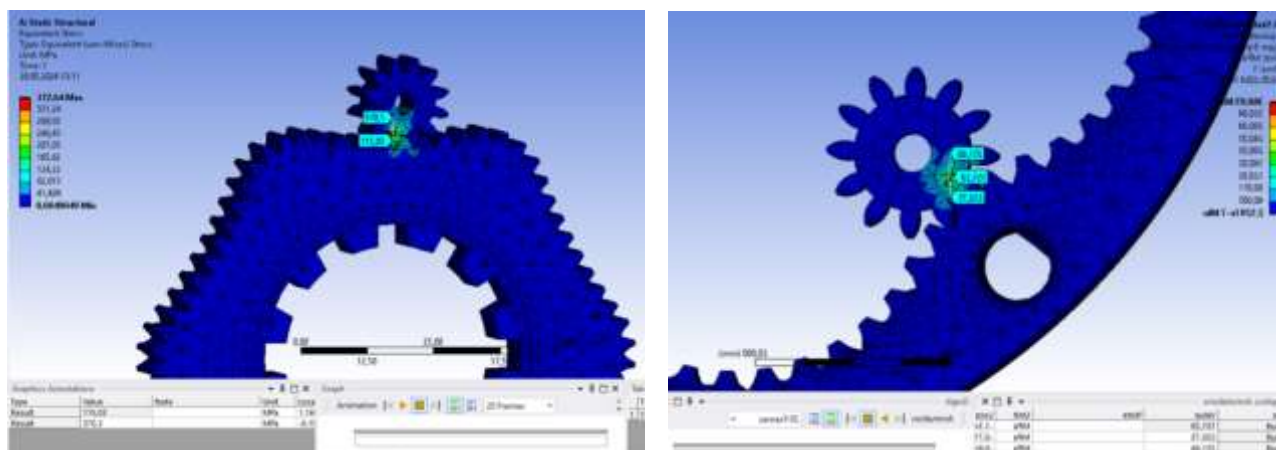


Рис. 2. Результаты расчета контактных напряжений

Максимальное напряжение составило 372,64 МПа, допустимое контактное напряжение (389 МПа) не превышено.

Полученные результаты контактных напряжений не превышают допустимых значений. Получившийся коэффициент запаса прочности для солнечного колеса и сателлита составил $[RF] = 389/372,64 = 1,04$; для сателлита и эпицикла – $[RF] = 389/360 = 1,08$.

Список литературы

1. Ан И-Кан Синтез, геометрические и прочностные расчеты планетарных механизмов с некруглыми зубчатыми колесами роторных гидромашин: дис. ... д-ра техн. наук. Томск, 2001. – 236 с. 34.
2. Ан И-Кан Центроиды некруглых колес планетарных механизмов роторных гидромашин // Вестник машиностроения. – 2001. – № 5. – С. 3–6.
3. Ан И-Кан, Беляев А.Е. Синтез планетарных передач применительно к роторным гидромашинам. – Новоуральск: НПИ, 2001. – 91 с.
4. Болотовский И.А. и др. Справочник по геометрическому расчёту эвольвентных зубчатых и червячных передач. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.
5. ГОСТ 19274-73. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внутреннего зацепления. Расчет геометрии. – М., 1975. – 64 с.
6. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность. – М., 1989. – 129 с.
7. Литвин Ф.Л. Некруглые зубчатые колеса. – Москва-Ленинград: МАШГИЗ, 1956. – 218 с.

ОБЗОР МЕТОДИК ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПЛАНЕТАРНО-РОТОРНЫХ ГИДРОМАШИН

Ивкина О.П.¹, Базаров Б.И.²

¹НИ ТПУ, ИШПР, гр. А4-20,

e-mail: opi1@tpu.ru

²НИ ТПУ ИШПР, гр. 2БМ36,

e-mail: bazarov.bair2016@yandex.ru

Гидравлические двигатели используются во многих отраслях промышленности. К преимуществам гидродвигателей относят их компактность, высокий крутящий момент, плавную механическую передачу, а также нетребовательность к рабочей среде. Эти достоинства гидродвигателей обусловлены их конструктивной особенностью – применением зубчатой планетарной передачи с плавающими сателлитами.

Вопросами геометрического синтеза планетарно-роторных машин с некруглыми зубчатыми колесами занимаются ученые по всему миру уже много лет. В 1977 году [2] американским ученым Bohdan Sieniawski была разработана конструкция нового гидромотора с некруглой планетарной передачей (рис. 1).

С развитием техники геометрия некруглых зубчатых колес перестала ограничиваться эллиптической третьего порядка, появились более геометрически сложные некруглые зубчатые механизмы, имеющие улучшенные механические характеристики. Однако это привело к сложности разработки конструкции, а также к сложности и дороговизне производства некруглых зубчатых колес.

В настоящее время наибольших успехов в вопросах геометрии зубчатых колес для планетарно-роторных гидромашин добились такие ученые, как Dawei Li, D. Mundo, T. Hasse, B. Laczik, V. Marius. Среди отечественных учёных это Ан И-Кан и Г.Ю. Волков.

Так, в докторской диссертации российского ученого Ан И-Кана [3] рассматриваются вопросы метода синтеза центроид некруглых солнечных колес планетарных передач с плавающими сателлитами. Однако разработанный метод, состоящий из череды сложных алгебраических вычислений неудобен и практически не применим на производстве. На рис. 2 показана типичная схема планетарной передачи гидромотора, рассматриваемая Ан И-Каном.

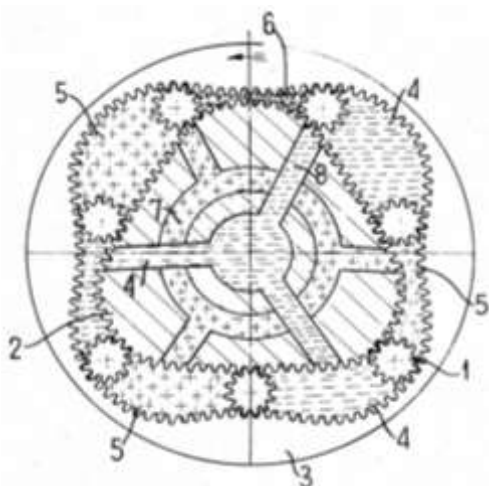


Рис. 1. Конструкция гидромотора, разработанного Bohdan Sieniawski:
1 – сателлит; 2 – внутренний кулачок;
3 – внешний кулачок; 4, 7, 8 – каналы для подачи
жидкости; 5, 6 – рабочая жидкость

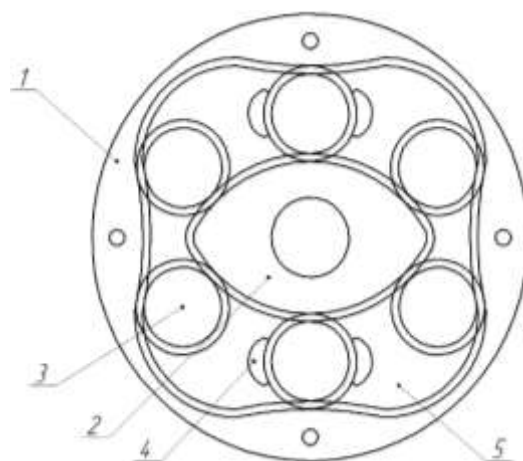


Рис. 2. Схема планетарно-роторного гидромотора, рассматриваемая Ан И-Каном:
1, 2 – солнечные колеса с внутренним и внешним
колесом; 3 – сателлиты; 4 – каналы подвода и отвода
жидкости; 5 – рабочие полости

Методика расчёта и проектирования планетрно-зубчатой передач, предложенная Г.Ю. Волковым [4] основана на более простых математических вычислениях (рис. 3). В основе данной методики лежит расчёт траектории движения центров сателлитов, а затем их диаметров и скоростей. Данный метод просто в реализации и применим на производстве.

В свою очередь, Dawei Li в соавторстве с Yiongping Liu, Jun Gong и Tongcheng Wang [1] предлагает снизить сложность проектирования и повысить точность изготовления шестерни за счет использования дугообразной кривой шага вместо некруглой кривой шага с постоянно меняющейся кривизной (рис. 4). На основе геометрического соотношения и передаточного отношения некругового планетарного механизма им была построена модель нелинейного программирования, а затем был спроектирован некруговой планетарный механизм. По утверждению автора, практическая эффективность разработанного им механизма не отличается от эффективности механизма, выпускаемого в настоящее время. Однако скорость составляет 100–400 об/мин. Таким образом, с учётом полученных автором результатов, а также простоты конструирования, разработанная конструкция гидромотора целесообразна в использовании на производстве.

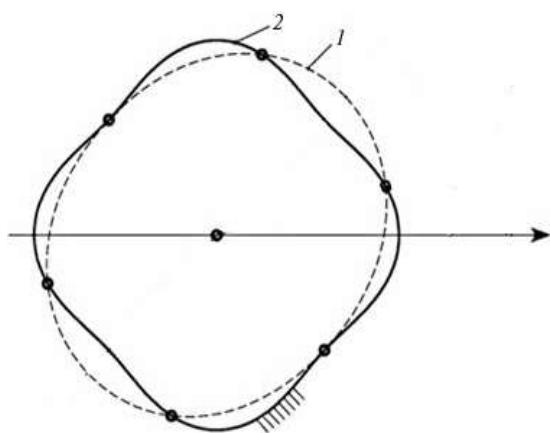


Рис. 3. Траектории движения центра сателлита (1, 2) относительно центрального колеса по методике Г.Ю. Волкова

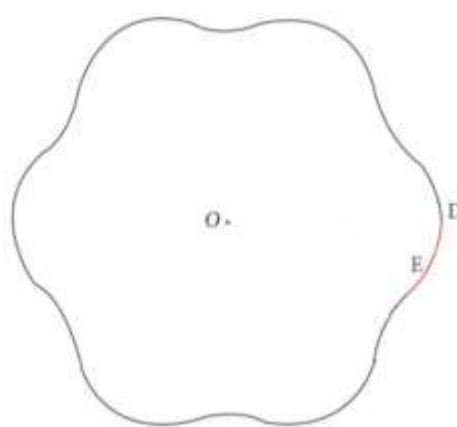


Рис. 4. Дугообразная кривая шага внутреннего зубчатого венца по методике Dawei Li: O – центр зубчатого колеса, ED – кривая шага

Таким образом были рассмотрены методы геометрического синтеза планетарно-роторных гидромашин с учетом простоты расчета и удобства производства. Тем не менее, представленные методики имеют потенциал к развитию для еще большего упрощения уже полученных методов расчета и конструирования планетарно-роторных гидромашин.

Список литературы

1. Dawei Li, Design of a Noncircular Planetary Gear Mechanism for Hydraulic Motor [Text] / Yiongping Liu, Jun Gong, Tgongcheng Wang // Mathematical Problems in Engineering. – 2021. – P. 1–9. DOI:10.1155/2021/5510521.
2. U.S. Patent No. 3852002 Gyating-cam engine, particularly as a hydraulic engine / Appl. No.: 310077: Filed: Nov. 28, 1972 / B. Sieniawski; Assignee Zaklady Urzadzen Okretowych «Hydroster». – Gdansk, Poland, 1974.
3. Ан И-Кан Синтез, геометрические и прочностные расчеты планетарных механизмов с некруглыми зубчатыми колесами роторных гидромашин: дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. Наук / Ан И-Кан; Томский политехнический университет. – Томск, 2001. – 236 с.
4. Волков Г.Ю. Инженерный метод геометрического синтеза планетарного механизма роторной гидромашин [Текст]/ Г.Ю. Волков, Д.А. Курасов, М.В. Горбунов // Научно-технический и производственный журнал «Вестник машиностроения». – 2017. – № 10. – С. 10–15.

ВЛИЯНИЕ ТИПА ПЛАСТИКА НА ПРОЧНОСТНЫЕ КАЧЕСТВА ПЕЧАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Дороганов Д.В., студент гр. 5021.
Старший преподаватель ОМШ ИШПТ Черемискина М.С.,
Аспирант Солодовников Д.С. гр. А4-28
НИИ ТПУ, ИШЭ
e-mail: dvd25@tpu.ru*

В настоящее время аддитивные технологии (технологии 3D-печати), претерпевают активное развитие и совершенствование технологий. Начиная от любительского творчества, заканчивая серьезными производственными технологиями.

В основном в 3D-печати используется три типа пластика:

1. Поли-молочная кислота (PLA).

Этот пластик отличается высокой прочностью, низкой эластичностью и средней долговечностью. Но в тоже время низкой сложностью использования, что делает его практически универсальным.

2. Акрилонитрил-бутадиен-стирол (ABS).

Отличается высокой прочностью и долговечностью, средней эластичностью и высокой способностью противостоять температуре, но такая особенность осложняет печать из данного пластика, т. к. требуется более высокая температура как сопла, так и стола, на котором печатается деталь.

3. Полиэтилентерефталат гликоль (PETG).

По своим свойствам является чем-то средним между ABS и PLA, но может отличаться своей гибкостью, прочностью, в том числе и ударопрочностью. Но этот тип пластика очень хорошо поглощает влагу, ввиду своей гигроскопичности, что значительно усложняет печать из этого пластика.

Существуют так же и другие типы пластика, но в моей работе я буду рассматривать только эти три типа.

Очень важным критерием качества напечатанной модели является не только пластик, из которого сделана модель, но также и тип заполнения детали.

Тип заполнения детали определяет не только внешний вид, но и прочностные качества изготавливаемого изделия. Существует 14 типов заполнения детали:

Сетка	Четверть куба
Линии	Концентрическое
Треугольник	Зигзаг
Шестигранник из треугольников	Крестовое
Куб	Крестовое 3D
Динамический куб	Гироид
Восьмигранник	Без заполнения

Так же еще одним важнейшим параметром печати 3D-модели, является *плотность заполнения*. Пределы этого значения соответственно от 0 до 100 %. При нулевом значении плотности деталь будет пустотелой, а при стопроцентной практически монолитной (литой).

Целью моей работы является исследование влияние материала, из которого изготовлена модель, на прочность этих моделей.

Для этого мне необходимо было выяснить как выдерживает нагрузки тот или иной пластик, поэтому нужно было создать равные условия для проведения испытаний. Было решено напечатать на 3D-принтере девять кубов размером 30×30 мм. Тип заполнения был выбран «Куб», и плотность заполнения 25 %.

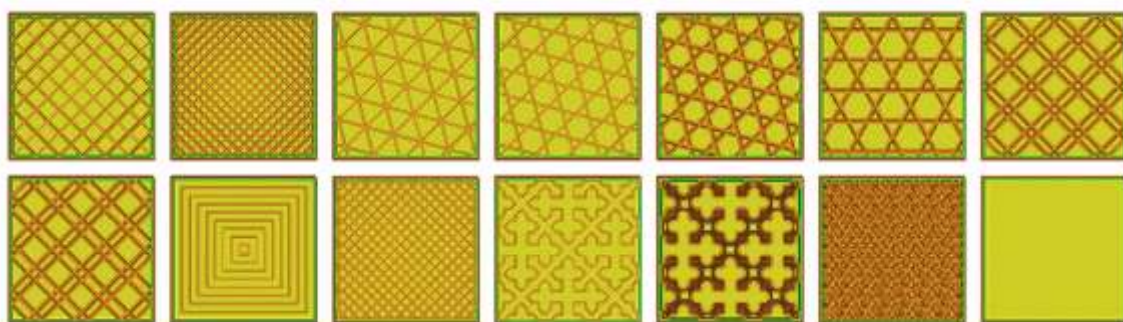


Рис. 1. Типы заполнения деталей:

1 – Сетка; 2 – Линии; 3 – Треугольник; 4 – Шестигранник из треугольников; 5 – Куб;
6 – Динамический куб; 7 – Восьмигранник; 8 – Четверть куба; 9 – Концентрическое;
10 – Зигзаг; 11 – Крестовое; 12 – Крестовое 3D; 13 – Гироид; 14 – Без заполнения

Испытания проводились следующим образом.

Каждый из кубов поочередной ставился под гидравлический пресс, при воздействии прессы выяснялись максимальные пределы нагрузки для каждого из образцов. Так же для одного из кубиков каждого из типов пластика нагрузка прилагалась на боковые грани куба. По результатам проведения опыта были получены следующие значения.

Таблица 1

Результаты испытаний

Тип пластика	№ образца	Предел нагрузки, кг
PLA	Образец № 1 (Верхние грани)	730
	Образец № 2 (Боковые грани)	730
	Образец № 3 (Верхние грани)	700
ABS	Образец № 1 (Верхние грани)	230
	Образец № 2 (Боковые грани)	0
	Образец № 3 (Верхние грани)	230
PETG	Образец № 1 (Верхние грани)	430
	Образец № 2 (Боковые грани)	43
	Образец № 3 (Верхние грани)	445

Под действием нагрузки каждый из типов пластика вел себя по-разному.

PLA:

При приложении нагрузки свыше нагрузки которую может выдержать структура заполнения кубика, кубик начинал «расплываться», при этом не происходило расслоение. Слои пластика наплывали друг на друга, как бы образуя волну. Это хорошо можно увидеть на рис. 2.

ABS:

При приложении нагрузки сверх той, которую могла выдержать структура заполнения, пластик начинал расслаиваться и расходится в разные стороны, появлялись трещины, некоторая часть пластика начинала отходить. Хотя ABS пластик считается более эластичным чем PLA, испытания показали обратный результат. Результаты воздействия нагрузки можно увидеть на рис. 3.

PETG:

При приложении нагрузки на верхние грани, поведение PETG пластика оказалось аналогичным PLA. Слои пластика начали наплывать друг на друга, но расслоения также не происходило, но при приложении нагрузки на горизонтальные грани дало противоположный результат. Как можно заметить по табл. 1, кубик не выдержал нагрузки на боковые грани, так как практически сразу же после начала приложения нагрузки разрушился на несколько осколков. Результаты воздействия видны на рис. 4.



Рис. 2. Кубики из PLA пластика после проведения испытаний



Рис. 3. Кубики из ABS пластика после проведения испытаний



Рис. 4. Кубики из PETG пластика после проведения испытаний

В ходе проведения опыта, были получены определенные значения предельной нагрузки, после превышения которой образцы подвергались пластической деформации и дальнейшему разрушению, также было получены данные о поведении каждого из трех типов пластика под нагрузкой. По результатам опыта можно прийти к выводу, что лучше всего себя показал PLA пластик.

Но стоит отметить, что как ABS, так и PETG имеют ряд преимуществ, которые не учитывались в данном опыте и их применение обусловлено другими конкретными задачами.

Список литературы

1. Заполнение в 3D-печати. Разновидности и какое выбрать? // 3DiY URL: <https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/zapolnenie-3d-pechati-raznovidnosti/#link1> (дата обращения: 11.11.2024).
2. Пластики для 3D-печати, всё что нужно знать о материалах // 3DiY URL: <https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/zapolnenie-3d-pechati-raznovidnosti/#link1> (дата обращения: 11.11.2024).

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ МЕЖДУ САТЕЛЛИТАМИ В ПЛАНЕТАРНО-ЦЕВОЧНОЙ ПЕРЕДАЧЕ

Зайцева А.В.¹

Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана,
Робототехника и комплексная автоматизация, ассистент
e-mail: av-zaytseva@bmstu.ru

К основным условиям работоспособности планетарно-цевочных передач следует отнести контактную выносливость рабочего профиля сателлита и выносливость опоры сателлита. Согласно [1] действующие контактные напряжения в зацеплении можно оценить по формуле:

$$\sigma_H = Z_E Z_H \sqrt{\frac{K_A K_{Hs} K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{H\nu} F_e}{a_p b_p z_s} \frac{z_c \pm 1}{z_c}}, \quad (1)$$

где Z_E, Z_H – коэффициенты, учитывающие материал и геометрию передачи, $K_A K_{Hs} K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{H\nu}$ – коэффициенты нагрузки, F_e – номинальная окружная сила на эксцентрик, a_p – делительный диаметр обоймы с цевками, b_p – ширина сателлита, z_s – число сателлитов, z_c – число зубьев сателлита, знак «+» соответствует эпициклоиде, знак «-» соответствует гипоциклоиде.

Оба условия работоспособности передачи существенно зависят от распределения нагрузки между элементами передачи. Общепринятая методика расчета [2–4] предполагает распределение нагрузки между сателлитами равномерным. Однако, в результате численного моделирования [5] было показано, что нагрузка, передаваемая сателлитами не одинаковая. Долю крутящего момента, передаваемую каждым сателлитом, можно оценить коэффициентом K_{Hs} неравномерности распределения нагрузки между сателлитами.

В планетарно-цевочной передаче типа KHV присутствует один эксцентриковый вал, соосный выходному валу, а момент с сателлита снимается при помощи механизма параллельных кривошипов (рис. 1).

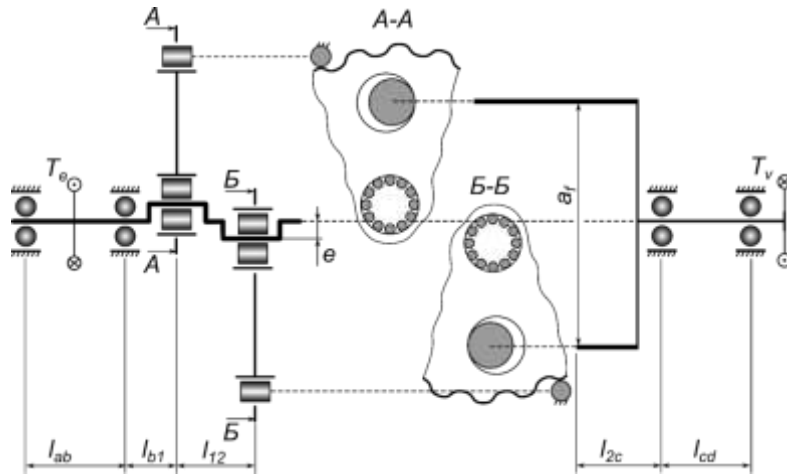


Рис. 1. Расчетная схема планетарно-цевочной передачи типа KHV

Угол поворота эксцентрикового вала φ для передачи KHV выполненной с зазорами можно найти по следующей формуле (2):

$$\varphi \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \left[\frac{1}{c_p e^2 z_c^2} \mathbf{E} + \left(\frac{1}{e^2 z_c^2} + \frac{4}{a_f^2} \right) \mathbf{A} + \frac{4}{a_f^2} \mathbf{B} \right] \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \end{pmatrix} = \mathbf{C} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где c_p – контактная жесткость, $\mathbf{E}$ – единичная матрица, a_f – делительный диаметр механизма параллельных кривошипов, T_1, T_2 – крутящие моменты на сателлитах, k_λ – коэффициент, зависящий от λ коэффициента укорочения циклоиды.

Для несимметричной компоновки (консольное расположение эксцентрикового вала и механизма параллельных кривошипов) матрицы **A** и **B** могут быть определены следующим образом:

$$\begin{aligned} A_{ij} &= \left(\frac{l_{bj}l_{bi}}{c_a l_{ab}^2} + \frac{l_{aj}l_{ai}}{c_b l_{ab}^2} + \frac{l_{ab}l_{bj}l_{bi}}{3EI_m} + \frac{l_{bj}^2(3l_{bi}-l_{bj})}{6EI_e} \right) \cos(\gamma_i - \gamma_j) + \frac{\delta_{ij}}{c_i}; \\ B_{ij} &= \left(\frac{l_{cj}l_{ci}}{c_d l_{cd}^2} + \frac{l_{aj}l_{ai}}{c_c l_{cd}^2} + \frac{l_{cd}l_{cj}l_{ci}}{3EI_v} \right) \cos(\gamma_i - \gamma_j) + \frac{l_{cd}a_f^2}{4GI_{pv}} + \left(\frac{l_{ci}^3}{3EI_f} + \frac{1}{c_f} \right) \delta_{ij}. \end{aligned} \quad (3)$$

Для передачи KHV выполненной без зазоров угол поворота эксцентрикового вала φ может быть определен из уравнения

$$\varphi \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \left[\frac{4}{z_p c_p e^2 z_c^2} \mathbf{E} + \frac{1}{e^2 z_c^2} \mathbf{A} + \frac{4}{a_f^2} \mathbf{B} + \left(\frac{2}{a_f} - \frac{k_\lambda}{e z_c} \right)^2 \mathbf{H} \mathbf{A} \right] \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \end{pmatrix} = \mathbf{C} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где матрица **H** задана следующим соотношением:

$$\mathbf{H} = \left[\mathbf{E} + \frac{z_p c_p}{4} (1 - k_\lambda^2) \mathbf{A} \right]^{-1}. \quad (5)$$

Коэффициент K_{Hs} неравномерности распределения нагрузки между сателлитами может быть определен по формуле

$$K_{Hs i} = \frac{T_i z_s}{T} = \sum_{j=1}^{z_s} C_{ij}^{-1} / \sum_{j=1}^{z_s} \sum_{k=1}^{z_s} C_{jk}^{-1}. \quad (6)$$

Для верификации предложенного метода расчета K_{Hs} коэффициента неравномерности распределения нагрузки между сателлитами был проведен эксперимент, в котором при приложении нагрузки замерялись перемещения сателлитов. Экспериментальная установка была выполнена на базе редуктора фирмы «БЕЛРОБОТ». Сравнение результатов полученных экспериментально и при помощи аналитической модели представлены на рис. 2. Розовой линией показаны результаты аналитического расчета для передачи типа KHV, выполненной с зазорами, красной линией показаны результаты аналитического расчета для передачи типа KHV, выполненной без зазоров, зелеными линиями показан разброс значений, полученный в ходе экспериментов.

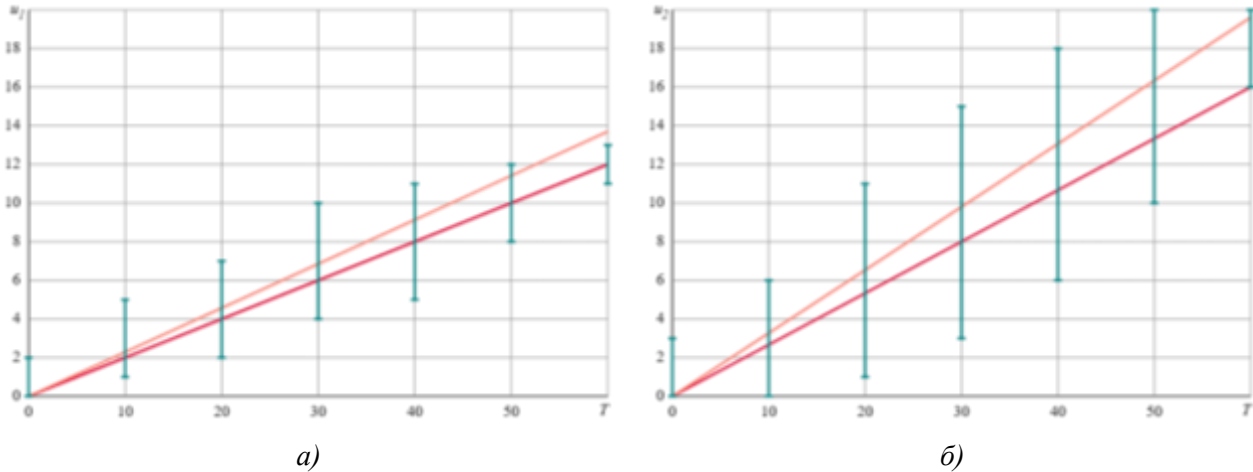


Рис. 2. Верификация аналитической модели расчета коэффициента K_{Hs}
а – перемещения первого сателлита (ближайшего к двигателю) u_1 в зависимости от прикладываемого момента T , б – перемещения второго сателлита u_1 в зависимости от прикладываемого момента T

Как видно из рис. 2, расхождение расчетных и экспериментальных данных незначительно. В результате работы была разработана и верифицирована аналитическая модель оценки коэффициента K_{Hs} распределения нагрузки между сателлитами. Коэффициент распределения нагрузки по сателлитам принимает значения $K_{Hs} = 1 \dots z_s$, для использованного в эксперименте редуктора фирмы «БЕЛРОБОТ» $K_{Hs} = 1,16$.

Список литературы

1. Ермолаев М.М., Зайцева А.В. Метод оценки коэффициентов нагрузки планетарно-цевочных передач. Современное машиностроение: Наука и образование 2024: материалы 13-й Международной научной конференции, 20 июня 2024 года / под ред. А.Н. Евграфова и А.А. Поповича. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024.
2. Шанников В.М. Планетарные редукторы с внецентроидным зацеплением. – М.: Машгиз, 1948. – 172 с.
3. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. Л.: Машиностроение, 1966. – 308 с.
4. Lehmann M. Berechnung und Messung der Krafte in einem Zykloiden-Kurvenscheiben-Getriebe. Dokt. Diss. Munchen, Techn. Univ., Fachbereich Maschinenwesen, 1976. – 224 p.
5. Захаров М.Н., Ермолаев М.М., Зайцева А.В. Оценка распределения нагрузки между сателлитами планетарно-цевочного редуктора. Вестник машиностроения. – 2020. – № 6. – С. 34–39.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РВС С ДЕФЕКТОМ ТИПА «НЕПРОВАР» УТОРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Темный Н.Д.

Аспирант ИШНПТ НИ ТПУ, Томск, Россия

Научный руководитель Гаврилин А.Н.,

доктор технических наук, профессор

НИ ТПУ, Томск, Россия

Введение

РВС (резервуары вертикального типа) являются важной составляющей нефтедобывающей промышленности. Они используются для хранения и транспортировки нефти и газа. Однако, как и любое другое техническое сооружение, резервуары вертикального хранения подвержены деформации и износу, что может привести к возникновению дефектов и повреждений.

Один из наиболее распространенных дефектов, которые могут возникнуть на резервуаре вертикального хранения, это дефект типа «непровар» уторного соединения. Этот дефект возникает в результате неправильной сварки и может привести к серьезным последствиям, таким как утечка нефти и газа, что может привести к катастрофическим последствиям.

Конечной целью настоящего исследования является повышение безопасности резервуаров и предотвращение возникновения катастрофических последствий. В связи с этим, необходимо изучить напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального хранения с дефектом типа «непровар» уторного соединения и определить возможность использования таких резервуаров. Результаты исследования будут иметь практическое значение для нефтедобывающей промышленности и могут быть использованы при разработке новых методов проверки и обслуживания резервуара вертикального хранения. Кроме того, данное исследование может быть полезно для других отраслей промышленности, где используются сходные технические сооружения и оборудование. В связи с тем, что дефекты типа «непровар» уторного соединения являются распространенными и могут возникать на любых резервуарах вертикального хранения, важно изучить эту проблему и найти эффективные способы ее решения.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, РВС, дефект, непровар, уторное соединение, метод конечных элементов, прочностные испытания, контроль дефектов, безопасность эксплуатации, техническое обслуживание.

Цель исследования. Целью настоящего исследования является изучение напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения. Для достижения этой цели были выполнены следующие задачи:

- Определить геометрические параметры резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения.
- Провести анализ напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального хранения с дефектом типа «непровар» уторного соединения.
- Определить возможность использования резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения.

Методология. Для достижения цели исследования был использован метод численного моделирования напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения. Для этого был разработан 3D-модель резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения в программном комплексе ANSYS.

Кроме того, в рамках методологии были определены граничные условия и параметры материала, необходимые для построения 3D-модели резервуара вертикального хранения с дефектом

типа «непровар» уторного соединения. Для анализа напряженно-деформированного состояния были использованы методы конечных элементов, что позволило получить точные результаты с учетом различных факторов, включая геометрические особенности и характеристики материала.

Кроме того, в процессе методологии была проведена валидация 3D-модели резервуара вертикального хранения с дефектом типа «непровар» уторного соединения путем сравнения результатов численного моделирования с экспериментальными данными. Это позволило убедиться в точности и корректности используемой методики и подтвердить ее применимость для анализа напряженно-деформированного состояния РВС с дефектом типа «непровар» уторного соединения.

Таким образом, использование метода численного моделирования в рамках данной методологии позволило получить более глубокое понимание поведения резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения в условиях нагружения. Это может быть полезным для разработки более эффективных методов контроля качества сварных соединений и повышения безопасности эксплуатации различных конструкций.

Результаты исследования. Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального хранения с дефектом типа «непровар» уторного соединения проводилось в условиях, имитирующих реальные эксплуатационные условия данного элемента техники. В результате экспериментов были получены данные о распределении напряжений в области дефекта и его окрестностях, а также о снижении максимального напряжения, которое может выдержать резервуар вертикального хранения при наличии дефекта.

Одним из дополнительных результатов исследования является выявление зависимости между размерами дефекта и величиной снижения максимального напряжения, которое может выдержать резервуар вертикальный стальной. Было установлено, что с увеличением размера дефекта происходит более существенное снижение прочности резервуара. Эта зависимость может быть использована при разработке методов контроля дефектов в резервуаре, так как позволяет определить критические размеры дефектов, при которых прочность его снижается настолько, что его эксплуатация становится недопустимой.

Также было обнаружено, что дефект типа «непровар» уторного соединения может привести к появлению дополнительных деформаций и напряжений в других областях резервуара, что может привести к дополнительным дефектам и повреждениям. Этот результат подчеркивает важность контроля его состояния и своевременного выявления дефектов, чтобы избежать негативных последствий для безопасности и надежности техники.

Исследование также позволило выявить различия в напряженно-деформированном состоянии с дефектом типа «непровар» уторного соединения в зависимости от условий его эксплуатации. Было установлено, что эксплуатационные нагрузки и температурные режимы могут влиять на распределение напряжений в области дефекта и его окрестностях, что необходимо учитывать при контроле и ремонте.

На основе результатов исследования было выяснено, что использование резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения не рекомендуется, так как дефект может привести к необратимым последствиям.

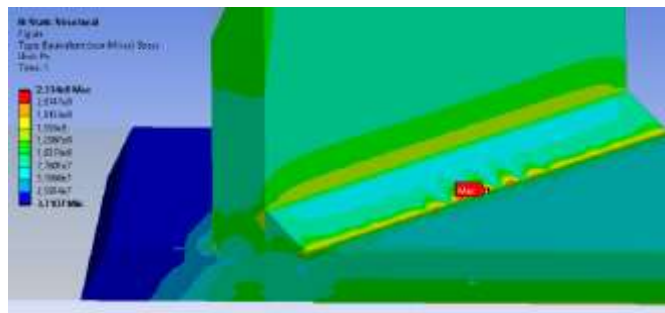


Рис. 1. Максимальные эквивалентные напряжения в уторном узле без сварных дефектов

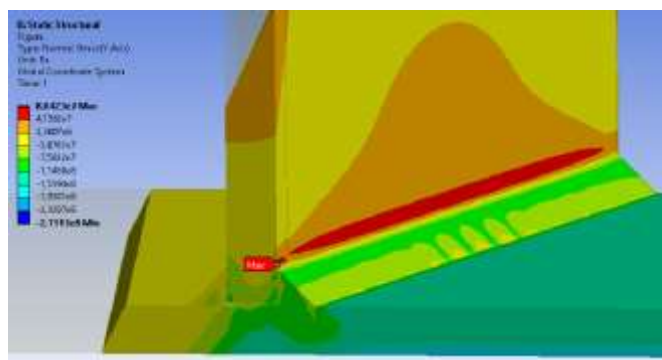


Рис. 2. Максимальные эквивалентные напряжения в уторном узле с наличием дефекта подрез стенки внутри и глубиной 1 мм

Заключение

Проведенное исследование позволило получить новые данные о напряженно-деформированном состоянии с дефектом типа «непровар» уторного соединения. Были использованы метод конечных элементов и прочностные испытания, что позволило более точно определить параметры деформации и прочности материала.

Одним из наиболее важных результатов исследования стало то, что размер дефекта существенно влияет на прочность, что было продемонстрировано на основе проведенных экспериментов. Также было установлено, что условия эксплуатации и распределение напряжений в области дефекта и его окрестностях могут оказывать значительное влияние на прочность.

Таким образом, на основе проведенного исследования можно сделать вывод о том, что контроль дефектов в резервуаре вертикального хранения является важной задачей для обеспечения безопасности и надежности эксплуатации техники. При этом, использование новых методов и технологий позволит повысить эффективность контроля дефектов и снизить риски возникновения аварийных ситуаций.

Список литературы

1. Лукин В.И., Стариков С.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния РВС с дефектами // *Металлург.* – 2018. – № 3. – С. 40–45.
2. Степанов А.В., Петров В.В. Исследование напряженно-деформированного состояния РВС с дефектом типа «непровар» уторного соединения // *Материалы XXI Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы механики и математического моделирования».* – 2019. – С. 174–178.
3. Тимофеев Н.И., Гаврилов В.П. Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов в условиях техногенных воздействий // *Вестник Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение».* – 2016. – № 2. – С. 12–18.
4. Чернышев Д.В., Зарецкий Ю.Н. Численное моделирование деформаций и напряжений в конструкциях // *Известия Томского политехнического университета.* – 2018. – Т. 331, № 3. – С. 19–25.

АНАЛИЗ CAD-СИСТЕМ ПРИМЕНЯЕМЫХ В МИРЕ

*Фань Синъюэ,
студент гр. 158Т12 НИ ТПУ*

Введение

Современные технологии автоматизации играют ключевую роль в совершенствовании проектирования и производства в самых разных отраслях. С развитием трехмерного проектирования системы автоматизированного проектирования (САПР) стали незаменимыми инструментами для создания, анализа и тестирования сложных объектов, ускорения разработки и снижения затрат. Эти системы объединяют аппаратное и программное обеспечение, а также технологии взаимодействия с пользователем, что позволяет сократить время разработки, повысить качество и снизить вероятность ошибок.

В этой статье мы познакомимся с популярными системами автоматизированного проектирования, используемыми в некоторых странах мира, проанализируем их функциональность и применение в промышленности.

Методология исследования

Для проведения исследования я использовала комбинацию анализа существующих источников информации, личного опыта и практического применения различных CAD-систем. Исследование началось с анализа обзоров, технических отчетов и документации производителей популярных программ, таких как КОМПАС-3D, nano-CAD, T-FLEX CAD, AutoCAD, SolidWorks, Revit, Tianzheng CAD, HaoChen и GstarCAD.

Затем был проведен сравнительный анализ этих систем по ключевым критериям: функциональность, интерфейс и удобство использования, производительность, стоимость, поддержка и документация. Для более глубокого анализа я опиралась на собственный опыт работы с инструментами 3D-моделирования, прототипирования и расчета прочности, а также изучала отзывы пользователей, собранные через Интернет.

Анализ и результаты

При анализе систем автоматизированного проектирования, используемых в разных странах, можно выделить несколько основных тенденций, основанных на специфических потребностях пользователей, отраслевых требованиях и различиях в экономических условиях. Каждая система автоматизированного проектирования имеет свои сильные и слабые стороны, которые во многом зависят от региона, типа пользователя и уровня доступных ресурсов.

В России, например, предпочтение отдается решениям, оптимизированным под местные стандарты, таким как КОМПАС-3D и nano-CAD. В США более популярны глобальные системы, такие как AutoCAD и SolidWorks, обладающие широкими возможностями, но дорогостоящие. В Китае более доступные решения, такие как Tianzheng CAD и GstarCAD, подчеркивают экономическую эффективность и поддерживают широкий спектр отраслей.

В таблице ниже приведено краткое сравнение наиболее популярных решений CAD в разных странах с указанием их ключевых особенностей.

В целом, разнообразие доступных CAD-систем в мире предоставляет пользователям широкий выбор, соответствующий различным требованиям и условиям. Выбор подходящей системы зависит от множества факторов, таких как область применения, бюджет, требования к функционалу и поддержка отраслевых стандартов.

Таблица 1

Краткое сравнение систем автоматизированного проектирования

Система	Страна	Поддержка ГОСТ	Бесплатное использование в образовании	Стоимость, тыс. руб.	Русификация	Поддержка 3D	Требования к ПК	Мощность функционала	Совместимость
КОМПАС-3D	Россия	+	+	80–150	+	+	+	+	+
nanoCAD	Россия	+	+	0–10	+	+	+	+	+
T-FLEX CAD	Россия	+	+	100–250	+	+	+	+	+
AutoCAD	США	–	–	200–300	+	+	+	+	+
SolidWorks	США	–	+	200–350	+	+	+	+	+
Revit	США	–	+	200–300	+	+	+	+	+
TIANZHENG CAD	Китай	–	–	150–250	+	+	+	+	–
Hao Chen CAD	Китай	–	+	0–10	+	+	+	+	–
Zhongwang CAD	Китай	–	–	0–10	+	+	+	+	–
GstarCAD	Китай	–	–	20–60	+	+	+	+	+
Siemens NX	Германия	–	–	300–500	–	+	+	+	+
Solid Edge	Германия	–	–	150–300	–	+	+	+	+
CATIA	Франция	–	–	300–600	–	+	+	+	+
PTC Creo	Швейцария	–	–	200400	–	+	+	+	+
ZW3D	Южная Корея	–	–	150–250	–	+	+	+	+

Вывод

Для моего обучения в России я выбрала КОМПАС-3D как основную CAD-систему для дальнейшего изучения. Этот выбор обусловлен рядом факторов. Во-первых, КОМПАС-3D обладает поддержкой ГОСТ и русификацией, что значительно упрощает работу с проектами, ориентированными на российские стандарты. Во-вторых, система предоставляет полноценные инструменты для 3D-моделирования и анализа, что является важным для освоения современных методов проектирования. Наконец, КОМПАС-3D обладает доступной стоимостью по сравнению с зарубежными аналогами, что делает её оптимальным выбором для учебных целей и для использования в российских условиях.

Список литературы

1. О российских средствах моделирования // Дизайн интерьера: Сайт: 15 лучших программ САПР: бесплатные и коммерческие.
2. Обзор популярных систем автоматизированного проектирования (CAD) // Сайт: Обзор популярных систем автоматизированного проектирования / ПОИНТ.
3. Информация о китайском отечественном программном обеспечении для САПР. // Сайт: <https://zhidao.baidu.com/question/723645111777367725.html>.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА 3D-ПРИНТЕРЕ

*Спиненко С.М., студент гр. 4А22
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
e-mail: sms26@tpu.ru*

3D-печать – это процесс создания физического объекта из трёхмерной цифровой модели или модели САПР. Он включает в себя различные компьютерные технологии, в которых материал соединяется или затвердевает для создания реального объекта.

Благодаря технологиям 3D-печати существует возможность восстановления зубчатого колеса в механизме.

Метод восстановления зубчатых колес на 3D-принтере:

1. Сканирование и моделирование.

Сначала создается 3D-модель зубчатого колеса. Это можно сделать методом измерения всех параметров зубчатого колеса и последующего его моделирования, или же можно отсканировать зубчатое колесо и провести его «восстановление» в программе САПР.

2. Подготовка модели.

После создания 3D-модели необходимо оптимизировать ее для печати. Выбор материала будет зависеть от условий прочности, износостойкости и температурной стабильности.

3. Печать.

Печать производится на одном из типов пластиковых 3D-принтеров: SLA, DLP, MJP, RJP, FDM, FFF, LCD, SLS.

4. Обработка.

После печати может потребоваться постобработка детали, такая как шлифовка или покраска, чтобы улучшить её внешний вид и функциональные характеристики.



Рис. 1. Пример печати зубчатого зацепления на 3D-принтере

Выбор материала для печати зубчатых колес на 3D-принтере.

Естественно, основным материал – это пластик. Но он может отличаться, в зависимости от поставленных целей и конечной прочности готового изделия:

1. Nylon (PA). Достаточно прочный материал. Этот филамент считается одним из самых надежных для изготовления подвижных узлов и элементов. Небольшой минус материала: он хорошо впитывает влагу. Не стоит делать шестеренки из нейлона, если принтер стоит в помещении с высокой влажностью.

2. PETG. Данный тип пластика тоже относят к высокопрочным. Он немного уступает по характеристикам нейлону. Печатники ценят его за хорошую спекаемость слоев, а также за прилипание к рабочей поверхности.

3. PLA и ABS. Эти материалы соперничают друг с другом. По эксплуатационным характеристикам они примерно равны. В основном различия касаются натренированности самого печатника. Кто-то привык к PLA и его рабочим температурам в 75 °С. Другие успешно используют ABS, нагревая материал до 105 °С.

Способ сканирования зубчатого колеса для восстановления 3D-модели.

Для получения 3D-модели может использоваться 3D-сканер. Сканеры бывают: фотограмметрические, отраженный структурированный свет, лазерные и др.

Фотограмметрия – это метод позволяет строить модели объектов на основе множества фотографий, сделанных под разным углом. Чем больше снимков – тем более детальной получится модель.

В основе метода отраженного структурированного света лежит оборудование, которое построено на принципе проецирования на сканируемый объект световой сетки. Ее искажение на объекте, которое считывается специальной камерой, позволяет получить очень точное представление о его форме.

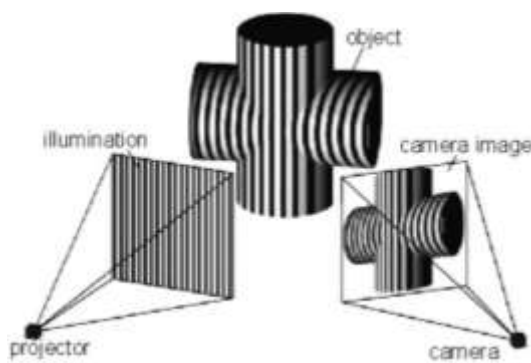


Рис. 2. Принцип работы фотограмметрического сканирования

Лазерное сканирование. Триангуляционные лазерные сканеры измеряют смещение отраженного луча, прошедшего через специальную линзу, а времяпролетные строят рельеф сканируемой детали на основе изменения задержки возврата отраженного лазерного импульса.



Рис. 3. Лазерное сканирование

Список литературы

Ресурсы удаленного доступа:

1. Как печатают шестеренки на 3D-принтере // Блог: сайт. – 2024. – URL: <https://vektor.us.ru/blog/pechat-shesterenok-na-3d-printere.html>.
2. Программы для 3D-сканирования // Блог: сайт. – 2024. – URL: <https://top3dshop.ru/blog/programmy-dlja-3d-skanirovanija-obzor-i-primenenie-old.html>

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

Алеев Д.С., ТПУ, ИШНПТ, 4А21,
Научный руководитель: Черемискина М.С.
e-mail: dsa28@tpu.ru

Коленчатый вал (коленвал) является одним из ключевых компонентов любого поршневого двигателя внутреннего сгорания. Также, коленвал играет решающую роль в обеспечении эффективной работы двигателя, передавая мощность от цилиндров к другим компонентам машины. Он преобразует возвратно-поступательное движение поршней во вращательное, которое через маховик и трансмиссию передаётся на колёса.

Коленчатый вал состоит из следующих частей:

1. Коренные шейки – сегменты вала, находящиеся на его оси вращения.
2. Шатунные шейки – сегменты вала, смещённые относительно его оси вращения и коренных шеек. Служат для крепления шатунов с поршнями и воспринимают передаваемое от них усилие.
3. Щёки коленчатого вала – как правило, округлые или эллиптические диски, служащие для соединения коренных и шатунных шеек. В щёки также интегрированы противовесы, предназначенные для снижения уровня вибраций ДВС.
4. Носок – передняя часть коленвала, к которой крепится звёздочка или шкив привода газораспределительного механизма и вспомогательных систем.
5. Хвостовик (фланец маховика) – задняя выходная часть коленвала, соединённая с маховиком, а через него – с трансмиссией.
6. Масляные каналы – система полостей во всех шейках и щеках вала для подачи масла к трущимся частям.

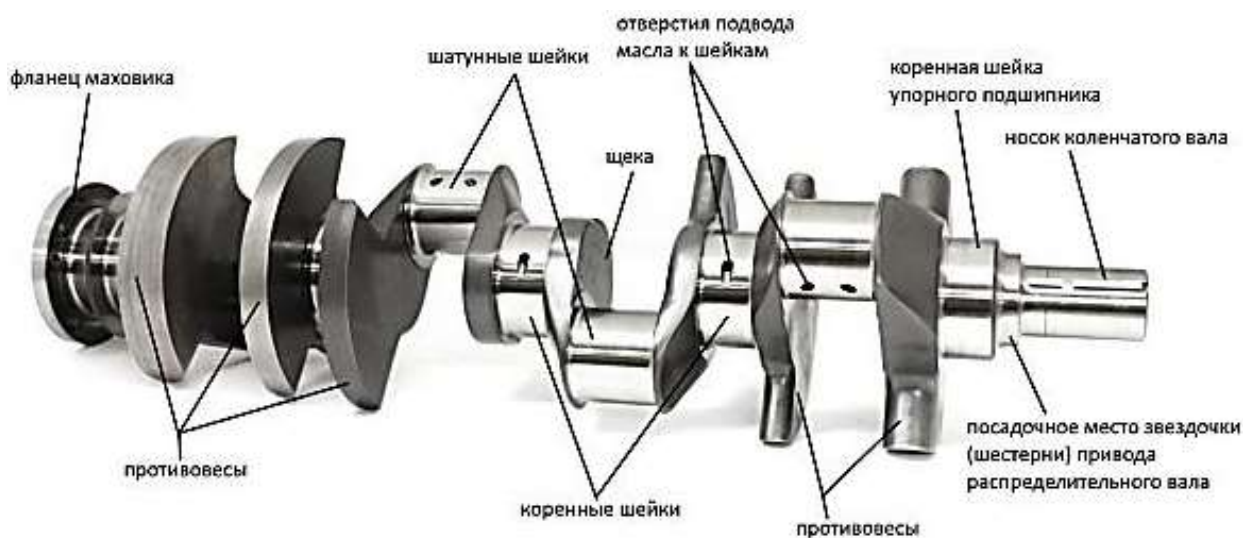


Рис. 1. Устройство коленвала

Для изготовления коленчатых валов используют разные материалы. Стальные валы получают ковкой, а чугунные – литьём. Для получения наиболее точных результатов балансировки коленвала рекомендуется отдельно отбалансировать маховик, коленвал и корзину, на втором этапе провести балансировку системы «вал+маховик», а затем – окончательную балансировку всего коленвала в сборе («маховик+коленвал+корзина»). Для проведения балансировки рекомендуется обратиться к специалисту.

Моделирование коленчатого вала в Компас происходит по средствам поэтапного создания эскизов и выдавливания элементов.

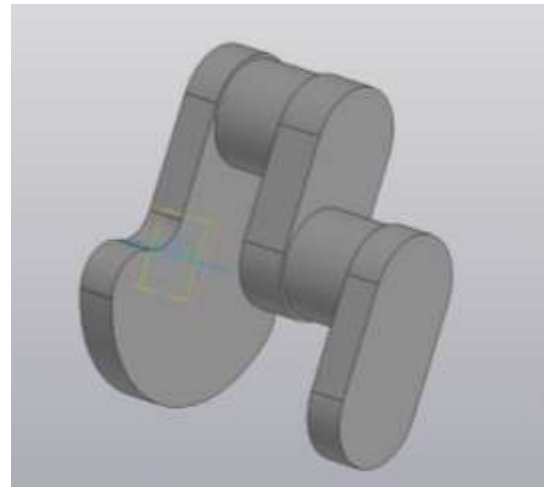
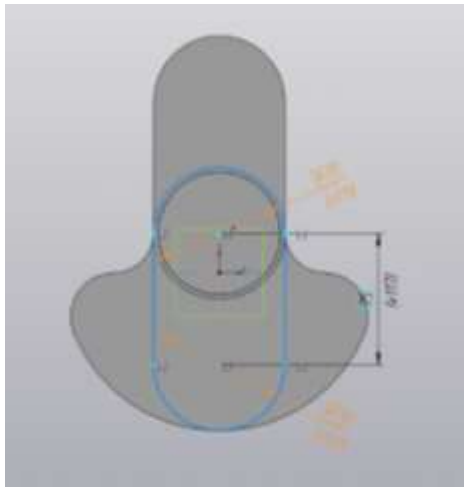


Рис. 2. Поэтапное моделирование

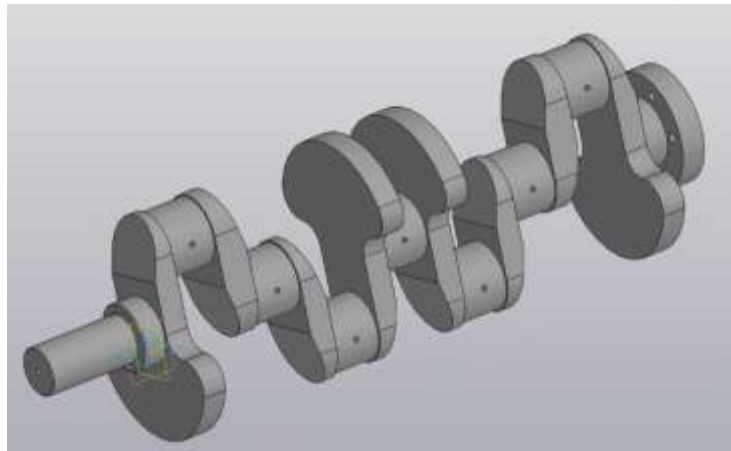


Рис. 3. Модель коленчатого вала

Вал имеет повторяющуюся геометрию, поэтому можно воспользоваться командой «Спроецировать объект», выбрать нужный эскиз и тем самым он спроецируется в нужную плоскость, далее выделив эскиз и используя команду «Повернуть», выбрав угол поворота 180 градусов можно получить следующую часть вала. Коленчатый вал, элементы которого симметричны относительно центра, можно получить смоделировав половину детали, а затем используя команду «Массив по сетке – Зеркальный массив» получить вал полностью.

Список литературы

1. Кулаев Д.Х. Динамика кривошипно-ползунного механизма с зазорами в шатунных подшипниках // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». – 2009.
2. Орлин А.С., Круглов М.Г. и др. (Ред.). Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. – Москва, 1984.

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПЯТИОСЕВОЙ ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК БЕЗКОНСОЛЬНОГО ТИПА

*Андропова А., Братченко Т.С.
НИ ТПУ, ИШНПТ, группа 4НМ41*

e-mail: aaa164@tpu.ru

e-mail: tsb10@tpu.ru

*Крауиньш Д.П., к.т.н., доцент ОМШ ТПУ,
e-mail: dpkrauinjsh@tpu.ru*

Аннотация

В данной статье представлены конструктивные решения, применяемые при проектировании малогабаритного фрезерного пятиосевого станка безконсольного типа. Изложено краткое описание, назначение, ключевые отличия и области применения, а также достоинства и недостатки. Авторами предлагается разработка малогабаритного фрезерного станка с автоматической сменной инструмента, оснащенного крестовым и поворотным столом.

Ключевые слова: малогабаритные станки, фрезерные станки, компоновка станка, пятиосевой станок.

Введение

В современном мире технологии играют ключевую роль в развитии различных отраслей промышленности. Одним из важных направлений является создание и усовершенствование оборудования для обработки материалов, которое позволяет повысить эффективность производства и качество выпускаемой продукции. В данной статье рассмотрены конструктивные решения, применяемые при проектировании малогабаритного фрезерного пятиосевого станка безконсольного типа.

Актуальность темы обусловлена необходимостью разработки малогабаритных моделей станков, которые будут сочетать в себе компактность, многофункциональность и высокую точность обработки. Также данная разработка актуальна за счет необходимости обработки мелких деталей без загрузки основного производственного оборудования. Наличие данной модели станка на производстве существенно сократит подготовительно-заключительное и вспомогательное время.

Пятикоординатный фрезерный станок с ЧПУ является многоцелевым фрезерным станком с вертикальным расположением шпинделя модели GDL80-20-24Z/2.2, который обладает асинхронным двигателем с возможностью регулировки оборотов от 5000–24000 об/мин. Шпиндель GDL80-20-24Z/2.2 представлен на рис. 1.

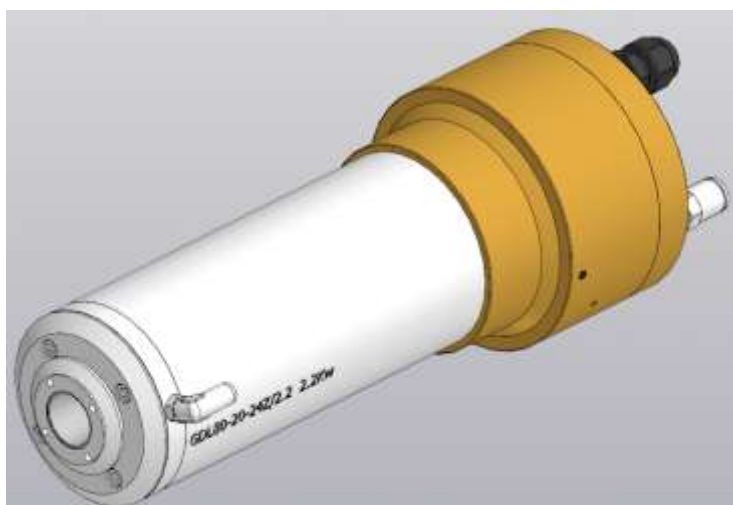


Рис. 1. Шпиндель GDL80-20-24Z/2.2

Основные характеристики шпинделя представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики шпинделя GDL80-20-24Z/2.2

Тип двигателя	Асинхронный
Напряжение ток	220 В
Номинальный ток	6,8 А
Номинальная мощность	2,2 кВт
Скорость вращения	24 000 об/мин
Охлаждение	Жидкостное

Также малогабаритный станок оснащен столом, который перемещается по осям X, Y, C. Шпиндель имеет возможность перемещаться по осям Z, B. Преимущество настройки данного горизонтального обрабатывающего центра заключается в том, что обработка шпинделя является очень гибкой [1, 2]. Схематическое описание малогабаритного пятиосевого фрезерного станка представлен на рис. 2.

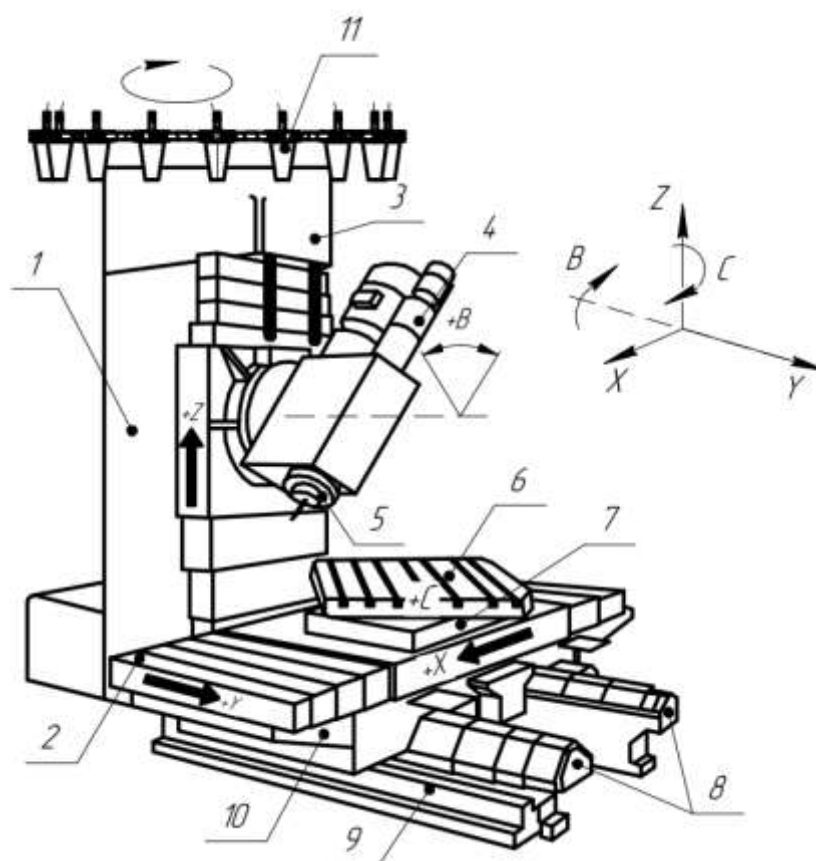


Рис. 2. Эскиз малогабаритного пятиосевого фрезерного станка:

- 1 – стойка; 2 – телескопические щитки защиты направляющих крестового стола;
 3 – телескопические щитки защиты вертикальных направляющих; 4 – шпиндельная головка;
 5 – шпиндель; 6 – поворотный стол; 7 – крестовый стол; 8 – щитки направляющих салазок;
 9 – основание; 10 – салазки; 11 – магазина на стойке

В том числе, в данной модели малогабаритного станка было разработано устройства автоматической смены инструмента при расположении магазина на стойке. Инструментальный магазин, без его механизмов установки в заданное положение смены инструмента, представлен на рис. 3.

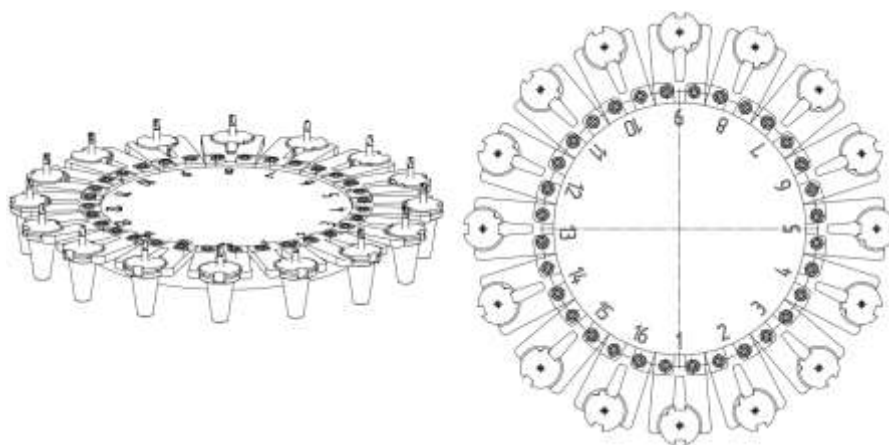


Рис. 3. Инструментальный магазин малогабаритного фрезерного станка

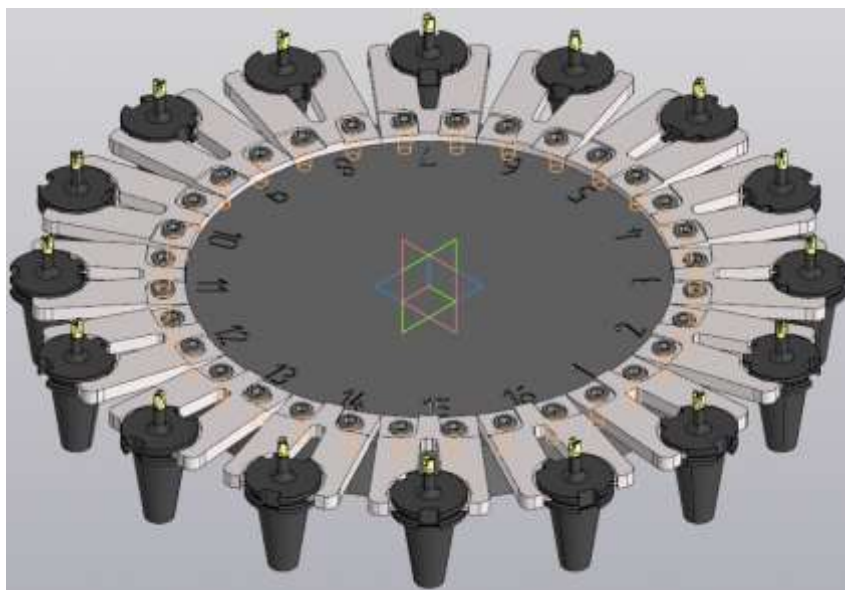


Рис. 4. Предварительная твердотельная модель инструментального магазина малогабаритного фрезерного станка

Подобная компоновка фрезерного станка позволяет изготавливать детали размерами $100 \times 100 \times 100$ более точно, а также даёт возможность выполнять детали сложной формы (рис. 4).

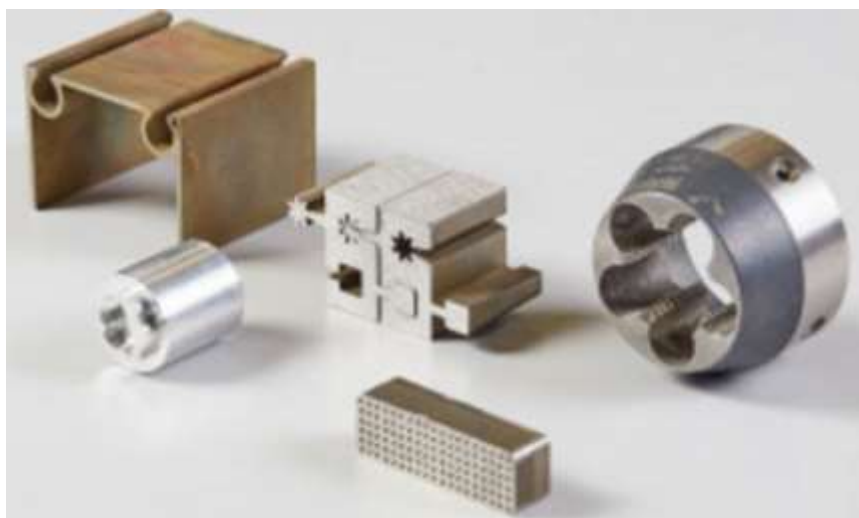


Рис. 4. Пример выполненных деталей сложной формы на малогабаритном фрезерном станке

Малогабаритные пятиосевые фрезерные станки могут быть применены для изготовления деталей в авиационной, космической и автомобильной промышленности, а также в производстве медицинского оборудования, ювелирных изделий, электроники и научных исследованиях [3].

Малогабаритные станки обладают рядом преимуществ, которые делают их востребованными в различных областях деятельности [4]:

1. Небольшие размеры станков позволяют легко перемещать их и размещать даже в ограниченном пространстве.
2. Малогабаритные станки обычно потребляют меньше энергии, чем более крупные модели, что снижает операционные расходы.
3. Несмотря на свои небольшие размеры, малогабаритные станки способны выполнять широкий спектр операций по обработке материалов.
4. Современные малогабаритные станки оснащены системами ЧПУ, которые обеспечивают высокую точность и повторяемость операций.
5. Интерфейс малогабаритных станков не отличается от стандартных, что позволяет легко управлять ими опытным операторам, привыкшим к работе со стандартным оборудованием. Это также даёт возможность использовать широкий спектр программного обеспечения и инструментов для настройки и мониторинга работы станка.

Недостатки малогабаритных пятиосевых фрезерных станков:

1. Из-за своих небольших размеров и ограниченной функциональности малогабаритные станки могут иметь меньшую долговечность и надёжность по сравнению со стандартными станками.
2. В сравнении со своими более крупными аналогами малогабаритные станки часто обладают меньшей мощностью, что ограничивает их способность обрабатывать более твёрдые материалы.
3. Несмотря на то что некоторые компоненты станка могут быть проще заменить или отремонтировать из-за их доступности, другие части могут оказаться труднодоступными, что усложнит процесс технического обслуживания.

Список литературы

1. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков. Основы компонетики. – СПб.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
2. Иванов И.И., Воронов С.А., Киселев И.А. Моделирование динамики фрезерования с управлением скоростью вращения шпинделя. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5, стр.1 2015 г.
3. Черпаков Б.И., Альперович Т.И. Металлорежущие станки: учебник для нач. проф. образования. – М.: Академия, 2003. – 288 с.
4. Пуш В.Э., Беляев В.Г., Гаврюшин А. А. и др. Металлорежущие станки: учебник для машиностроительных вузов / под ред. В.Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ – СТУПЕНЧАТЫЙ ВАЛ

*Анисимов Н.А., группа 4А21
Черемискина М.С., старший преподаватель
ИШНПТ ТПУ
e-mail: naa40@tpu.ru*

Вал – важнейшая деталь двигателя и других механизмов, передающих или принимающих крутящий момент. Также деталь используется как опора крутящихся узлов. Вал должен выдерживать значительные силовые нагрузки, воздействующие на него установленных устройств или опорных частей.

Ступенчатый вал – Отличием этого вида вала является то, что он имеет участки, имеющие разный диаметр. На шейках вала могут присутствовать шлицы, шпоночные канавки, резьба.

Ступенчатые валы очень востребованы в современном машиностроении, они применяются в редукторах, компрессорах, станках, двигателях. Так же используются в области авиации и приборостроения.

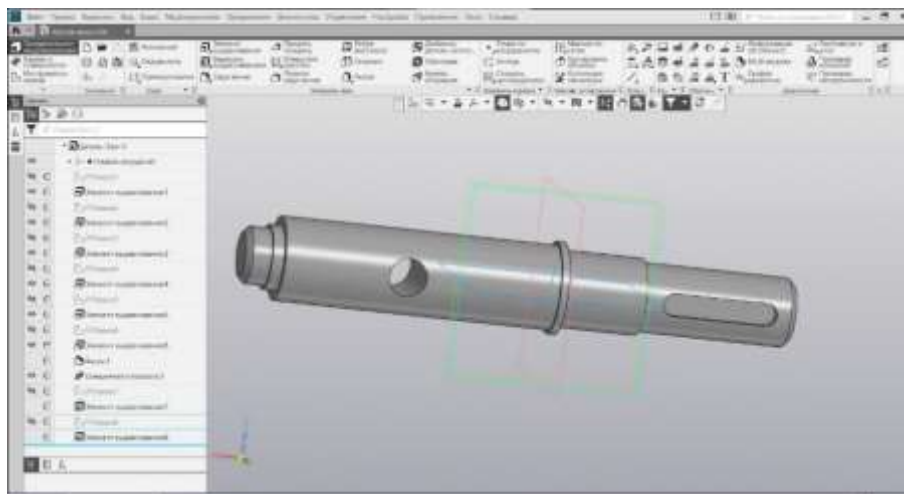


Рис. 1. Пример конструкции ступенчатого вала (в Компас-3D)

Правильная конструкция ступенчатого вала – это основа для непрерывной, долговечной и безопасной работы механизма. Она должна включать в себя надежность, жесткость и прочность.

Современные технологии давно позволяют конструировать рассчитывать валы не вручную, а с помощью САЕ и CAD программ, таких как: Компас 3D, SolidWorks, Autodesk Inventor и др. В данных программах можно создавать валы разных размеров и сечений, так же есть возможность использовать разные материалы, применять разные типы нагрузки (осевые, радиальные, крутящие моменты, вибрации, ударные нагрузки) и т. д. Эти программы позволяют задавать различные режимы работы, например статический режим, динамический режим или циклический. Они предоставляют большой функциональный спектр, для реализации проекта любой сложности и уровня.

Ступенчатые валы проверяют на выносливость по контактным напряжениям. Проверку на выносливость проводят для того, чтобы определить долговечность вала и предотвратить внезапное разрушение во время эксплуатации. Цель – убедиться, что вал выдержит предполагаемые нагрузки в течение заданного срока службы без появления усталостных трещин или разрушения.

Расчет валов в современных программах позволяет увидеть характер и степень нагрузки, что крайне необходимо для конструкторов. Нагрузки бывают разных типов: с изгибными напряжениями, крутящими, осевыми, остаточные, термические. Для оценки прочности и долговечности вала необходимо учитывать все виды напряжений и использовать соответ-

ствующие методы расчета. Результаты расчета напряжений отображаются в виде цветowych карт, где различные цвета соответствуют различным уровням напряжений. Это позволяет визуально оценить, где в валу возникают максимальные напряжения, и определить критические зоны. С помощью визуализации напряжений внутри вала, можно произвести проверку прочности вала, путем сравнения максимальных напряжений.

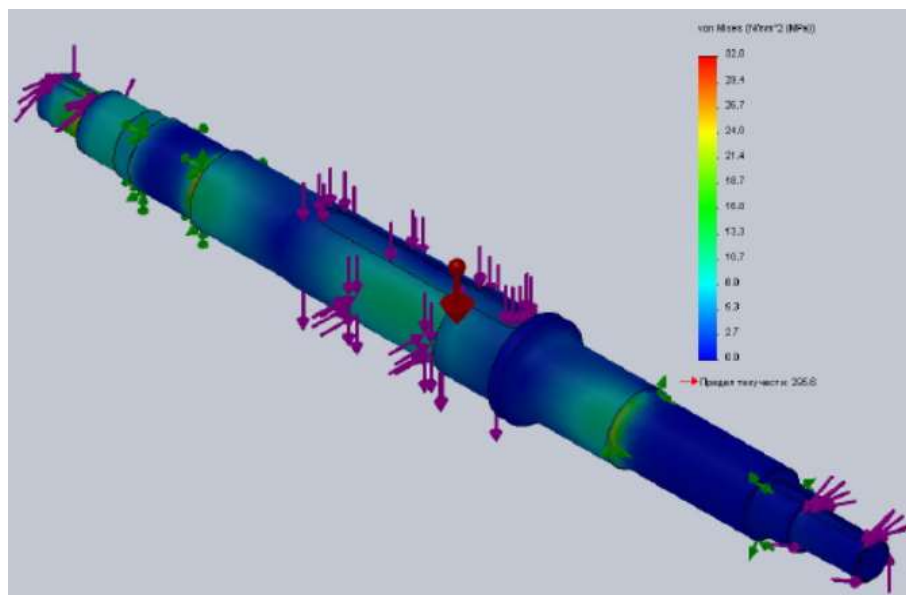


Рис. 2. Пример нагружения вала (в SolidWorks)

Современные CAE и CAD-программы предоставляют инженерам мощные инструменты для проектирования и анализа ступенчатых валов, позволяя моделировать различные нагрузки и визуализировать распределения напряжений. Проверка на прочность и выносливость, включая анализ контактных напряжений, является обязательным этапом, гарантирующим долговечность вала и предотвращающим его преждевременный выход из строя. Таким образом, использование современных программных средств в сочетании с тщательным анализом позволяет создавать надежные и долговечные конструкции ступенчатых валов, критически важных для бесперебойной работы различных механизмов.

Список литературы

1. Вал ступенчатый / [Электронный ресурс] // ПРОМТРАНСМАШ: [сайт]. – URL: <https://ptm-mash.ru/val-stupenchatyj.html> (дата обращения: 17.11.2024).
2. Расчет вала редуктора / [Электронный ресурс] // Центр компьютерного инжиниринга СПбПУ: [сайт]. – URL: <https://kisssoft.compmechlab.ru/article/raschet-vala-reduktora> (дата обращения: 17.11.2024).
3. Власенко Д.М., Красовский С.А. Повышение долговечности валка валковых дробилок на основе анализа условий нагружения / Власенко Д.М., Красовский С.А. [Электронный ресурс] // CYBERLENINKA: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-dolgovechnosti-valka-valkovyh-drobilok-na-osnove-analiza-usloviy-nagruzheniya/viewer> (дата обращения: 17.11.2024).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ЗУБЧАТОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ В РЕВЕРСИНЖИНИРИНГЕ

Будаев В.Е.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4А22,
e-mail: veb12@tpu.ru

Зубчатое зацепление является важным элементом многих механизмов, передающих вращающий момент между валами. Модуль зубчатого зацепления – это параметр, определяющий размер зубьев на зубчатом колесе. Он используется для расчета размеров и геометрии зубьев, а также влияет на их взаимодействие в процессе работы передачи. В реверс инжиниринге, который включает восстановление и реконструкцию деталей, точное определение модуля зубчатого зацепления необходимо для восстановления изношенных или устаревших механизмов, а также для создания новых или улучшения существующих конструкций.

Теоретическая основа. Модуль m зубчатого зацепления вычисляется как отношение диаметра делительной окружности d к числу зубьев z :

$$m = \frac{d}{z},$$

где d – диаметр делительной окружности (мм); z – количество зубьев на колесе.

Этот параметр определяет размер зубьев и влияет на такие характеристики, как шаг зуба, угол давления и прочность зацепления. Модуль используется для расчета всех параметров зубчатого зацепления и выбора зубьев для механизмов с заданными параметрами.

Области применения в реверс инжиниринге

1. **Импортозамещение и восстановление отечественных аналогов.** В условиях импортозамещения важным аспектом является восстановление и производство компонентов, которые ранее импортировались из-за рубежа. Реверс инжиниринг позволяет точно определить модуль зубчатого зацепления и изготовить детали для механических систем, используя локальные материалы и технологии.

2. **Модернизация существующих механизмов для увеличения ресурса и снижения зависимости от импорта.** В условиях экономической нестабильности или санкционных ограничений модернизация существующих механизмов через реверс инжиниринг позволяет не только заменить устаревшие или изношенные части, но и улучшить их характеристики, что также способствует повышению их ресурса. Определение модуля зубчатого зацепления в таких случаях помогает адаптировать компоненты для замены импортных аналогов, снижая зависимость от иностранных поставок.

3. **Проектирование и производство новых передач с учетом локальных стандартов.** Одной из целей реверс инжиниринга является адаптация оборудования под локальные стандарты и технологии. Это актуально при проектировании новых зубчатых передач для отечественного производства, когда важно использовать материалы, доступные в России и других странах СНГ.

4. **Ремонт импортных механизмов.** Для восстановления или ремонта сложных механизмов, например, в аэрокосмической или автомобильной промышленности.

Различия в определении модуля в разных странах. Модуль зубчатого зацепления может рассчитываться по-разному в зависимости от системы измерений, принятой в разных странах. В большинстве стран используется метрическая система, однако в США и Великобритании применяется дюймовая система, что требует использования различных методов расчета и перевода значений.

1. **СНГ и Россия.** В СНГ и России используется метрическая система, где модуль измеряется в миллиметрах. В этих странах применяется стандарт ISO, и при проектировании зубчатых колес преобразований между системами не требуется.

2. **США и Великобритания.** В США и Великобритании используется дюймовая система. Вместо модуля здесь применяется диаметральный шаг (диаметр делительной окруж-

ности, выраженный в дюймах, деленный на количество зубьев). Диаметральный шаг P и модуль m связаны через формулу:

$$p = \frac{25,4}{m}.$$

Для перевода модуля из миллиметров в дюймы используется коэффициент 25,4.

Например, если модуль составляет 4 мм, то для США и Великобритании он будет равен 0,1575 дюйма.

Стандартные значения диаметрического шага в США и Великобритании:

- Fine Pitch (мелкий шаг) – 48 зубьев на дюйм ($P = 48$) – $m \approx 0,529$;
- Standard Pitch (стандартный шаг) – 32 зуба на дюйм ($P = 32$) – $m \approx 0,794$;
- Coarse Pitch (крупный шаг) – 16 зубьев на дюйм ($P = 16$) – $m \approx 1,588$;
- Very Coarse Pitch (очень крупный шаг) – 8 зубьев на дюйм ($P = 8$) – $m \approx 1,588$.

В странах Европы и Азии также используется метрическая система и стандарты ISO

Учет изменений при производстве аналогичной детали. После перевода параметров важно учесть несколько аспектов, чтобы точно создать замену оригинальному зубчатому колесу:

1. Проверка совместимости с остальными деталями: после перевода модуля и других параметров зубчатого зацепления необходимо удостовериться, что новое колесо будет правильно работать с другими компонентами системы (например, с валом, вторым колесом и т. д.). Если в системе используются другие зубчатые передачи, важно проверить передаточное число и совместимость зубьев.

2. Использование стандартных размеров зубчатых колес: В России для зубчатых колес обычно применяют стандарты, такие как ISO 54 и ГОСТ 1643-80, которые имеют свои рекомендованные значения модуля и другие параметры. В случае, если точный аналог не существует, можно использовать ближайший стандартный размер для уменьшения погрешности при замене.

3. Дополнительные корректировки при производстве: В зависимости от требований эксплуатации, зубчатые колеса могут потребовать дополнительных доработок, таких как: шлифовка зубьев для повышения точности и износостойкости; термическая обработка для повышения прочности материала зубчатого колеса; корректировка углов давления для улучшения взаимодействия зубьев и уменьшения износа.

4. Материалы и технологии производства: важно выбрать аналогичные или улучшенные материалы для изготовления зубчатого колеса, чтобы оно соответствовало необходимым требованиям по прочности, износостойкости и долговечности. В зависимости от области применения, можно использовать различные стали, такие как легированные стали для повышения прочности, или нержавеющей материалы, если требуется стойкость к коррозии.

Заключение

Определение модуля зубчатого зацепления играет ключевую роль в реверс инжиниринге, поскольку позволяет точно восстановить изношенные механизмы или разработать новые зубчатые передачи с нужными характеристиками. Разные страны используют различные системы измерений для расчета модуля, что требует учета коэффициентов перевода между метрической и дюймовой системами. Точное определение модуля критично для обеспечения совместимости деталей и долговечности работы механизмов.

Список литературы

1. URL: <https://blog.iqb.ru/zg-reverse-engineering/#:~:text=и%20CAD-модель-,B%20каких%20областях%20применяется%20реверс-инжиниринг,д>
2. URL: <https://itpsl.ru/services/reverse-engineering/>
3. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%81%D1%83%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0_%E2%80%94%D1%87%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D1%8B_ISO
4. URL: <https://detalmach.ru/spravka2125.html>
5. URL: <https://www.intuwiz.ru/calcs/pitch2m.html>

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЕ ЗАКРЫЛКОВ

Воробьев Д.И.
НИ ТПУ ИШНПТ, гр. 4А21
e-mail: div6@tpu.ru

Закрылок-профилированная отклоняемая поверхность, симметрично расположенная, на задней кромке крыла, элемент механизации крыла.

Закрылки предназначены для улучшения взлётно-посадочных характеристик самолёта. Выпуск закрылков на взлёте уменьшает длину разбега, скорость отрыва и взлётную дистанцию. Выпуск закрылок на посадке обеспечивает уменьшение посадочной скорости, длины пробега и посадочной дистанции.

Закрылки выполняют сразу несколько функций для улучшения аэродинамических качеств крыла и изменения ВПХ. Первая функция закрылок-обеспечения безотрывного обтекания. Это достигается с помощью применения однощелевых, двухщелевых и трёхщелевых видов выдвижных закрылков. Между хвостовой частью крыла и дефлектором при выпуске закрылков образуется профилированная щель изменяемого сечения в зависимости от угла выпуска. Таким образом, при выпущенных закрылках через две профилированные щели воздух перетекает с нижней поверхности крыла на верхнюю поверхность, увеличивая разрежение над крылом, так как прохождение потока воздуха в профилированном сужающемся канале приводит к росту скорости протекания и уменьшению статического давления. Пограничный слой подсасывается к задней кромке закрылка, задерживая образование вихрей и срыв потока с поверхности крыла, это называется «щелевым эффектом». Другая функция закрылок-увеличения коэффициента подъёмной силы и лобового сопротивления крыла за счёт изменения площади и кривизны профиля крыла.

Закрылки имеют обычно сходную с рулями и элеронами конструкцию, содержащую типовой набор конструктивных элементов-продольные балки (лонжероны), стенки, стрингеры, нервюры, концевые продольные элементы и обшивку. Наибольшую распространенность из средств механизации задней кромки крыла получили выдвижные (откатные) закрылки-однощелевые, двухщелевые и трехщелевые.

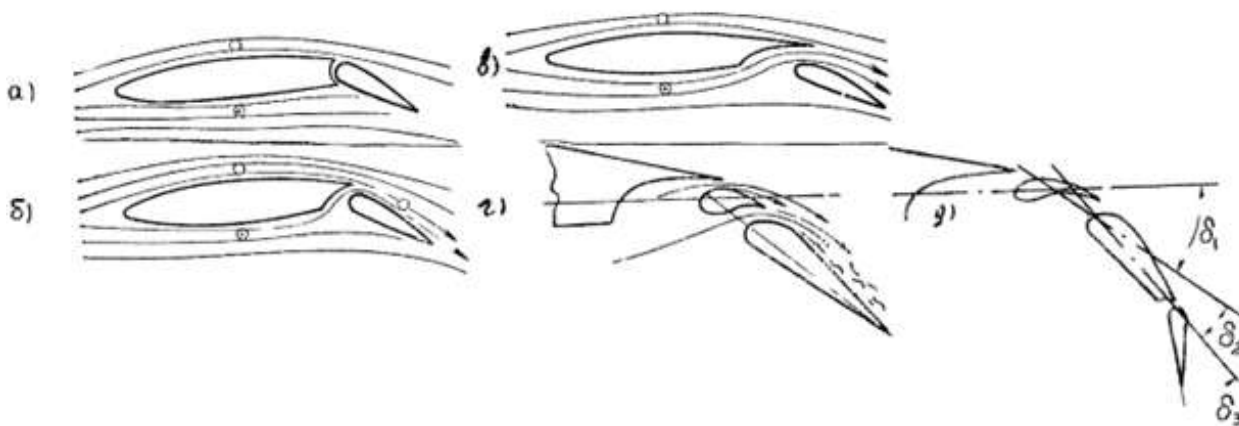


Рис. 1. Разновидности закрылок

Двухщелевой закрылок состоит из закрылка, по конструкции аналогичного однощелевому закрылку, и дефлектора. Дефлектор в миниатюре повторяет конструкцию закрылка. Он выполняется фиксированным относительно закрылка с жёсткими опорами на закрылке в передней его части или подвижным.

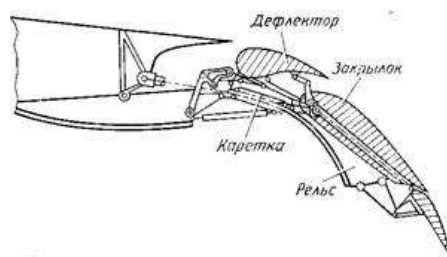


Рис. 2. Конструкция многощелевого закрылка

Среди типов механизации наиболее простую конструкцию имеют опоры с поворотной и кулисной схемой, состоящей из комбинации известных элементов подшипниковых и рычажных узлов, тогда как в выдвижных схемах разработка направляющих рельсов вместе с каретками представляет собой сложную конструкторско-технологическую задачу.

В определении расчётных нагрузок на закрылки учитывается коэффициент, зависящий от аэродинамических характеристик крыла и углов отклонения закрылок, в отличие от расчёта предкрылков и отклоняемых щитков.

В общем случае прочность закрылков проверяется при наиболее тяжёлых условиях на взлёте и посадке. Поэтому на стадии предварительных расчётов достаточно рассмотреть режим посадки, например, для закрылков при максимальных углах отклонения на $50^\circ \dots 60^\circ$.

Навеска щитков, закрылков и предкрылков в подавляющем большинстве случаев производится по схеме балок с числом опор две и более.

Поскольку между закрылками, рулями и элеронами существует конструктивное сходство, то процесс выбора параметров у них одинаков. Если закрылки и дефлекторы выполняются преимущественно по однолонжеронной схеме, это значительно упрощает подход к их конструированию. Однако на некоторые особенности конструкций закрылков следует обратить внимание. Лонжероны закрылка, кроме типового нагружения, могут догружаться сосредоточенными силами от опор дефлекторов, приложенными непосредственно к поясам лонжеронов. Учитывая это и вид нагружения, конструировать верхний пояс двухщелевого закрылка сложнее. Для дефлектора наоборот, сложнее конструкция нижнего пояса. В случае малых размеров дефлекторов от лонжеронов отказываются вообще, компенсируя их жёсткость утолщением обшивки и уменьшением шага нервюр. Обшивка во всех случаях в конструкции закрылков и дефлекторов играет важную роль, обеспечивая не только их необходимую прочность, но и потребную жёсткость при кручении. Её толщину из условия работы на сдвиг при кручении определяет величина крутящего момента:

$$M_{кр} = qz(x_{ц.д} - x_c), \quad (1)$$

где q – распределённая нагрузка по размаху закрылка или дефлектора; x_c – координата центра жёсткости закрылка или дефлектора; $x_{ц.д}$ – координата центра давления закрылка или дефлектора; z – расчётная погонная длина закрылка берётся равной половине наибольшего расстояния между опорами закрылка или секциями дефлектора.

Список литературы

1. Ендогур А.И. Конструкция самолетов. Конструкция агрегатов планера. – М.: МАИ, 2012. – 495 с.
2. Кокунина Л.Х. Основы аэродинамики: учебник. – 2-е изд. – 194 с.
3. Ермошина Н.Л., Попович Н.А. Конструкция самолетов и верталетов. Механизация крыла самолета ТУ-134А: метод. указания. – Оренбургский государственный университет, 2008.
4. Игнатьева А.В., Чемезов В.Л. Расчет аэродинамических характеристик самолета с механизацией крыла. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2010. – 46 с.
5. Ендогур А.И. Проектирование авиационных конструкций. Проектирование конструкций деталей и узлов: учебное пособие. – М.: МАИ-ПРИНТ, 2009. – 540 с.

ТИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ И ИХ ЗНАЧЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

*Гвоздев М.В.
НИ ТПУ, ИШПР, Гр.2Е31
e-mail: gmv29@tpu.ru*

Введение

Автоматическая балансировка – это процесс устранения дисбаланса в ротирующихся системах, таких как механизмы или транспортные средства, без необходимости внешнего вмешательства. Этот процесс основан на физических принципах перераспределения массы, гидродинамических или электромагнитных воздействиях для снижения вибраций и повышения эффективности работы оборудования.

Цель данной работы

Рассказать о различных типах автобалансиров. Рассмотреть преимущества и недостатки каждого

Рассмотреть инновации этой области.

В основе балансировки лежит доказательство возможности расширения границ применения пассивных автобалансировочных устройств за счет изменения параметров механической системы, в частности за счет выбора жесткостей. Основным принципом работы пассивных автобалансировочных систем является эффект «самоцентрирования», который заключается в способности подвижных корректирующих масс на определенных частотах вращения ротора принимать такое положение, которое компенсирует дисбаланс. В качестве корректирующих масс могут использоваться кольца, шары, ролики, маятники, сегменты, жидкости и сыпучие материалы. Значительный вклад в развитие теории и практики автобалансировочных устройств внесли ученые Томского политехнического университета, такие как В.П. Нестеренко, В.А. Дубовик, В.М. Замятин, Е.Н. Пашков и Г.Р. Зиякаев.

Типы автоматической балансировки

Гидродинамическая балансировка: использует жидкость, находящуюся в каналах или специальных камерах. Под воздействием центробежных сил жидкость перемещается и устраняет дисбаланс.

Применение: Турбины в энергетике. Центрифуги для медицинских или промышленных целей. Высокоскоростные станки.

Механическая балансировка гранулами или массами: Частицы свободно движутся внутри оборудования (например, колес автомобиля) и размещаются в области, где их масса компенсирует вибрацию.

Применение: Шины транспортных средств. Промышленные вентиляторы. Роторы насосов.

Электронная балансировка: Системы с датчиками вибрации и обратной связью. Устройства автоматически изменяют параметры оборудования для компенсации дисбаланса.

Применение: Авиационные двигатели. Прецизионные станки. Ракетные и космические системы.

Инновации в области автоматической балансировки

Современные подходы включают:

- Использование интеллектуальных систем на основе нейросетей, которые адаптируются к изменяющимся условиям эксплуатации.
- Применение новых материалов, таких как самовосстанавливающиеся гранулы с нано покрытием.

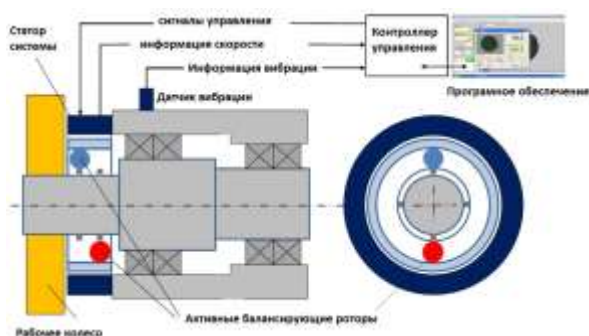


Рис. 1. Электронная балансировка



Рис. 2. Механическая балансировка

Подводя итоги

Электронная балансировка является наиболее точным и надежным вариантом. Она идеально подходит для сложных и высокоскоростных систем, где важна минимизация вибраций и точность работы. Однако из-за своей высокой стоимости и сложности применяется преимущественно в высокотехнологичных отраслях, в авиации и космосе. В тоже время самое экономически выгодное решение – это механическая балансировка использованием гранул наиболее экономически оправдана. Она – простая в установке. Не требует сложного обслуживания, эффективна для большинства приложений (особенно в автотранспорте). Этот метод идеально подходит для транспортных компаний, где требуется высокая надежность при минимальных затратах.

Тип балансировки	Преимущества	Недостатки	Примеры применения
Гидродинамическая	- Высокая точность балансировки - Подходит для высокоскоростного оборудования - Простота реализации в герметичных системах	- Ограничения в условиях температурных перепадов - Зависимость от качества жидкости - Трудоемкое обслуживание	Турбины, медицинские центрифуги
Механическая (гранулы)	- Автономная работа - Подходит для длительного использования - Простота установки и низкая стоимость - Универсальность	- Возможность образования шума в некоторых системах - Ограниченная эффективность при нестабильных режимах работы	Шины, насосы, вентиляторы
Электронная	- Высокая адаптивность к изменению условий - Позволяет выполнять балансировку в реальном времени - Высокая точность регулировки	- Высокая стоимость - Сложность технического обслуживания - Зависимость от электроники и датчиков	Авиационные двигатели, станки

Рис. 1. Сравнительная таблица типов автоматической балансировки

Список литературы

1. Нестеренко В.П. Автоматическая балансировка роторов приборов и машин со многими степенями свободы. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1985. – 82 с.
2. Дубовик В.А., Пашков Е.Н. Устойчивость стационарного вращения неуравновешенного ротора с жидким автобалансирующим устройством на гибком валу // Изв. Томского политех. ун-та. – 2007. – Т. 311. – № 2. – 3 с.
3. Суменков О.Ю. Автоматическая балансировка статически неуравновешенного ротора, установленного в корпусе на упругих опорах / О.Ю. Суменков // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 17–20 февраля 2020 г., г. Томск. – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 286–287.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УПАКОВОЧНОГО АВТОМАТА

Гуров И.А.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4А32

Первый упаковочный автомат был произведен в 1952 году на молочном заводе в Лунде (Швеция), именно туда поставили первый упаковочный автомат. Он был предназначен для фасовки сливок в пакеты ёмкостью 100 мл.

Упаковочные автоматы играют ключевую роль в современных производственных процессах, обеспечивая быструю и эффективную упаковку продукции. Они используются в различных отраслях, включая пищевую, фармацевтическую, косметическую и другие.

Сам механизм упаковочного автомата устроен так что:

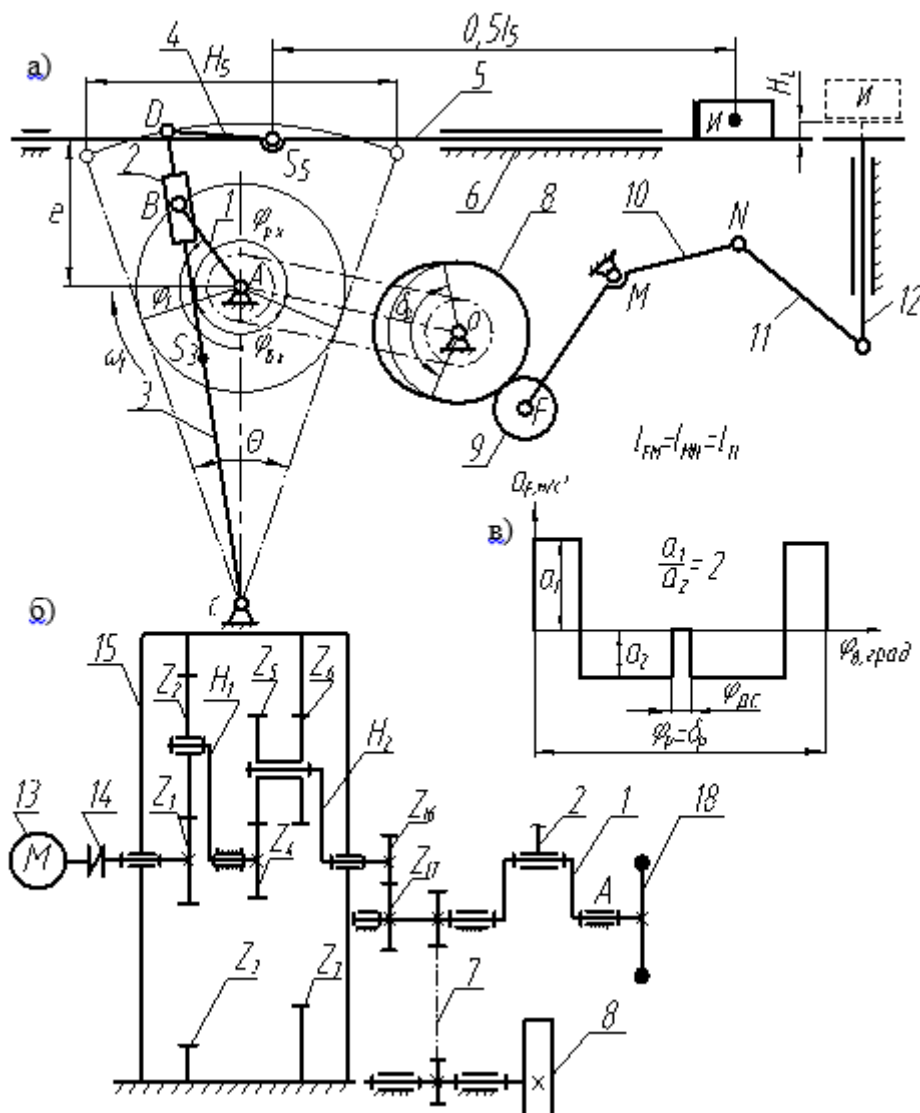


Рис. 1. Механизм упаковочного автомата

Автомат предназначен для горизонтального и вертикального перемещений упакованных изделий в автоматизированном технологическом комплексе. Коленчатый вал 1 (рис. 1, а, б) приводится в движение от электродвигателя 13 через муфту 14, планетарный редуктор 15, прямозубую зубчатую передачу Z_{16} , Z_{17} и цепную передачу 7, передаточное число которой равно

единице. На коленчатом валу 1 установлен маховик 18. Рычажный шестизвенный кулисный механизм, предназначенный для горизонтального перемещения изделия *И*, состоит из кривошипа (коленчатого вала) 1, шатуна (кулисного камня) 2, кулисы 3, шатуна 4 и ползуна 5. При рабочем ходе механизма преодолевается сила трения $F_{5т}$ между ползуном 5, перемещаемым изделием *И*, и направляющими стойки 6. Во время вспомогательного хода (в.х.) ползуна 5 происходит вертикальное перемещение изделия *И* при помощи ползуна 12 на величину H_L . Ползун 12 через шатун 11 связан с коромыслом 10 кулачкового механизма, состоящего из кулачка 8, ролика 9 и коромысла 10. Допустимый угол давления в кулачковом механизме $[\theta] = 30^\circ$. Закон изменения ускорения толкателя в зависимости от угла поворота кулачка показан на рис. 1, в.

Из чего же состоит упаковочный автомат

- **Подача материалов:** Система, которая обеспечивает подачу упаковочных материалов к рабочей зоне машины.
- **Формирование упаковки:** Механизм, который формирует упаковку из поданных материалов. Это может быть сгибание, склеивание или сварка.
- **Наполнение:** Система, которая отвечает за заполнение упаковки продуктом. В зависимости от типа упаковки это может быть автоматическая или полуавтоматическая система.
- **Запечатывание:** Механизм, который закрывает упаковку, используя различные методы (сварка, наклейка и т. д.).
- **Выход готовой продукции:** Система, которая перемещает упакованную продукцию на следующий этап производства или на склад.

Какие же преимущества использования упаковочного автомата

- **Скорость:** Автоматы способны упаковывать продукцию значительно быстрее, чем ручной труд.
- **Точность:** Высокая степень автоматизации снижает вероятность ошибок при упаковке.
- **Экономия труда:** Снижение необходимости в большом количестве рабочих рук позволяет сократить затраты на труд.
- **Универсальность:** Многие современные автоматы могут работать с различными типами упаковки и продуктов. Средняя производительность у упаковочного автомата 30–80 упаковок в минуту, в среднем 15 минут простоя, уровень брака – 5 %.

Ознакомившись с механизмом более подробно, можно и подумать о его улучшении, вот пара идей:

1. **Улучшение материалов:** Использование более прочных и легких материалов может снизить вес конструкции и увеличить ее долговечность.
2. **Программная автоматизация натяжения плёнки.** Для этого можно использовать программный модуль «Электронный редуктор». Он позволяет соединить две независимые оси любых приводов в виртуальный редуктор с входным и выходным валами с нужными частотами вращения и с необходимым передаточным числом, значение которого можно менять программно в любой момент времени.
3. **Применение смазочных материалов.** Они обеспечивают хороший разделительный эффект между упаковочным материалом и поверхностями оборудования, предотвращают налипание плёнки на термоэлементы и обеспечивают их длительную защиту.
4. **Модернизация электрической части.** Это позволяет увеличить производительность и срок службы оборудования, повысить ремонтпригодность и снизить эксплуатационные затраты.

ВЛИЯНИЕ СМАЗКИ НА КПД ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

*Гынгазов В.Н., Черемискина М.С.
НИ ТПУ, ИШНПТ, группа 4A21
e-mail: vng8@tpu.ru, mcherry@tpu.ru*

Выбор смазки играет важную роль в проектировании редуктора. Смазка защищает редуктор от износа, коррозии, высокого трения. КПД – один из важных параметров редуктора, который необходимо оптимизировать для более качественной работы машины. Как известно, в двухступенчатом редукторе КПД зависит от КПД отдельных звеньев редуктора. В данной статье будет рассматриваться именно зубчатая передача.

Потери мощности в зубчатых передачах уходят на трение, гидравлические потери, деформации зубьев, шумы и вибрации, несовершенство зацепления. Влияние этих факторов на КПД можно уменьшить, если добавить в зацепление смазочную жидкость. При смазывании поверхностей образуется гидравлический эффект. При этом эффекте образуется плёнка между зубьями. Чем толще плёнка, тем меньше прямого контакта между поверхностями, а значит меньше трения между ними. Но, с другой стороны, чем больше эта плёнка, тем больше трения между маслом и зубьями. Кинематическая вязкость – это параметр, определяющий величину этого масляного слоя, а значит и на КПД.

Температура системы «колесо, шестерня, смазка» тоже вносит свой вклад в потери энергии. Так как при нагреве деталей, их металл расширяется, то и площадь контакта увеличивается. Из-за увеличения площади контакта трение возрастает. Также высокая температура влияет на вязкость смазки, что тоже может повлиять на трение. Для регулировки температуры необходимо снижать установившуюся температуру. Это можно сделать за счёт добавления охлаждающей жидкости, тем самым избежать негативный эффект от нагрева. Также можно использовать смазку с хорошей теплоотдачей тепла. Теплоотдача тепла также зависит от вязкости смазки. Чем выше вязкость, тем выше теплоотдача.

Поэтому для максимизации КПД редуктора следует подобрать смазку с оптимальной вязкостью.

Но самого значения вязкости недостаточно для выбора смазки. Поэтому важен ещё такой параметр, как индекс вязкости. Он показывает изменение вязкости от температуры. Ниже представлена формула расчёта:

$$VI = \begin{cases} 100 \frac{L-U}{L-H}, VI \leq 100 \\ 100 + \frac{e^{\frac{\ln H - \ln U}{\ln Y}} - 1}{0,00715}, VI > 100 \end{cases}$$

где L – кинематическая вязкость масла при 40 °С с индексом вязкости 0; Y – кинематическая вязкость при 100 °С, индекс вязкости которого необходимо рассчитать, мм²/с; H – кинематическая вязкость масла при 40 °С с индексом вязкости 100, имеющего ту же кинематическую вязкость при 100 °С, что и масло, индекс, мм²/с; U – кинематическая вязкость при 40 °С смазочного материала или нефтепродукта.

Этот параметр учитывает поведение вязкости при высоких температурах. Чем больше индекс, тем меньше проявляется зависимость вязкости от температуры. Поэтому также как и для вязкости у индекса есть набор оптимальных значений.

Для червячных и конических редукторов оптимальные значение индекса вязкости 220–460 единиц, для цилиндрических 100–460.

Хоть вязкость и является основным параметром при выборе смазки, есть и другие факторы, косвенно влияющие на КПД редуктора. Смазка должна обладать антипенными, противоизносными и т. д. свойствами. Эти свойства хоть и влияют больше на ресурс и функционал

механизма. Но при несоответствии этих свойств нормам, свойства смазки и форма зуба, и вследствие и кинематика зубчатого зацепления может ухудшиться, что негативно повлияет на КПД.

Определим подходящую смазку по типу базового масла. Следует отметить, что при выборе оценивается лишь влияние на КПД засчёт примерного диапазона вязкости для различных типов смазок и их свойств. Для более детального сравнения необходимо учитывать такие факторы как окружную силу в зацеплении, скорость редуктора и т. д.

Рассмотрим минеральные масла. Их индекс вязкости находится в пределах 85–120 единиц. Это говорит о неустойчивости вязкости при больших температурах, что может привести к большому трению между поверхностями. Они применимы для цилиндрических передач, так как они менее требовательны к устойчивости масла к большим изменениям температуры.

Рассмотрим синтетические масла. Их индекс вязкости находится в пределах 150–180 единиц. Это наиболее оптимальный вариант для зубчатых передач. Также стоит учитывать, что синтетическое масло выигрывает у минерального и по остальным параметрам, косвенно влияющим на сохранение свойств вязкости и на кинематику зацепления, таким как, антипенность, противоизнос. Их свойства позволяют им применяться во всех редукторах.

То есть, по типу базового масла, синтетическое масло лучше подходит для максимизации КПД, но несмотря на это минеральное масло тоже нашло обширное применение в редукторах в следствии их дешевизны.

Итак, можно заключить, что КПД является важным параметр, обеспечивающий эффективность машины. Для его повышения при выборе смазки есть много свойств, влияющих на трение, однако основным свойством является кинематическая вязкость. У синтетических масел вязкость является оптимальной для максимизации КПД. Но для более тщательного выбора масел следует учитывать и другие задачи, например, такие как поддержание надёжности, долговечности редуктора.

Список литературы

1. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. – Конструирование узлов деталей машин. – Москва – Машиностроение – 2004. С. 172–173.
2. Семёнов Ю.С. О КПД зубчатых передач при консистентной смазке // Известия Томского ордена трудового красного знамени политехнического института им. С.М. Кирова. – 2004. – С. 1–2.
3. Корнеев С.В., Буравкин Р.В., Ширлин И.И., Лавриенко Н.С., Иванников А.А. Выбор трансмиссионных масел для применения в условиях отрицательных температур // Омский научный вестник. – 2013. – С. 1–2.
4. Ерошкин Н.А. Особенности окисления смазочных масел // Наука без границ. – 2016. – № 5. – С. 2.
5. ГОСТ 17479.2-2015. Масла трансмиссионные. Классификация и обозначение. – С. 2, 7.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ШАССИ САМОЛЕТОВ

Зыков О.Д.
НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4А32,
e-mail: odz2@tpu.ru

Впервые в СССР убирающееся шасси было спроектировано в 1931 г. и установлено на самолете АНТ-25, а затем в 1932–1933 гг. на пассажирском самолете ХАИ-1 и истребителях И-14 и И-16.

Существует три конструктивных схемы механизмов шасси: ферменная, балочная и подкосная. Поскольку ферменная схема используется только в легких самолетах, таких, как АН-2.

Балочный механизм

Балочный механизм используется, например, в подъемных кранах и предполагает горизонтальную решетчатую пролётную балку, на которой установлена грузовая тележка.

Кинематическая схема балочного механизма шасси представлена на рис. 1.

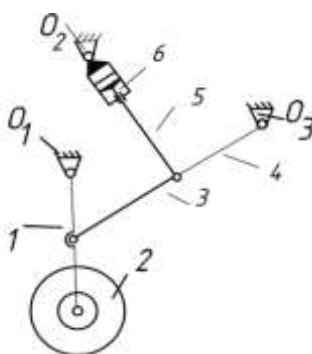


Рис. 1. Балочная конструктивная схема

Данный механизм состоит из стоек O_1 , O_2 , O_3 ; коромысел 1, 4; шатуна 3; штока цилиндра 5; колеса 2 и подкос-цилиндра 6.

В этом механизме при запуске жидкости, то есть создании давления, шток 5 опускается, надавливая на складывающийся подкос 3–4, соединенный со стойкой шасси, устанавливая шасси в рабочее положение.

Подкосный механизм

Кинематическая схема подкосного механизма шасси представлена на рис. 2.

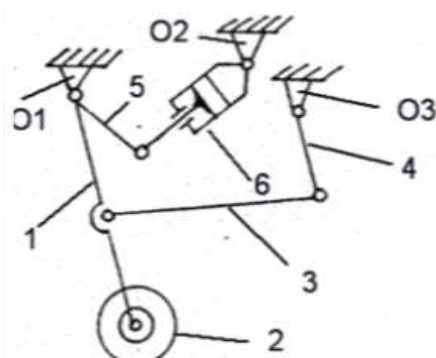


Рис. 2. Подкосная конструктивная схема

Подкосный механизм применяется в стропильных крышах, фермах и других каркасных конструкциях. Подкос – это диагональная балка, которая передаёт усилие между узлами нижнего и верхнего поясов, например, в фермах мостов, стропилах и других конструкциях. Основная функция подкосов – устранить возможность прогиба стропил.

Данный механизм состоит из стоек O_1 , O_2 , O_3 ; коромысел 3, 4; шатуна 1; штока цилиндра 5; колеса 2 и подкос-цилиндра 6.

Принцип действия данного механизма довольно прост. После подачи давления в подкос-цилиндр (уборки-выпуска шасси) поршень движется вниз и передаёт своё движение стойке шасси, тем самым обеспечивая выпуск шасси из фюзеляжа.

Ферменный механизм

Ферменный механизм шасси самолётов – это простая конструкция, состоящая из нескольких неубирающихся подкосов. Используется в лёгких самолётах, набирающих небольшую скорость.

Кинематическая схема ферменного механизма шасси представлена на рис. 3.

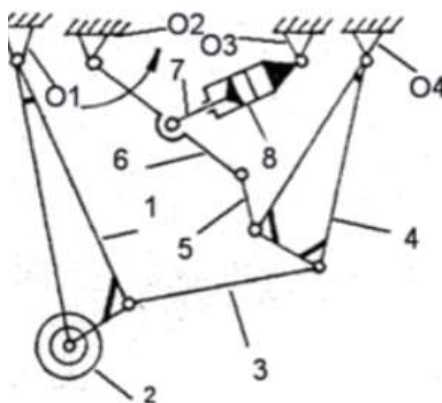


Рис. 3. Ферменная конструктивная схема

Данный механизм состоит из стоек O_1 , O_2 , O_3 , O_4 ; подкосы 1, 4; коромысел 3, 5; колеса 2; шатуна 6, штока цилиндра 7 и подкос цилиндра 8.

Принцип работы ферменного механизма шасси самолётов заключается в том, что все нагрузки воспринимает пространственная ферма, составленная из трёх или четырёх плоских ферм. Основными силовыми элементами такой конструкции, помимо стойки, являются раскосы (подкосы), расчалки и лонжероны. Стойка в ферменной конструкции фюзеляжа работает на растяжение и сжатие. Она является основным силовым элементом шасси самолёта, воспринимающим и передающим на конструкцию планера концентрированные статические и динамические нагрузки, возникающие при взлёте и посадке. В более простых ферменных конструкциях колёса монтируются непосредственно на концах поперечного трубчатого стержня, являющимся осью для колёс. В этом случае амортизация осуществляется только за счёт упругости шин.

Заключение

В данной статье рассматриваются три основные конструктивные схемы механизмов шасси самолётов: балочная, подкосная и ферменная. Анализ показал, что ферменная схема, отличающаяся простотой и используемая в лёгких самолётах, отличается от более сложных балочной и подкосной схем, применяемых в самолётах с более высокими требованиями к характеристикам. Балочная и подкосная схемы используют гидравлический привод для уборки и выпуска шасси, отличаясь друг от друга кинематикой передачи усилия. Выбор той или иной схемы определяется конструктивными особенностями самолёта, его массой, скоростными характеристиками и уровнем сложности требуемой системы уборки шасси. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию каждой из схем с учётом современных материалов и технологий, а также на разработку новых, более эффективных механизмов.

Список литературы

1. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука, 1979. – 560 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ АВТОМОБИЛЯ-РЕФРИЖЕРАТОРА

*Казаков К.С.
НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4А31,
e-mail: ksk45@tpu.ru*

Авторефрижераторы – оборудование, без которого невозможно представить многие грузоперевозки. Рефрижераторные установки необходимы для транспортировки скоропортящихся и замороженных продуктов, лекарств, цветов и многого другого. Многие грузы нуждаются в особых температурных условиях, и купить авторефрижератор – это насущная необходимость любого грузоперевозчика, который стремится предоставить своим клиентам полный объем услуг.



Рис. 1. Внешний вид автомобиля-рефрижератора

Механизм автомобиля-рефрижератора

Механизм движения автомобиля (рис. 2) состоит из двигателя 16, раздаточной коробки 17, компрессора 22 холодильной установки, коробки скоростей 23, карданного вала 24 и ведущего моста 25, объединяющего в одном агрегате главную передачу, дифференциал и полуоси колес.

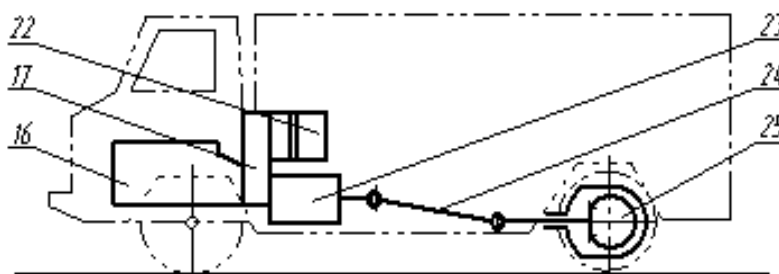


Рис. 2. Механизм автомобиля

Двигатель внутреннего сгорания четырехтактный, трехцилиндровый с вертикальным расположением цилиндров.

Характер изменения давления в цилиндрах в зависимости от хода поршня показан на индикаторной диаграмме; данные для ее построения приведены в таблице. От раздаточной

коробки через зубчатую передачу 18, 19, муфту 20 и планетарный редуктор 21, движение передается компрессору холодильной установки (рис. 3, а).

Основной механизм двигателя состоит из трех одинаковых кривошипно-ползунных механизмов, кривошипы которых размещены на общем коленчатом валу со сдвигом в 120° , а шатуны 2, 4, 6 и поршни 3, 5, 7 перемещаются в параллельных плоскостях. Рабочий ход четырехтактного двигателя совершается за два оборота коленчатого вала, а рабочие процессы в каждом цилиндре повторяются со сдвигом в 240° .

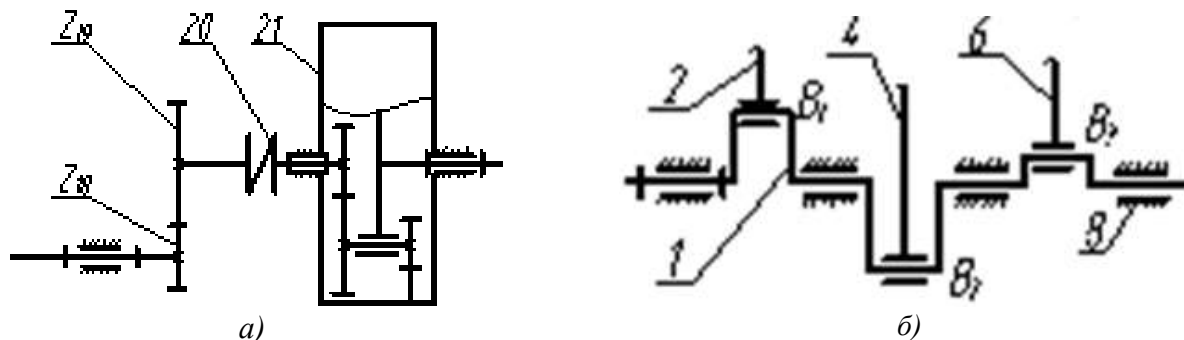


Рис. 3. Передача вращения в автомобиле

Через зубчатую передачу 14, 15 движение от коленчатого вала передается кулачковому валу 9 механизма газораспределения и подачи топлива, с поступательно движущимся толкателем Кулачковый механизм привода выпускного клапана 10–13. На рисунке дан закон изменения ускорения толкателя 11 по углу поворота кулачка.

Необходимые факторы для улучшения работоспособности:

- Выбор хладагента.
- Механическая надежность.
- Аэродинамика и теплообмен.
- Энергоэффективность.
- Автоматизация и мониторинг.
- Соответствие стандартам и регламентам.

Ремонт авторефрижераторов

Ремонт авторефрижератора – комплекс мер, направленный на восстановление способности рефрижератора к бесперебойному поддержанию необходимой температуры во время остановки и движении автомобиля.

Автомобильный рефрижератор сложная система, имеющая огромное количество узлов, поэтому для диагностики работы всех элементов этой сложной системы требуется специализированное диагностическое оборудование, которое находится в специализированных технических станциях.

Список литературы

1. Теория механизмов и машин: Учебн. пособие по выполнению курсового проекта по теории механизмов и машин для студентов машиностроительных специальностей всех видов обучения / Горбенко В.Т., Горбенко М.В. и др. – Томск: Изд. ТПУ, 2000.
2. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов / Сысоев С.К., Сысоев А.С., Левко В.А. – Издание 3-е. – Лань, 2024. – 352 с.
3. Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (холодильные установки, оборудование и системы кондиционирования) направления подготовки 190603 Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования: учебное пособие по специальности 140504 Холодильная, криогенная техника и кондиционирование / Белозеров Г.А. и др. – Рязань, 2010.
4. Корнилов Э.В., Бойко П.В., Белый В.Н. Рефрижераторный контейнер. – 2008.

УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС

*Краснослободцев Т.В., студент гр. 4А22
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
e-mail: tvk27@tpu.ru*

Повышение показателей надёжности зубчатых передач за счёт наделяния венцов зубчатых колес дополнительной изгибной податливостью.

По результатам анализа статистических данных по выходу из строя сельскохозяйственной техники можно сделать вывод, что около, 20 % неисправностей приходится на часть элементов трансмиссии, работоспособность которых в большей степени ограничивается зубчатыми передачами. Обзор научно-исследовательских работ и анализ условий эксплуатации дают возможность определить основные причины уменьшения эксплуатационных свойств трансмиссий сельскохозяйственной техники, связанные с кромочным контактом зубьев зубчатого зацепления. Это доказывается экспериментами и данными эксплуатации, приведёнными в работах как зарубежных, так и Российских авторов. Поэтому направление на конструктивное улучшение зубчатых передач трансмиссии, для повышения показателей надёжности сельскохозяйственной техники и увеличение производительности её работы является актуальной.

При работе в зубчатом зацеплении возникают дополнительные нагрузки из-за ошибок изготовления, монтажа деталей, деформаций зубьев, валов и их опор или условий эксплуатации. Поэтому, концентрация нагрузки у кромок зубьев обусловлена всеми возможными факторами. По мере износа элементов передачи влияние этих факторов увеличивается, ударные и вибрационные нагрузки влекут за собой перекося осей взаимодействующих колес (рис. 1, а), при этом соприжатые поверхности контактируют без нагрузки не по всей длине (рис. 1, б).

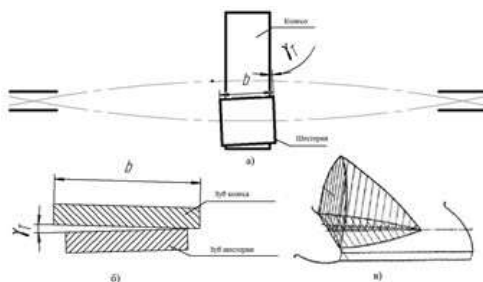


Рис. 1

Зубья деформируются при нагружении вращающимися моментами, нагрузка вдоль контактной линии распределяется неравномерно, так как перемещения сечений зуба неодинаковы (рис. 1, в). Известно, что появления трещин, сколов, усталостного выкрашивания, повышенного износа приводит наличие концентрации нагрузки у кромки зуба, которое ограничивает возможность увеличения ширины зубчатого венца.

Использование продольной модификации профиля зуба приводит к устранению «кромочного контакта» и обеспечению равномерного распределения нагрузки. При определении профиля модифицированного зуба важно учитывать изгибные деформации, деформации, возникающие при кручении, а также температурные деформации. Правильно выбранная модификация является важным условием для надёжной работы редуктора. Однако не всегда удаётся учесть размеры деформаций, а также технологические ошибки, возникающие в процессе его производства и сборки.

В связи с этим появляется необходимость создания зубчатых колес с адаптивными свойствами, которые могут компенсировать влияние как внешних, так и внутренних факто-

ров. Одна из возможностей адаптации зубчатой передачи заключается в упругой деформации зубьев колес. При этом зубья одного из колес могут обладать значительной изгибной податливостью, что обеспечивает венцу зубчатого колеса дополнительную степень свободы. Это, в свою очередь, приводит к снижению кромочного взаимодействия между зубьями колес.

Для производства передачи с адаптивными свойствами требуется оснастить ведомое зубчатое колесо тремя кольцевыми канавками, глубина которых составляет полтора модуля. Эти канавки должны быть выполнены по замкнутой винтовой линии и расположены в плоскостях, параллельных плоскостям движения колеса. Данное расположение канавок делит зубья на четыре равные части, что обеспечивает зубьям упругодеформирующие свойства, необходимые для компенсации неравномерного распределения нагрузки вдоль контактных линий. Такой подход не нуждается в использовании специализированного режущего инструмента, что позволяет сократить затраты на производство и упростить процесс изготовления.

Каждая часть зуба, находящаяся между канавками, будет функционировать как отдельное зацепление, что даёт возможность подстраиваться под изменяющиеся условия эксплуатации. Одним из основных преимуществ данной конструкции является то, что ширина прорезей не оказывает негативного влияния на площадь контакта между зубьями, обеспечивая надёжное соединение. При этом адаптивные свойства зубчатой передачи могут значительно повысить надёжность и долговечность работы механизма, особенно в условиях переменных нагрузок и механического износа. Таким образом, использование зубчатых колес с упругими характеристиками, созданных описанным образом, открывает новые горизонты для проектирования и применения передач в различных областях машиностроения, позволяя улучшить управление динамикой систем и снизить вероятность возникновения отказов.

Для подтверждения предложенной теории и проведению контактного анализа зубчатых передач с адаптивными свойствами, нужно организовать выполнение несколько ключевых шагов:

1. Построение геометрической модели зуба, выполненной в среде КОМПАС Shaft-3D, которое опирается на эвольвентный профиль, будет создаваться с учётом необходимых параметров, таких как:

- Модуль зуба (m);
- Количество зубьев (z);
- Угол давления (α);
- Высота головки зуба (h);
- Размеры и параметры кольцевых канавок.

Кольцевые канавки, глубиной полтора модуля от головки зуба, следует точно воспроизвести в модели. Это важно для корректного получения результатов КЭ-анализа, поскольку они играют ключевую роль в распределении контактных напряжений.

2. Подготовка Модели для КЭ Анализа

После создания геометрической модели важно подготовить её для численного анализа:

Дискретизация: Модель необходимо разбить на конечные элементы. Важно учитывать, что форма и размер элементов могут существенно повлиять на точность решения. Для этого лучше использовать более мелкие элементы в областях, где ожидается значительная концентрация напряжений.

Материалы: Задать материалы для зубьев и основания, с определением механических и упругих свойств (модуль Юнга, коэффициент Пуассона).

3. Установка граничных условий критически важна для получения достоверных результатов:

Контактные пары: В рабочей позиции модель зубьев вводится в контакт. Здесь следует определить параметры контакта, такие как коэффициенты трения.

Нагрузки: Задать действующие нагрузки (статические). Это могут быть распределённые силы по линии зацепления, моделирующие реальные условия работы передачи.

4. Проведение Расчёта и Анализ Результатов

После выполнения всех вышеуказанных шагов, производится расчёт с использованием методов КЭ. Результатами анализа являются:

Контактные давления: Полученные значения давления между зубьями помогут оценить возможность развития усталостных трещин или других разрушений.

Распределение напряжений и деформаций: Определение областей с максимальными значениями напряжений или деформаций даст представление о механической надёжности конструкции.

5. Визуализация Результатов

Для наглядного анализа результатов можно использовать графики, показывающие распределение контактных давлений, а также визуализировать напряжение в областях, подверженных максимальному воздействию.

По итогу анализа контактных напряжений методом конечных элементов можно подтвердить или опровергнуть гипотезу о необходимости использования адаптивных свойств зубьев. Вероятно, результаты эксперимента продемонстрируют значительное улучшение в распределении нагрузок за счёт упругодеформирующих свойств зубьев с кольцевыми канавками. Полученные данные будут полезны не только для данной передачи, но и для дальнейших исследований в области зубчатых передач с адаптивными элементами. Таким образом, при численном решении задач упругого контакта зубьев с помощью программной системы конечно элементного анализа SOLIDWORKS simulation можно установить, что конструкция зубчатой передачи с адаптивными свойствами позволяет компенсировать неравномерность распределения нагрузки вдоль контактных линий, возникающую из-за ошибок изготовления, монтажа деталей, деформаций зубьев, валов и их опор и условий эксплуатации.

Список литературы

1. Макаров Г.Н. Повышение надёжности зубчатых передач трансмиссий сельскохозяйственной техники // Экономика: экономика и сельское хозяйство. – 2017. – № 7 (19). – URL: <http://aeconomy.ru/science/agro/povyshenie-nadezhnosti-zubchatykh-p/>

ПАГУБНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ЭФЕКТА НА МЕХАНИЗМЫ МЕТОДЫ БОРЬБЫ

*Лановский Н.А.¹
НИ ТПУ, ИШПР, 2Е31, студент,
e-mail: nal23@tpu.ru*

Впервые термин «гироскоп» был описан в трудах французского учёного Леона Фуко. Именно он ввёл это понятие и благодаря нему гироскоп на кардановом подвесе начали использовать в навигации. Гироскоп – твёрдое тело, быстро вращающееся вокруг своей оси, которая в свою очередь тоже способна к вращениям (прецессии). Ось, вокруг которой вращается тело – собственная ось вращения гироскопа. Ось, вокруг которой происходит прецессия – ось прецессии.

Кинетический момент – векторная величина, характеризующая количественную меру вращательного движения. Прецессионное вращение гироскопа намного меньше его собственного вращения, поэтому в элементарной теории гироскопа принято пренебрегать прецессионной угловой скорости. Тогда получаем, что кинетический момент собственных вращений гироскопа находится через формулу:

$$\vec{G} = \vec{\omega}_1 * I, \quad (1)$$

где ω_1 – собственная угловая скорость; I – момент инерции тела относительно оси собственного вращения.

Из теоремы об изменении кинетического момента следует что изменение направлено в ту же сторону что и момент силы вызывающий это изменение. Получается, что вектор кинетического момента, а вместе с ним и ось гироскопа, будет направлен вдоль своего изменения, то есть в сторону момента внешних сил, что и соответствует теореме Резаля: Скорость конца вектора кинетического момента численно и по направлению равна главному моменту внешних сил.

Так как момент внешних сил вызывает прецессионное вращение гироскопа с угловой скоростью ω_2 , и при этом гироскоп совершает вращение вокруг собственной оси с угловой скоростью ω_1 возникает пара Кариолисовых сил, что способствует возникновению момента направленного против момента внешних сил. Этот момент называется гироскопическим. Он и является причиной гироскопического эффекта характер, которого описывается в правиле Жуковского: если устройство вызывает вынужденную прецессию у гироскопа, то гироскоп действует на это устройство с гироскопическим моментом, который стремится совместить ось собственного вращения с осью прецессии.

Сила этого действия выражается из уравнения гироскопического момента:

$$\overline{M^{\text{гир}}} = I * (\omega_1 \times \omega_2) \quad (2)$$

И равна:

$$F = \frac{I * \omega_1 * \omega_2}{l}, \quad (3)$$

где l – плечо пары Кариолисовых сил.

Рассмотрим влияние гироскопического эффекта на примере самолётов, в которых имеется множество деталей быстро вращающихся вокруг, своей оси. Возникновению гироскопического момента в механизмах самолёта может привести в результате 3 закона Ньютона – к изменению направления полёта летательного аппарата. При больших оборотах (увеличивающих момент инерции сборочной единицы), а также при выполнении манёвров на малых скоростях и с малыми радиусами эффект усиливается. К примеру, при пикировании (снижение высоты) под действием гироскопического эффекта самолёт начинает отклоняться от курса в правую сторону (с учётом вращения винта против часовой стрелки относительно пилота, с угловой скоростью ω).

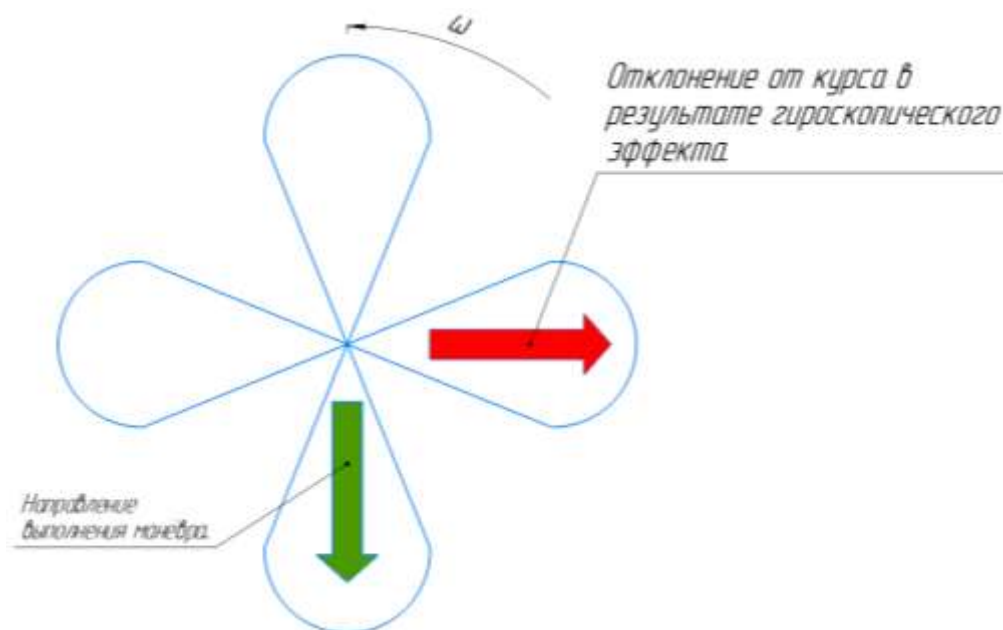


Рис. 1. Винт пикирующего самолёта

Получается, чтобы уменьшить влияние данного эффекта, необходимо уменьшить габариты вращающихся механизмов в процентном соотношении от всего самолёта, так же летательный аппарат не должен снижать свою скорость при выполнении манёвров ниже определённого значения свойственного для каждой модели машины. Так же лётчик должен осознавать и понимать, как влияет этот эффект на управляемость. Разумеется, необходимо хорошо закреплять роторы и другие быстровращающиеся части летательных средств для предотвращения их отрыва.

В кораблестроении проблема, связанная с гироскопическим эффектом также имеется, но суть её другая. В отличие от самолётов, где габариты и веса не большие в кораблях располагаются многотонные роторы двигателей который при неправильном конструировании, может просто оторвать при выполнении резкого манёвра. Проблема с управляемостью тоже присуща кораблям, но в меньшей степени, ведь обычно общая масса судна намного больше массы двигателя.

Так же гироскопический эффект нужно учитывать в различных мельницах, в которых используются 2 колеса, вращающиеся вокруг неподвижной оси. В таких устройствах гироскопический момент утяжеляет колёса делая их эффективными, но при этом усиливает давление на опорную плиту и на весь фундамент в целом. Поэтому это необходимо учитывать в выборе места строительства и состава основания.

Из всего выше сказанного можно сделать вывод что полностью побороть эффект гироскопа на данный момент невозможно, можно лишь уменьшить его пагубное влияние на механизмы и учитывать действие эффекта при конструировании и эксплуатации машин.

Список литературы

1. Сборник научных статей практической конференции «Научные чтения имени профессора Н.Е. Жуковского» 17–19 декабря 2013 года / М-во обороны Рос. Федерации, Фил. Воен. учеб.-науч. центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина». – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2014 – 232 с.
2. Лысов А.Н., Виниченко Н.Т., Лысова А.А. Прикладная теория гироскопов: учебное пособие / А.Н. Лысов, Н.Т. Виниченко, А.А. Лысова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009 – 254 с.
3. Валентин Ковтун, Вильгельм Хегер, Игорь Тревогов, Лина Чаплинская Гироскопическое оборудование – прошлое и настоящее: статья. – Геопрофиль, 2010 – 7 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ БЕССЕПАРАТОРНЫХ РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗУБЧАТОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Микаелян А.Т.¹, Трофимов Н.А.², Пашков Е.Н.³

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, группа 4А12,

e-mail: atm5@tpu.ru

²ИШНПТ, группа 4А12,

e-mail: nat17@tpu.ru

³НИ ТПУ, ИШНПТ, к.т.н. доцент ОМШ,

e-mail: epashkov@tpu.ru

Введение

Роликовый подшипник – узел, используемый для уменьшения сил трения в опоре, использующий в качестве тела качения ролик. Конструктивным недостатком и основной проблемой таких подшипников являются сепараторы, как самая ненадёжная деталь. В связи с этим разработаны конструкции не использующие сепараторы. Одним из перспективных направлений разработки являются подшипники, использующие зубчатое зацепление для сепарирования роликов. Такое решение позволяет не только повысить нагрузочную способность подшипника, но и значительно снизить влияние проскальзывания роликов ввиду гораздо меньшего проскальзывания зубчатого зацепления.

Передовые исследования в области

В исследовании В.Л. Юрьевой, Г.А. Матвеева, Н.В. Филонова [1] рассматривается геометрический синтез планетарного механизма, составленного из цилиндрических колес с шевронными зубьями. Из приведенных расчетов можно увидеть, что данный подшипниковый узел рассчитан целиком как планетарный механизм, а не как модернизация существующей модели роликового подшипника, при этом были сохранены основные присоединительные размеры подшипника, аналогом которого должен служить приведенный узел. Проблема осевой устойчивости механизма решена, в данном случае, применением шевронного зацепления. Приведенная схема помогает решить ряд проблем обычных роликовых подшипников: обеспечивает чистое качение сопряженных поверхностей; увеличивает радиальный зазор в подшипнике, обеспечивая возможность снизить требования к точности взаимного расположения осей колес; существенно повышает несущую способность подшипника.

В своей статье [2] Элиас Брасситос и Константинос Мавроидис предлагают, как развитие применения планетарных механизмов в электродвигателях, для преобразования вращения, замену комбинации подшипника и планетарного механизма на просто планетарный механизм, который должен выполнять обе роли. Их применение обосновывается упрощением конструкции, за счет меньшего количества деталей, и меньшим износом, по сравнению с обычными подшипниками, из-за магнитного притяжения тел качения к статору во время работы.

В исследовании компании SKF Group «Thinking beyond rolling bearings: gears»[3] приведен передовой метод расчета ресурса планетарных передач в рамках трибологии, применяя методы для расчетов подшипников. Он рассматривает вероятность безотказной работы поверхности как риск отказа, который не зависит от подповерхностных напряжений по Герцу. Это открывает новые возможности использования специализированных трибологических моделей для описания поверхностных отказов в зоне контакта качения. Концептуальная модель может быть улучшена до прогнозной модели путем внесения уточняющих корректировок на основании большего количества данных, полученных в результате испытаний зубчатых передач при различных условиях эксплуатации.

На данный момент существует несколько патентов [4, 5, 6, 7] которые рассматривают технические решения, связанные с применением зубчатого зацепления в роликовых подшипниках. Однако данные технические решения имеют ряд недостатков. Самым передовым патентом на данный момент является патент [7]. Он включает в себя наибольшее количество реализуемых конструкций для использования зубчатого зацепления в роликовом подшипнике.

Результаты анализа исследований

В радиальных опорах авиационных приводов и турбовальных двигателях наиболее распространены роликовые подшипники качения, обладающие более высокой нагрузочной способностью. Высокие весовые и прочностные требования вынуждают использовать детали опор на пределе их возможностей. Роликовые подшипники практически достигли предела развития, новые материалы уже незначительно повышают характеристики, как и повышение точности изготовления. Основные пути модернизации, это улучшение сепараторов или отказ от них, как главной уязвимости этого типа подшипников.

Также представленный тип подшипника может быть использован в буксах поездов [7], электродвигателях и пр.

Список литературы

1. Юрьева В.Л. Кинематический синтез зубчатого механизма, заменяющего радиальный роликовый подшипник качения / В.Л. Юрьева, М.А. Матвеев, Н.В. Филонов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук: т.16 – М.: 2014 – С. 573–577.
2. Kinematics Analysis and Design Considerations of the Gear Bearing Drive. Elias Brassitos and Constantinos Mavroidis 2013 – С. 159–175.
3. Гибридные подшипники качения для авиационных двигателей (обзор). Ножницкий Ю.А., Петров Н.И., Лаврентьев Ю.Л. Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г. Москва 2019 – С. 63–76.
4. Малышев А.И. Роликовый подшипник. 2161740 / А.И. Малышев, В.В. Кисляков // пат. RU2161740C2 – 1999. – 4 с.
5. Филонов Н.В. Подшипник качения радиальный роликовый бессепараторный. 2135851 / Н.В. Филонов, В.Л. Юрьева, Г.А. Матвеев // пат. RU2135851C1 – 1997. – 8 с.
6. Волков Г.Ю. Зубчатый подшипник. 2345255 / Г.Ю. Волков, Д.А. Курасов // пат. RU2345255C1 – 2007. – 7 с.
7. Захаров Е.Н. Бессепараторный подшипник качения (варианты) и способ его сборки (варианты). 2427734 / Е.Н. Захаров, Ю.В. Богачев, А.С. Харчев // пат. RU2427734C1 – 2010. – 33 с.
8. Черемискина М.С. Кинематика бессепараторных подшипниковых узлов с зубчатой передачей: научный доклад / М.С. Черемискина; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Управление по науке (УН), Отделение машиностроения (ОМШ); науч. рук. Е.Н. Пашков. – Томск, 2024.

РАСЧЁТ ЁМКОСТИ ШАРИКОВОГО АВТОБАЛАНСИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ВЕНТИЛЯТОРА

Недошивин В.В.¹, Зиякаев Г.Р.²

¹Томский политехнический университет, ИШПР, 2Е41,

e-mail: vvn36@tpu.ru

²Томский политехнический университет, к.т.н., доц.,

e-mail: zgr@tpu.ru

В настоящее время в связи с внедрением новых технологий в области машиностроения идет рост угловой скорости вращения роторов приборов и машин, отсюда увеличиваются уровни вибрации, вызываемые ими. Вредная вибрация приводит к быстрому износу деталей и узлов машин, нарушает работу оборудования, что приводит к аварийной ситуации.

В большинстве случаев источниками вибраций выступают неуравновешенные вращающиеся части машин. На сегодняшний день существуют различные способы балансировки вращающихся роторов, позволяющие уравновесить их на высшем уровне. Для балансировки определенных типов роторных агрегатов достаточно единоразовой балансировки ротора, которую проводят сразу после их изготовления. Однако существуют такие типы машин, вектор дисбаланса которых постоянно меняется по величине и направлению в процессе их эксплуатации. Поэтому возникает потребность в создании устройств, автоматически устраняющих вибрации без остановки работы оборудования, которые бы могли решить данную проблему и тем самым продлить срок службы оборудования.

Шариковое автобалансирующее устройство (АБУ) является самым изученными и простым в конструкции типом автобалансирующих устройств. Принцип его работы основан на использовании свободно перемещающихся шариков, которые под действием центробежной силы занимают положение, компенсирующее дисбаланс. Когда вращающийся объект с установленной автобалансирующей установкой начинает вращаться, центробежная сила воздействует на шарики. В случае дисбаланса в конструкции возникает неравномерное распределение центробежных сил и шарики стремятся занять такое положение, при котором суммарный дисбаланс системы уменьшается до минимума. Таким образом, устройство работает без необходимости ручного вмешательства – установка автоматически корректирует баланс во время вращения.

На рис. 1. представлена схема, показывающая принцип работы шарикового автобалансирующего устройства.

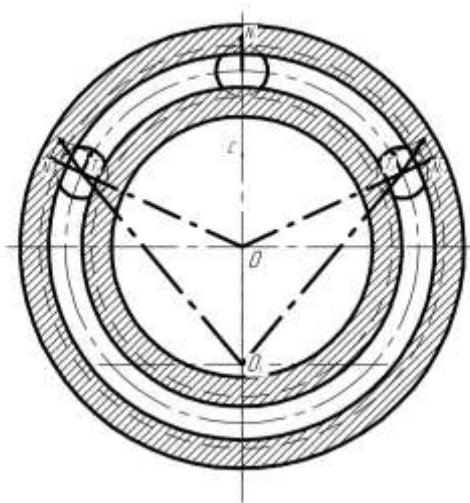


Рис. 1. Схема, показывающая принцип работы автобалансирующего устройства:

O – центр обоймы; O₁ – ось вращения подшипников; C – центр тяжести ротора

Было разработано автобалансирующее устройство на основе подшипника 108 с 3-мя шариками в обойме для балансировки ротора вентилятора. Требуется рассчитать ёмкость данного устройства. Ниже приведены расчёты ёмкости.

Ёмкость автобалансирующего устройства (АБУ) – скалярная физическая величина, описывающая способность устройства компенсировать дисбаланс, возникающий в роторных системах. Она определяется как максимально возможный момент уравнивания, который может быть обеспечен устройством. Рассчитать ёмкость можно по формуле:

$$E = m_1 \cdot h_1 + 2m_1 \cdot h_2$$

где E – ёмкость; m_1 – масса шарика; h_1 и h_2 – расстояния от центра масс шариков до горизонтальной осевой линии.

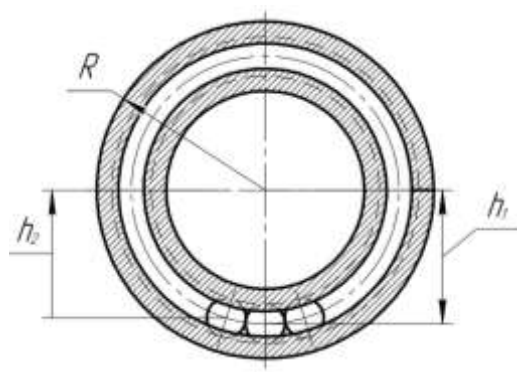


Рис. 2

С учётом того, что шарика сделаны из стали ШХ15, мы можем узнать его плотность. Объём находим по формуле $V = \frac{4}{3}\pi R^3$. Вычисляем массу по формуле $m = \rho V$, получаем $m_1 = 2,05\text{г}$. Расстояния $h_1 = 27$, $h_2 = 25,8$. С учётом этих данных ёмкость АБУ получается равной $161,13 \text{ г} \times \text{мм}$, то есть это устройство может устранить дисбаланс равный данной величине.

В ходе проделанной работы была рассчитана ёмкость автобалансирующего устройства с тремя шариками вентилятора. Технология расчёта ёмкости АБУ является очень важным аспектом при его создании, поэтому результаты работы находят свое применение при начальном подборе параметров будущего устройства.

Список литературы

1. Зиякаев Г.Р. Некоторые вопросы динамики роторных систем с маятниковыми автобалансирующими устройствами // Журнал машиностроения. – 2022. – № 3. – С. 45–53.
2. Никифоров А.Н. Состояние проблемы уравнивания роторов // Вестник механики, 2021. – Т. 12, № 4. – С. 12–19.
3. Гусаров А.А. Балансировка гибких роторов с распределенной массой. // Научные труды Санкт-Петербургского политехнического университета. – 2020. – Т. 56, № 7. – С. 67–75.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ НА БАЗЕ ДИПЛОСКОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

Пуунов А.С.
НИ ТПУ, ИШПР, гр. 2БМ36 з.
e-mail: alekspaspiun@gmail.com

Ключевые слова: планетарный редуктор, кинематика, структура, механическая передача с промежуточными телами в форме катков (ПТК), напряженно-деформированное состояние, коэффициент полезного действия (КПД).

Введение

Одной из областей исследования планетарных передач является оптимизация их конструкции и работы с целью повышения эффективности и надежности. Направление оптимизации включает в себя различные аспекты их конструкции, расчета, моделирования, проектирования, а также анализ напряжений и деформаций в различных элементах, оптимизацию геометрии зубьев, разработку новых материалов для изготовления деталей передачи и т. д.

Обзор

В качестве объекта исследования выбрана планетарная передача, основанная на диплоском зацеплении с промежуточными телами качения (ПТК). Особенностью данной передачи является уникальный способ формирования зубьев на солнечных колесах и сателлите, который представляет собой «трубчатые» поверхности, возникающие в заданных относительных движениях промежуточных тел качения. По данным «трубчатым» поверхностям размещены промежуточные тела качения (шарики), и используются в качестве паразитных колес, для передачи движения. Движение ПТК, происходит по циклоидальной траектории, что обеспечивает многопарность зацепления. Вышеуказанные особенности данной передачи позволяют существенно снизить износ за счет замены трения скольжения трением качения, а также, выдерживать большие нагрузки [1].

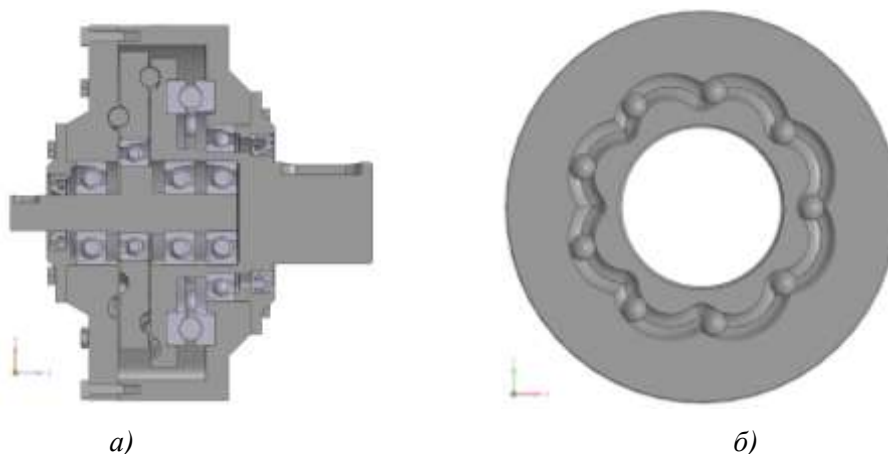


Рис. 1. CAD-модель: а – редуктора; б – сателлита с промежуточными телами качения

Решение. Был произведен расчет геометрии, построена 3D-модель и анализ в рамках пакета ПО «ANSYS R2 2020».

В качестве материалов были выбраны: сталь 40Х (У+ТВ) для сателлита и сталь 40Х (У) для колеса. Допустимые контактные напряжения определялись с использованием формулы [2]:

$$[\sigma]_H = K_{HL} * [\sigma]_{H0}, \quad (1)$$

где $[\sigma]_H$ – допускаемое контактное напряжение (Н/мм^2); K_{HL} – коэффициент долговечности; $[\sigma]_{H0}$ – допускаемое контактное напряжение при числе циклов переменных напряжений.

Принимается значение по менее прочным зубьям. Допускаемое контактное напряжение составило 530 Н/мм².

Для анализа напряженно-деформированного состояния механической передачи использовалось программное обеспечение ANSYS R2 2020. В данной версии ANSYS R2 2020 применяется метод конечных элементов для моделирования и решения математических моделей различных физических процессов. Фиксирование осуществляется в местах для болтового соединения. Накладываемая нагрузка равна: на входном валу 36000 Н · мм на выходном валу, 491000 Н · мм.

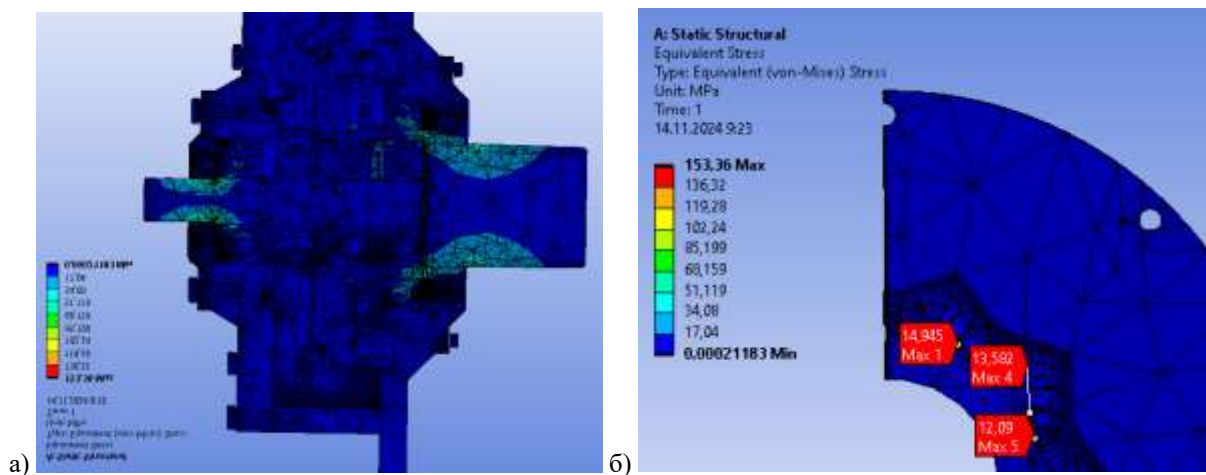


Рис. 2. CAD-модель: а) редуктора; б) солнечного колеса

На рис. 2 представлены результаты численного анализа. Максимальное значение напряжения в редукторе распределено вдоль входного и выходного валов и составило 153 МПа. Максимальное контактное напряжение, полученное на зубьях колес и сателлита, составило 14,945 МПа. Допускаемое контактное напряжение зубьев солнечных колес и сателлита равное 530 Н/мм² не было превышено. Коэффициент запаса прочности для зубьев составил $[RF] = 35$.

Заключение

Была построена CAD-модель планетарной передачи на базе диплоского зацепления с промежуточными телами качения. Также, численным методом проведен анализ напряженно-деформированного состояния планетарной передачи. Максимальное контактное напряжение составило численным методом 14,95 МПа. Запас прочности для зубьев составил $[RF] = 35$.

Список литературы

1. Алиев, Ф.Р., Лазуркевич, А. В., & Ан, И.-К. (2017). Планетарная передача на базе диплоского зацепления с промежуточными телами // Интеллектуальные системы в производстве. – 2007. – 15(1). – С. 4–8. – <https://doi.org/10.22213/2410-9304-2017-1-4-8>.
2. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин: Учеб. Пособие для техникумов. – М.: Высш. Шк., 1991. – 432 с: ил. ISBN 506-001514-9. – 50–51 с.
3. Ханов, А.М. Детали машин и основы конструирования: учеб. пособие / А.М. Ханов, Л.Д. Сиротенко. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010 – 270 с. ISBN 978-5-398-00433-5. – 170–175 с.
4. Фомин М.В. Планетарно-цепочные передачи: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 64 с.: ил.
5. Шанников, Владимир Михайлович. Планетарные редукторы с внецентроидным зацеплением [Текст] / Доц. В. М. Шанников, канд. техн. наук. – Москва; Ленинград: [Ленингр. отд-ние] и 1-я тип. Машгиза в Л., 1948. – 172 с.

СРАВНЕНИЕ ЗАЦЕПЛЕНИЯ НОВИКОВА И СТАНОВСКОГО

Пугин О.В.¹, Пашков Е.Н.²

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, 4А32, студент,
e-mail: ovp20@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИШНПТ, к. т. н., доцент,
e-mail: epashkov@tpu.ru

Зацепление Новикова, круговинтовое зацепление, передача Новикова – механическая передача, альтернативный эвольвентному тип зацепления, предложенный советским инженером М.Л. Новиковым в 1954 году для зубчатых передач. Зубья колёс в торцевом сечении очерчены окружностями близких радиусов. Площадка контакта зубьев перемещается не по профилю зуба, как в прямозубом эвольвентном зацеплении, а вдоль него (рис. 1). Угол давления и скорость перемещения не изменяется.



Рис. 1. Профили зубьев в зацеплении Новикова

Для зацепления Новикова характерно то, что оно обладает нулевым торцовым коэффициентом перекрытия, в связи с чем его работоспособность может обеспечить лишь косое или шевронное исполнение зубьев.

Зубчатая передача Новикова сегодня применяется в редукторах для буровых установок, кранов, подъемников, оборудования для шахт и других ответственных системах.

Эксцентриково-циклоидальное зацепление (ЭЦ-зацепление) – зубчатое зацепление, альтернативное эвольвентному, предложенное В.В. Становским в 2007 году. Зубья ведущего колеса (шестерни) в торцевом сечении представляют собой эксцентрики (полные или усеченные), а зубья ведомого колеса имеют профиль в виде циклоидальной кривой. Существует несколько разновидностей эксцентриково-циклоидального зацепления: дисковое и гладкое (рис. 2).

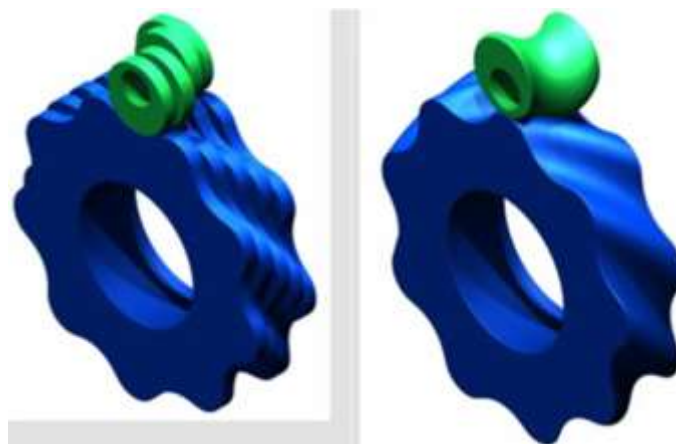


Рис. 2. ЭЦ-зацепление (слева дисковое, справа гладкое)

В простейшем варианте – дисковом зацеплении – зуб шестерни в торцевом сечении представляют собой один эксцентрик. Зубья ведомого колеса имеют циклоидальный профиль. Поскольку такие профили обеспечивают контакт зубьев только на половине оборота эксцентрика, для обеспечения непрерывности контакта шестерня сформирована из нескольких эксцентриков на одной оси, повернутых относительно друг друга. Колесо также составлено из нескольких имеющих угловое смещение участков с зубьями циклоидального профиля.

Эксцентрово-циклоидальное зацепление используется в тяговых редукторах локомотивов, горно-шахтном оборудовании, судостроении и т. д. Также использовалось в прототипе редуктора для не состоявшегося проекта Ё-мобиля.

Зацепление Новикова отличается от эксцентрово-циклоидального зацепления тем, что в зацеплении Новикова профиль зубьев выполнен по дуге окружности или по кривой, близкой к ней, в то время как эксцентрово-циклоидальном зацеплении зубья ведущего колеса в торцевом сечении представляют собой эксцентрики, а зубья ведомого колеса имеют профиль в виде циклоидальной кривой.

Оба вида зацеплений обеспечивают увеличение контактной прочности и повышение нагрузочной способности по сравнению с эвольвентным зацеплением. Однако эксцентрово-циклоидальное зацепление более устойчиво к изменениям межосевого расстояния и проще в изготовлении, чем зацепление Новикова.

Список литературы

1. ГОСТ 15023-76. Передачи Новикова цилиндрические с двумя линиями зацепления.
2. Эксцентрово-циклоидальное зацепление зубчатых колес и механизмы на его основе / В.В. Становской [и др.] // Теория и практика зубчатых передач и редукторостроения: сб. докл. науч.-техн. конф. с междунар. участием. – Ижевск, 2008. – С. 148–152.
3. URL: <https://www.ec-gearing.ru/>
4. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Эксцентрово-циклоидальное_зацепление
5. URL: <https://reductor58.ru/news/poleznaya-informatsiya/zubchataya-peredacha-s-zatsepleniem-novikova/>
6. URL: https://m-40.ru/cilindricheskie_novikov.php

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ СБОРОК ИЗДЕЛИЙ

Пфаргер Е.Е.¹, Черемискина М.С.²

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, группа 4А21, студент

e-mail: eep21@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИШНПТ, старший преподаватель

e-mail: mcherry@tpu.ru

Проектирование является ключевым этапом разработки инженерных изделий, поскольку определяет не только функциональные, но и экономические и эксплуатационные характеристики будущего продукта. Вопрос выбора подходящего метода проектирования становится особенно актуальным при разработке сложных многокомпонентных систем, где важно учесть технические параметры, бюджетные ограничения и сроки реализации проекта. В настоящее время на практике применяются два основных метода – восходящее и нисходящее проектирование.

Восходящий метод проектирования (*Bottom-Up Design*) предполагает создание сборки «снизу вверх». Разработка начинается с отдельных деталей и компонентов, которые затем объединяются в более крупные узлы и формируют сборочное изделие. В основе этого метода лежит работа с конкретными элементами, которые разрабатываются изолированно друг от друга. Восходящий метод нацелен на минимизацию сложности проектирования и упрощение процесса сборки путем создания стандартизированных и независимых компонентов.

Восходящий метод обладает рядом преимуществ, среди которых высокая адаптивность к изменению компонентов и модульность, то есть возможность создания компонента независимо от сборки и последующего его использования в других системах. Такой подход также позволяет снизить временные затраты на начальных этапах проектирования, так как не требует создания сложной структуры проекта.

Однако при росте числа компонентов возникают значительные трудности, связанные со сложностью согласования геометрии элементов в сборке, так как на этапе их объединения детали и узлы могут требовать модификации для соответствия общей системе. Сборка «снизу вверх» осуществляется путем привязки деталей друг к другу. В результате этого формируется последовательная схема хронологии связей деталей (рис. 1, а). Такая схема без специальных механизмов, обеспечивающих постоянство связей, может оказаться недостаточно устойчивой для внесения изменений в ходе проектирования.

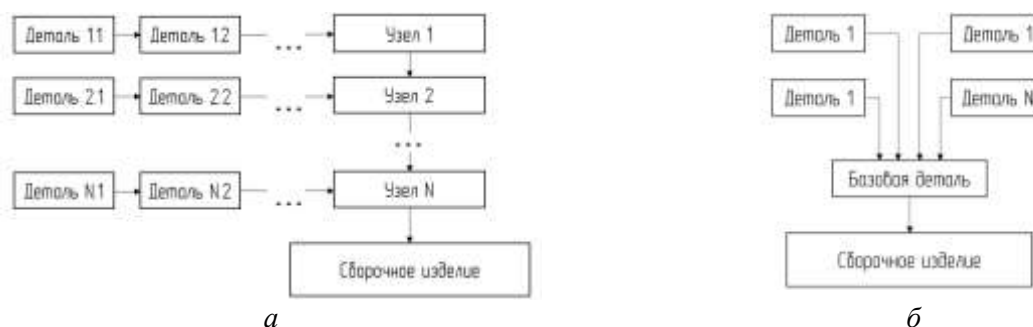


Рис. 1. Схема хронологии связей при сборке «снизу вверх»:

а – последовательная хронология; б – хронология в виде дерева

Метод восходящего проектирования затрудняет контроль за качеством изделия, соответствием требуемым характеристикам, поэтому широко применяется в машиностроении при проектировании типичных механизмов с постоянной структурой, работа над которым заключается в расчете параметров и детализации геометрии (штанпы, редукторы, насосы, приводы, двигатели и др.). Метод «снизу вверх» также достаточно эффективен для моделирования изделий, в которых большая часть деталей крепится на базовую деталь, например, корпус. В таком случае хронология связей принимает вид дерева (рис.1, б).

Нисходящий метод проектирования (Top-Down Design) начинается с общего представления конечного продукта и идет «сверху вниз» к более детализированным уровням. При использовании данного подхода сначала создаются общая концепция и структура изделия, определяются его основные функции и взаимосвязи. Затем систему разбивают на более мелкие подсистемы, определяют компоненты и детали, сохраняя контроль над взаимодействием и совместимостью всех частей. Далее проводят детализацию узлов до уровня отдельных компонентов и определение их характеристик, материалов и геометрии.

Принцип нисходящего проектирования эффективен при коллективной разработке сложных инженерных систем. Поскольку положение каждой детали и сопряжения при методе «сверху вниз» однозначно заданы компоновочной схемой сборки, легко распределить задачи и управлять командой на каждом уровне разработки, что особенно важно при работе над большими и сложными проектами. Схема хронологии связей при таком подходе (рис.2) достаточно устойчива для внесения изменений в ходе проектирования: любую деталь можно извлекать из сборки без всяких последствий. Нисходящий метод также позволяет осуществлять постоянный контроль целостности и функциональности системы, задавать требования к конечному продукту, что позволяет оптимизировать проектирование для достижения конкретных целей.

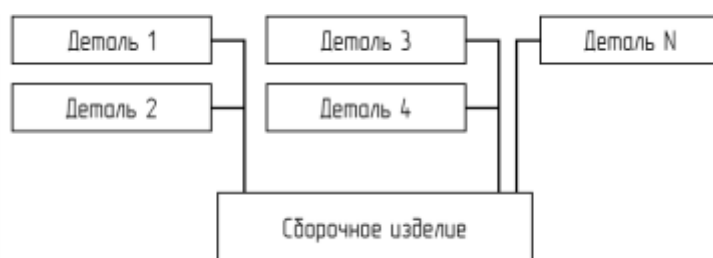


Рис. 2. Хронология связей при сборке «сверху вниз»

К недостаткам проектирования «сверху вниз» относятся высокие начальные временные затраты на разработку структуры и функциональной модели. Также для этого подхода характерна ограниченная гибкость, вызванная зависимостью нижележащих элементов от изначальной модели, поэтому при изменении требований к изделию в процессе разработки может быть сложно адаптировать структуру.

Нисходящий метод проектирования применяется в основном в сложных инженерных системах, таких как авиационные и космические аппараты, крупные производственные линии, сложные программные системы. Этот принцип используется, когда требуется строгий контроль над соответствием изделия общим требованиям.

Выбор метода проектирования зависит от специфики проекта, его сложности и требований ко времени и затратам. Нисходящий метод позволяет инженерам эффективно управлять сложными проектами, создавая систему «сверху вниз» и обеспечивая целостность и функциональность изделия, контроль над всеми уровнями системы. Восходящий метод, напротив, дает возможность разрабатывать отдельные компоненты, объединяя их в более крупные модули для создания полной системы, и ориентирован на повторное использование компонентов.

Современные инженерные проекты зачастую используют комбинацию обоих методов, что позволяет получить преимущества обоих подходов: создавая общую структуру изделия, можно параллельно разрабатывать отдельные модули и оптимизировать проектирование под конкретные условия.

Список литературы

1. Устюгов А.В., Возиков Т.А., Кубриков М.В. Методика нисходящего проектирования на производстве. Cyberleninka. – 2015. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-nishodyaschego-proektirovaniya-na-proizvodstve>
2. Методы организации работы над сборочными изделиями [Электронный ресурс]. – URL: <https://sapr.ru/article/8167?ysclid=m37lgb3p5b220532199>
3. САПР конструктора машиностроителя. Проектирование сборки изделий. StudRef. – URL: https://studref.com/605483/tehnika/sborochnye_svyazi?ysclid=m37map8v9189893774

КОМПОНОВКА МАЛОГАБАРИТНОГО ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Рузанова А.Г.¹, Крауиньш Д.П.²

¹ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОМШ ИШНПТ, группа 4НМ31

e-mail: agr10@tpu.ru

²ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОМШ ИШНПТ, к.т.н., доцент

e-mail: dpkrauinjsh@tpu.ru

Сегодня невозможно представить жизнь без металлообрабатывающих станков. Будь то автомобиль или обычный винт, все это невозможно было бы создать не имея станков.

Возможности металлорежущего станка по обработке той или иной номенклатуры деталей с заданным качеством и наибольшей производительностью связаны, в первую очередь, с выбранным методом обработки и соответствующими движениями формообразования, а также со степенью концентрации в одном станке технологических операций. При этом характер обрабатываемой поверхности и вид режущего инструмента оказывают решающее влияние на принцип работы и компоновку станка.

Структура компоновок металлорежущих станков

Металлорежущие станки различают по технологическому назначению и режущим инструментам, по размерам и типовым разновидностям, по системам управления и степени автоматизации и, кроме того, по компоновкам. Разнообразие компоновок является следствием не только множества технологических задач, размеров и форм обрабатываемых деталей, но и развития конструкций станков и способов обработки, причем в самом относительном характере движения формообразования заключено многообразие возможных вариантов движений заготовки и инструментов, а, следовательно, и компоновок станков.

Компоновка – это система расположения узлов и направляющих станка, отличающаяся структурой, пропорциями и свойствами.

Компоновка металлорежущего станка имеет блочную структуру и состоит из одного стационарного и нескольких подвижных блоков, разделенными линейными или круговыми направляющими.

Следовательно, габаритные размеры и общая компоновка станка определяют наибольшие допустимые размеры узла, требуемую точность и соответствующие нагрузки, передаваемые механизмами, ограничивают их минимальные размеры из условия прочности к жесткости и др.

На данный момент актуальна задача создания 4...5 координатного малогабаритного фрезерного станка с числовым программным управлением, автоматической сменой инструмента, который будет обеспечивать высокую точность (а, следовательно, и высокую жесткость) при обработке деталей с высокими требованиями к размерам и геометрии.

Существует множество разновидностей компоновок и типов станков, рассмотрим лишь некоторые из них:

Агрегатно-модульный принцип построения станков (рис. 1, а) обладает оригинальной компоновкой. Модуль – это узел, который автономен конструктивно и функционально. Модульный принцип предусматривает применение взаимозаменяемых столов-спутников в сочетании с универсально-сборочной оснасткой, что позволяет обрабатывать заготовки, отличающиеся как по форме, так и по размерам, и производить их установку и закрепление вне рабочей зоны станка и в процессе обработки. При этом отпадает необходимость в создании специальных зажимных приспособлений.

Портальный обрабатывающий центр по металлу (рис. 1, б) имеет массивную раму в форме портала, имеют цельнолитую структуру, обеспечивающую высокую жесткость конструкции в процессе обработки.

Токарно-карусельные обрабатывающие центры (рис. 1, в) дают возможность обрабатывать детали большого диаметра и веса, обладая малыми линейными габаритами. Вертикальный шпиндель – обеспечивает главное движение резания вращением планшайбы и заготовки.

Обрабатывающий центр (рис. 1, *з*) оснащен солидным магазином инструментов с устройством автоматической смены инструмента (АСИ).

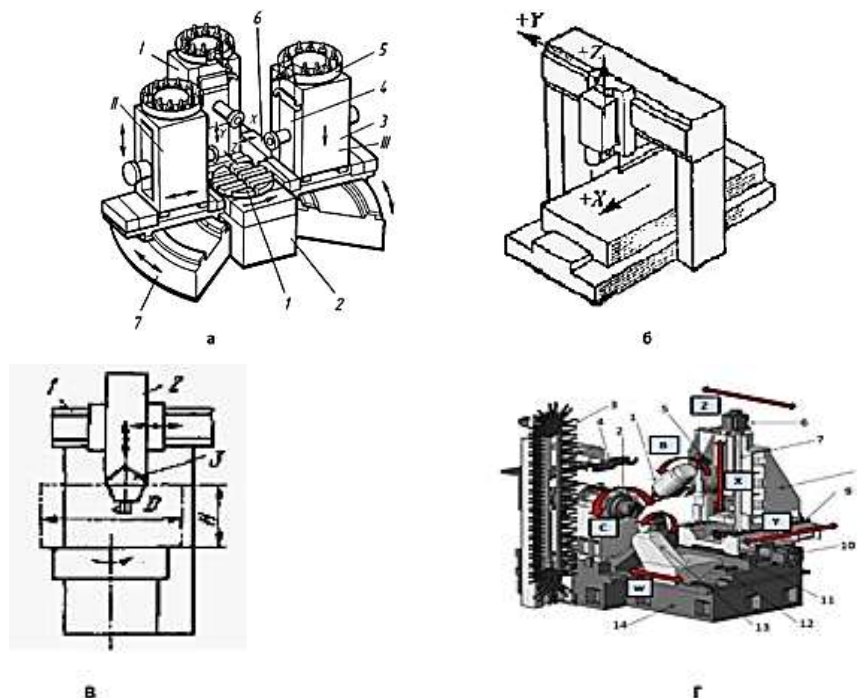


Рис. 1

Из конструктивных разновидностей магазинов наибольшее распространение получили дисковые (рис. 2, *а*) и цепные (рис. 2, *б*). Положение магазина при компоновке в некоторых случаях однозначно определяется конструктивным типом устройства, а в других случаях благодаря автооператорам может быть неоднозначным.

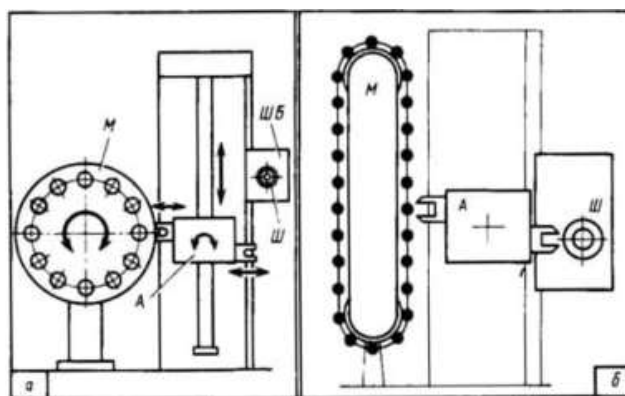


Рис. 2

Из конструктивных разновидностей магазинов наибольшее распространение получили дисковые (рис. 2, *а*) и цепные (рис. 2, *б*). Положение магазина при компоновке в некоторых случаях однозначно определяется конструктивным типом устройства, а в других случаях благодаря автооператорам может быть неоднозначным.

Задача: из представленных компоновок выбрать лучшие качества для создания малогабаритного обрабатывающего центра, обладающего высокой жесткостью, для широкой номенклатуры деталей, которые требуют высокой точности обработки.

Благодаря высокой функциональности, представленные станки используются на крупных промышленных предприятиях, которые способны решать задачи, связанные с обработкой как крупногабаритных, так и малогабаритных деталей. Отсюда при обработке малогабаритных деталей, мы получаем избыток установочной мощности, неравномерный износ направляющих и др.

Попробуем объединить качества представленных компоновок и спроектировать малогабаритный фрезерный станок с ЧПУ, который будет отличаться компактностью и высокой функциональностью. Большим плюсом такого станка будет являться возможность подключаться к стандартной электрической сети с напряжением 220 В.

Массивная рама, в форме портала, будет иметь цельнолитую структуру. По мосту будет перемещаться (вдоль двух осей Y и Z) шпиндель, оснащенный режущим инструментом. Продольная подача (по оси X) будет реализована путём перемещения наклонно-поворотного стола (с 4 и 5 осями вращения). Из всего разнообразия АСИ для малогабаритных станков наиболее удачным вариантом представляется без авто-операторная смена инструмента.

На рис. 3 представлена предлагаемая компоновка 5-ти осевого фрезерного станка с ЧПУ с автоматической сменой инструмента на 12 позиций.

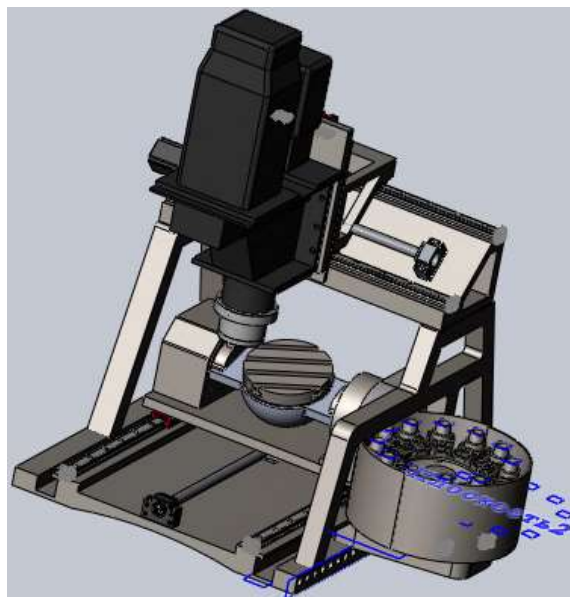


Рис. 3

Настольный станок предназначен для выполнения операций фрезерования различных деталей из черных и цветных металлов и их сплавов в условиях серийного и мелкосерийного производства. За счет поворотно-наклонного стола он способен обрабатывать детали с самой сложной геометрией, включая криволинейные и наклонные поверхности, углубления и отверстия под различными углами.

Если говорить о фрезерной обработке на станках подобного типа, то для ее выполнения может быть использован инструмент цилиндрического, дискового или торцевого типа. Для обработки отверстий в шпиндель устройства можно установить сверло и другие инструменты.

Все перемещения рабочих органов будут осуществляться за счет шарико-винтовых передач, обеспечивающих высокую точность и плавность хода.

Список литературы

1. Анализ компоновок металлорежущих станков / Ю.Д. Врагов. – М.: Машиностроение, 1978. 208 с.
2. Металлорежущие станки: учебное пособие: в 2 частях / А. И. Голембиевский. – Новополюк: ПГУ им. Евфросинии Полоцкой, 2023 – Часть 2. – С. 176.
3. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. Т. 2 / В.В. Бушуев, А.В. Ерёмин, А.А. Какоило и др.; под ред. В.В. Бушуева. 2-е изд. – М.: Инновационное машиностроение, 2023. – 586 с.: ил.
4. Детали и механизмы металлорежущих станков / под ред. Д.Н. Решетова. Т. I, II. – М.: Машиностроение, 1972. – с. 520, 664.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА НА СИЛЫ В ЗАЦЕПЛЕНИИ ДВУХПОЛЮСНОЙ ЦИКЛОИДАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ

Русин А.А.,

аспирант гр. А2-20

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

e-mail: aar54@tpu.ru

На сегодняшний день инженерам необходимо проектировать компактные, высокоточные и ресурсоэффективные механизмы, чтобы обеспечить нужды импортозамещения и современного производства.

Одними из таких являются механизмы на базе двухполюсной циклоидальной передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой (ПТКСО) (рис. 1), которые демонстрируют высокие силовые характеристики при малых размерах [1, 2]. Одним из ключевых факторов, регулирующих эффективность передачи, является набор геометрических параметров, среди которых эксцентриситет играет важную роль. Его изменение может существенно повлиять на распределение усилий в механизме, что, в свою очередь, сказывается на общей надежности и долговечности передачи. Таким образом, анализ влияния изменения эксцентриситета на силы в зацеплении двухполюсной циклоидальной передачи является актуальным.

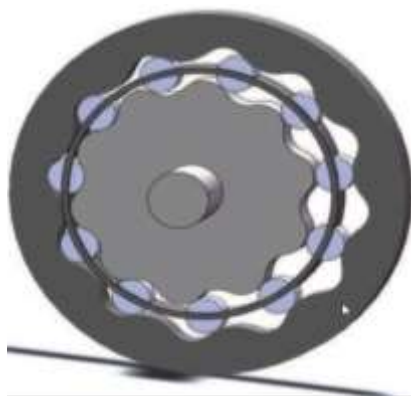


Рис. 1. Двухполюсная циклоидальная передача с промежуточными телами качения

Расчет усилий в двухполюсной циклоидальной передаче представляет собой достаточно сложную и трудоемкую задачу, подверженную риску возникновения ошибок [3]. Чтобы минимизировать эти риски и оптимизировать процесс, мы используем созданную ранее программу [4]. Программа предоставляет детализированные данные, такие как усилия на каждом теле качения для каждого зацепления, а также максимальное и результирующее усилия.

Рассматривая различные варианты сочетания исходных параметров двухполюсной циклоидальной передачи с ПТКСО, мы определили [3], что возможно два варианта взаимного расположения полюсов. Ключевую роль в определении взаимного расположения полюсов играет величина эксцентриситетов. Когда $e_3 > e_1$, полюс зацепления кулачка и тел качения выше полюса зацепления тел качения и венца, в противном случае наоборот. Следовательно, необходимо провести анализ влияния эксцентриситета для каждого зацепления с учетом разного положения полюсов.

Рассмотрим, как изменение эксцентриситета влияет на усилия в зацеплениях двухполюсной циклоидальной передачи. Проведем два анализа для разного положения полюсов, изменяя значения e_1 в диапазоне от 1 до 2 с шагом 0.1, а значение e_3 будет меняться по формуле:

$$e_3 = e_1 \pm 0,1, \quad (1)$$

где знак «+» будет использоваться для зацепления, когда $e_3 > e_1$, а «–» когда $e_3 < e_1$, чтобы добиться нужного взаимного расположения полюсов зацепления. Результаты вычислений

для зацепления кулачка и тел качения, а также тел качения и венца показаны на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

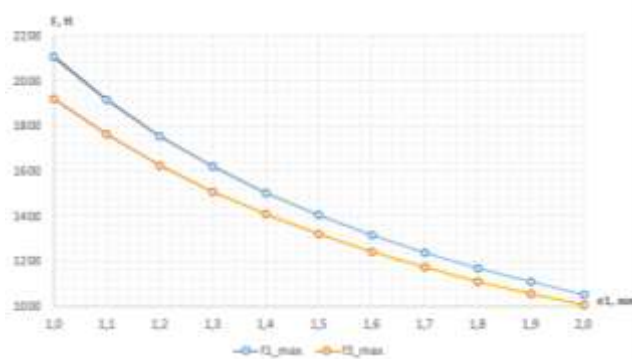


Рис. 2. График изменения максимального усилия в зависимости от эксцентриситета при $e_3 > e_1$

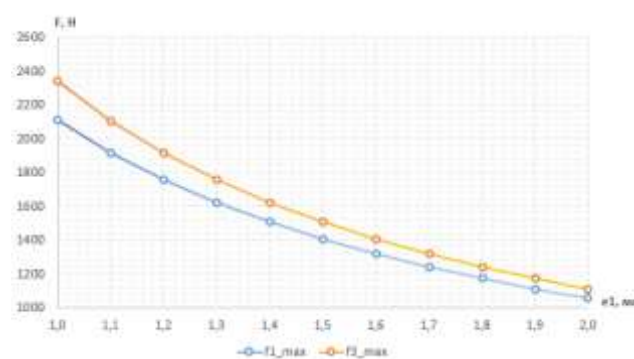


Рис. 3. График изменения максимального усилия в зависимости от эксцентриситета при $e_3 < e_1$

Как можно заметить, при увеличении эксцентриситетов максимальные усилия обоих зацеплений уменьшаются. Но при этом, при зацеплении, когда $e_3 < e_1$ максимальное усилие больше чем когда $e_3 > e_1$.

Таким образом, показано, что при увеличении эксцентриситета в двухполусной циклоидальной передаче с ПТКСО усилия в зацеплении уменьшаются, в тоже время максимальное усилие в зацеплении ниже, когда эксцентриситет зацепления тел качения с венцом больше эксцентриситета зацепления тел качения с кулачком.

Список литературы

1. Беляев А.Е. Механические передачи с шариковыми промежуточными телами. – Томск: ТПУ, 1992. – 231 с.
2. Ефременков Е.А., Ефременкова С.К., Пашков Е.Н. Проектирование циклоидальных механических передач с промежуточными телами качения и свободной обоймой: учебной пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2022. – 90 с.
3. Русин А.А., Нелюбин К.С., Ефременков Е.А. Особенности распределения усилий в двухполусной передаче с промежуточными телами качения и свободной обоймой // Современные проблемы машиностроения. Сборник трудов XVI Международной научно-технической конференции. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. – С. 49–51.
4. Русин А.А., Ефременков Е.А. Разработка алгоритма расчета усилий в зацеплении двухполусной передачи с промежуточными телами качения // Теория и практика зубчатых передач и редукторостроения – 2024. Сборник докладов международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию основания научного подразделения «Институт механики имени профессора Гольдфарба В.И.». – Ижевск: Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, 2024. – С. 103–111.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ, СОДЕРЖАЩИХ РЕЗЬБЫ, В САД-СИСТЕМАХ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

Сенчило В.П.

НИ ТПУ, ИШНПТ, группа 4А21

Черемускина М.С., старший преподаватель ОМШ ИШНПТ ТПУ

e-mail: vps16@tpu.ru

Для повышения продуктивности работы конструкторов и технологов, а также улучшения качества разрабатываемой ими продукции, необходимо применять объемные модели в качестве основных объектов проектирования. Твёрдотельные модели обладают рядом преимуществ: они обеспечивают полное определение объема и формы, позволяют автоматически создавать трехмерные разрезы проектируемого изделия, что особенно полезно при анализе сложных сборочных единиц; обеспечивают автоматическое получение точных значений массы, площади поверхности, центра тяжести и момента инерции для каждой детали или изделия в целом; способствуют более эффективной имитации движения инструмента или рабочих органов изделия; предлагают разнообразную палитру цветов, управление цветовой гаммой и создание тоновых эффектов, что в свою очередь улучшает качество визуализации формы.

При 3D-моделировании сборочных единиц необходимо также изображать детали с резьбой. Для упрощения резьбовые поверхности часто заменяют гладкими цилиндрическими или коническими формами, однако в некоторых расчетных задачах требуется полное определение резьбовой поверхности.

Мы рассмотрим моделирование резьбы в двух программах: КОМПАС-3D и SolidWorks.

Алгоритм создания резьбы:

1. Создаем цилиндр с диаметром равным номинальному диаметру резьбы и нужной нам длиной.
2. Создаем цилиндрическую спираль с диаметром равным номинальному диаметру резьбы, шагом равным шагу резьбы и длиной, на которую хотим резьбу нарезать и ставим начало её координат на торце цилиндра.
3. Создаем профиль впадины резьбы и располагаем её в начале спирали, находящейся на торце цилиндра.
4. С помощью вырезания выдавливанием по траектории нарезаем резьбу (рис. 1).

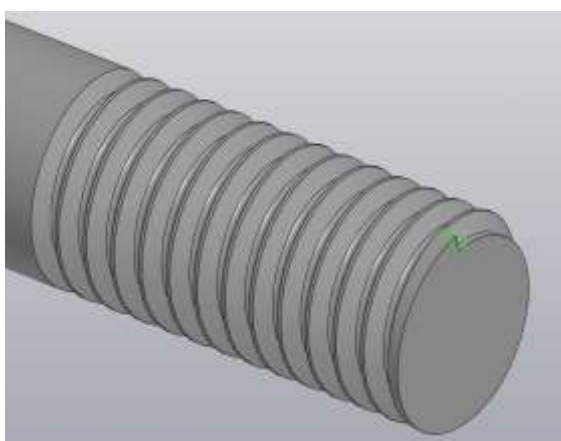


Рис. 1. Резьба, полученная в Компас

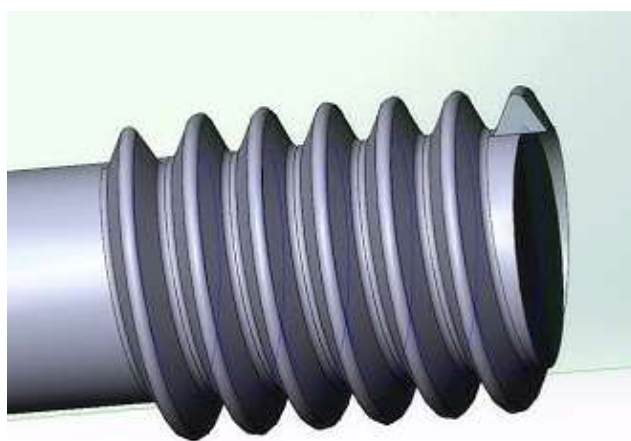


Рис. 2. Резьба полученная в SolidWorks

5. Создаем на торце фаску.

По этому алгоритму методом SD-печати были изготовлены две резьбы: M10×1,5 в КОМПАС-3D (рис.2) и упорная резьба M26×3 в SolidWorks (рис. 3).



Рис. 2. Резьба, полученная из модели, выполненной в КОМПАС



Рис. 3. Резьба, полученная из модели выполненной в SolidWorks

После печати обеих моделей на 3D-принтере можно сказать, что они получились удовлетворительными, но еще нуждаются в дополнительной обработке для лучшего соединения с другими деталями. Также следует учитывать усадку и расширение пластика и корректировать размеры для последующей сборки.

Существует ряд рекомендаций для эффективного нанесения резьбы на 3D-модели. Необходимо придерживаться больших размеров (M6), уменьшение концентрации напряжения происходит с помощью закругления углов и использования профиля резьбы, предназначенные для пластмасс. В случае выбора винтов меньшего размера необходимо корректировать резьбу для более надежного крепления. Например, печать профиля полукруглой резьбы (на винте и гайке) и использование смещения 0,1 мм обеспечивает лучшее прилегание и повышает износостойкость.

Список литературы

1. Дятлов М.Н., Авдеюк Д.Н., Авдеюк О.А. Проектирование, изображение и визуализация резьбовых поверхностей с использованием современных CAD-систем // Молодой ученый. – 2013. – № 6. – С. 57–60. – URL <https://moluch.ru/archive/53/7037/> (дата обращения: 17.11.2024).
2. ГОСТ 24705-2004. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Основные размеры. – URL: <https://ntcexpert.ru/documents/docs/normativs/gost-24705-2004.pdf?ysclid=m3liq0itgs943290345> (дата обращения: 17.11.2024).
3. Создание и редактирование резьбы в КОМПАС-3D – Студия Vertex. – URL: <https://autocad-lessons.com/sozdanie-i-redaktirovanie-rezby-v-kompas-3d/?ysclid=m3lijujohq272662010> (дата обращения: 17.11.2024).

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВХОДНОГО ВАЛА ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА

Сильнягин А.Н.¹, Черемискина М.С.²

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, 4А21

e-mail: ans87@tpu.ru

²НИ ТПУ, отделение машиностроения, старший преподаватель

e-mail: mcherry@tpu.ru

Проектирование прочных валов редукторов является ключевым этапом в создании надежных и эффективных механических передач. Валы редукторов воспринимают значительные статические и динамические нагрузки, которые возникают в процессе работы машин и механизмов. От качества их проектирования зависит не только долговечность самого редуктора, но и безопасность всего оборудования.

Для достижения необходимых прочностных характеристик в процессе проектирования учитываются различные факторы, такие как материал вала, размеры и форма, а также условия эксплуатации. Использование современных методов расчета, таких как конечные элементы и прочностные анализы, позволяет точно оценить нагрузки и предсказать возможные точки разрушения.

Цель исследования – анализ прочностных характеристик входного вала двухступенчатого червячного редуктора. Исследование, способен ли входной вал выдерживать нагрузки, возникающие в процессе работы редуктора.

Расчеты вала на прочность. Основными нагрузками на валы являются силы от передач. Силы на валы передают через насаженные на них детали. При расчетах принимают, что насаженные на вал детали передают силы и моменты валу на середине своей ширины. Под действием постоянных по значению и направлению сил во вращающихся валах возникают напряжения, изменяющиеся по симметричному циклу.

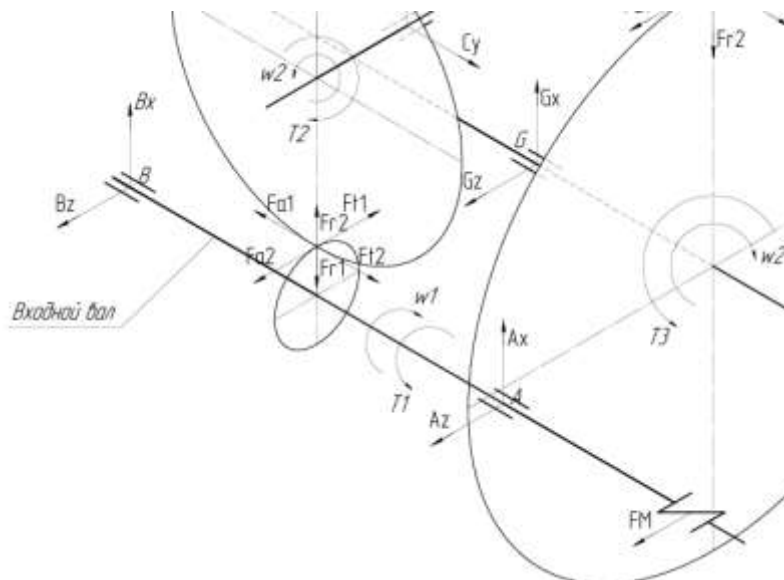


Рис. 1. Схема нагружения внешних сил на входном валу двухступенчатого червячного редуктора

Расчет на статическую прочность. Проверку статической прочности выполняют в целях предупреждения пластических деформаций в период действия кратковременных перегрузок (при пуске, разгоне, реверсировании, торможении, срабатывании предохранительного устройства).

В расчете определяют нормальные σ и касательные τ напряжения в рассматриваемом сечении вала при действии максимальных нагрузок:

$$\sigma = \frac{10^3 M_{max}}{W} + \frac{F_{max}}{A}; \tau = \frac{10^3 M_{kmax}}{W_k},$$

где $M_{max} = K_{\Pi}(\sqrt{M_x^2 + M_y^2} + M_{кон})$ – суммарный изгибающий момент, Н·м; $M_{kmax} = T_{max} = K_{\Pi}T$ – крутящий момент, Н·м; $F_{max} = K_{\Pi}F_a$ – осевая сила, Н; W и W_k – моменты сопротивления сечения вала при расчете на изгиб и кручение, мм³; A – площадь поперечного сечения, мм².

Частные коэффициенты запаса прочности по нормальным и касательным напряжениям:

$$S_{T\sigma} = \frac{\sigma_T}{\sigma}; S_{T\tau} = \frac{\tau_T}{\tau}.$$

Общий коэффициент запаса прочности по пределу текучести при совместном действии нормальных и касательных напряжений:

$$S_T = \frac{S_{T\sigma} \cdot S_{T\tau}}{\sqrt{S_{T\sigma}^2 + S_{T\tau}^2}}.$$

Статическая прочность обеспеченная, если $S_T \geq [S_T]$, где $[S_T] = 1.3 \dots 2$.

Моменты сопротивления W при изгибе, W_k при кручении и площадь A вычисляют по нетто-сечению: для сплошного круглого сечения диаметром D :

$$W = \pi D^3 / 32; W_k = \pi D^3 / 16; A = \pi D^2 / 4.$$

Расчет на сопротивление усталости.

Расчет коэффициента S запаса прочности:

$$S = S_{\sigma} \cdot S_{\tau} / \sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2} \geq [S], [S] = 1.5 - 2.5,$$

где S_{σ} и S_{τ} – коэффициенты запаса прочности по нормальным и касательным напряжениям.

$$S_{\sigma} = \sigma_{-1D} / (\sigma_a + \psi_{\sigma D} \sigma_m); S_{\tau} = \tau_{-1D} / (\tau_a + \psi_{\tau D} \tau_m),$$

Здесь σ_a и τ_a – амплитуды напряжений цикла; σ_m и τ_m – средние напряжения цикла; $\psi_{\sigma D}$ и $\psi_{\tau D}$ – коэффициенты чувствительности к асимметрии цикла напряжений для рассматриваемого сечения.

В расчетах валов принимают, что нормальные напряжения изменяются по симметричному циклу $\sigma_a = \sigma_m$ и $\sigma_m = 0$, а касательные напряжения – по отнулевому циклу: $\tau_a = \tau_m / 2$ и $\tau_m = \tau_k / 2$.

Тогда

$$S_{\sigma} = \sigma_{-1D} / \sigma_a.$$

Напряжения в опасных сечениях вычисляют по формулам

$$\sigma_a = \sigma_m = 10^3 M / W; \tau_a = \tau_k / 2 = 10^3 M_k / (2W_k),$$

где M – результирующий изгибающий момент, Н·м; M_k – крутящий момент, Н·м; W и W_k – моменты сопротивления сечения вала при изгибе и кручении, мм³.

Пределы выносливости вала в рассматриваемом сечении:

$$\sigma_{-1D} = \sigma_{-1} / K_{\sigma D}; \tau_{-1D} = \tau_{-1} / K_{\tau D},$$

где σ_{-1} и τ_{-1} – пределы выносливости гладких образцов при симметричном цикле изгиба и кручения; $K_{\sigma D}$ и $K_{\tau D}$ – коэффициенты снижения предела выносливости.

Таким образом, представлен метод анализа прочностных характеристик вала, в котором рассчитывается коэффициент запаса прочности, показывающий способность конструкции выдерживать прилагаемые к ней нагрузки выше расчётных.

Список литературы

1. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – 12-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 496 с.

2. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин: учеб. пособие. – Изд-е 2-е, перераб. и дополн. – Калининград: Янтар. Сказ. 2002. – 454 с.: ил., черт. – Б. ц.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА КРИВОШИПНО-КОЛЕННОГО ПРЕССА

Смирнов И.П.
НИ ТПУ, ИШНПТ, гр.4А32

Кривошипно-коленный пресс был изобретён в 1988 году Кадковым Николаем Павловичем и Мезенцевым Владимиром Малафеевичем. Это пресс, в котором используется кривошипно-коленный исполнительный механизм. Он предназначен для операций холодной объёмной штамповки, требующих высоких давлений при малых ходах: чеканка, правка, калибровка, объёмная формовка.

Также существуют кривошипно-коленные прессы для холодного выдавливания металла, которые используются для изготовления методом выдавливания в холодном состоянии различных изделий типа стаканов и стержней.

Сам механизм кривошипно-коленного прессы устроен так что:

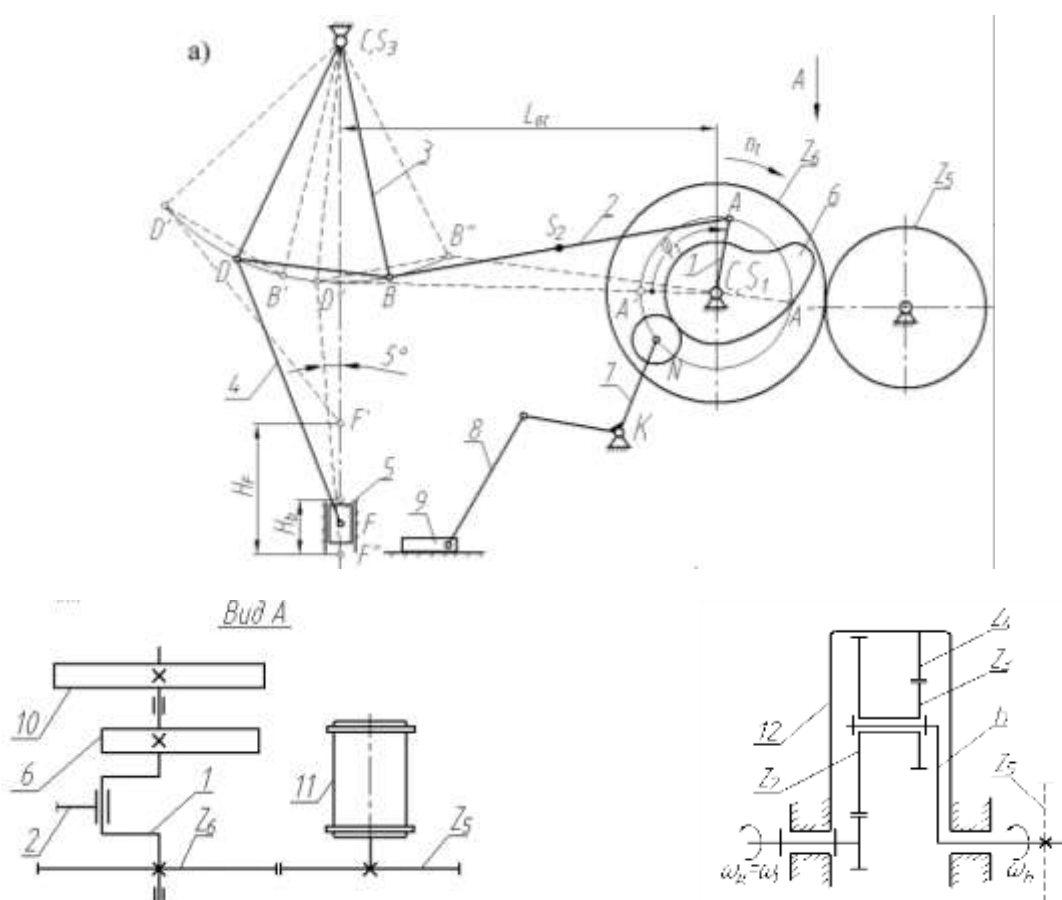


Рис. 1. Кинематическая схема кривошипно-коленного прессы

Высодочный (основной) механизм 1, 2, 3, 4, 5 является кривошипно-коромысловым. Коромысло 3 выполнено в виде шарнирного треугольника. Благодаря такой схеме рабочие скорости ползуна в конце хода малы, жесткость механизма прессы увеличивается. Подача заготовки производится при холостом ходе (вверх) ползуна 5. Механизм подачи состоит из кулачка 6, закрепленного на коленчатом валу 1, коромыслового толкателя 7 и тяги 8 с ползуном 9, снабженным приспособлением для подачи заготовки.

Коленчатый вал 1 высодочного механизма приводится в движение от электродвигателя 11 при помощи планетарного редуктора 12 (число сателлитов $K = 3$, модуль $m_l = 2$ мм) и зубчатой

передачи Z_5 , Z_6 (модуль $m = 5$ мм). Маховик 10 размещен на валу 1 (рис. 8, а). Высадочный ползун 5 с закрепленным в нем пуансоном, совершая по вертикали возвратно-поступательное движение, осуществляет деформацию заготовки.

Порой расчеты подобных механизмов могут вызвать затруднения для тех, кто с этим связывается, поэтому мы обозначим некоторые пункты, где стоит заострить внимание:

- Отсутствие надёжной связи поперечин (опорных пластин) со стойками (боковыми пластинами). Это приводит к резкому усилению силовых потоков через угловые зоны, что может вызвать разрушение конструкции станины.

- Неучёт сил трения. Например, для определения полного крутящего момента необходимо учесть силы трения в опорах кривошипного вала.

- Неправильный расчёт коленчатого вала. Размеры вала определяют по номинальному усилию пресса на основании имеющихся эмпирических соотношений.

Неучёт явления заклинивания механизма. Оно может произойти в случае перегрузки при недостаточном запасе энергии маховика или нарушении связи коленчатого вала с приводом.

Также нужно знать особенности этого механизма, такие как:

- **Станина** цельносварная из стального проката повышенной жёсткости, состоит из двух стоек, стола, траверсы. К стойкам станины крепятся Г-образные призматические регулируемые направляющие.

- **На столе пресса** установлена подштамповая плита с Т-образными пазами для крепления нижней части штампа.

- **Ползун** сварной коробчатой формы, перемещается в регулируемых направляющих. Внутри ползуна встроен механический верхний выталкиватель.

- **Привод** двухступенчатый с валами, расположенными перпендикулярно фронту пресса. Движение от электродвигателя передаётся через клиноременную передачу, маховик и муфту-тормоз на вал-шестерню, которая входит в зацепление с блоком зубчатых колёс.

- **Коленно-рычажный механизм** расположен внутри удлинённого ползуна.

- **Регулировка** закрытой высоты пресса (межштампового пространства) – от индивидуального электродвигателя, величина регулировки контролируется микровыключателями.

- **Удаление готовых изделий** производится с помощью верхнего и нижнего выталкивателей.

- **Пресс оснащён** автоматической централизованной системой циркуляционной жидкой смазки.

Ознакомившись с механизмом более подробно, можно и подумать о его улучшении, вот пара идей:

1. Улучшение материалов: Использование более прочных и легких материалов может снизить вес конструкции и увеличить ее долговечность.

2. Оптимизация геометрии: Пересмотр углов и размеров компонентов может привести к более равномерному распределению нагрузки и уменьшению износа.

3. Снижение трения: Внедрение современных смазочных систем или использование подшипников с низким коэффициентом трения может повысить эффективность работы.

4. Автоматизация: Внедрение автоматизированных систем управления для оптимизации процесса прессования и повышения точности.

5. Системы мониторинга: Установка датчиков для мониторинга состояния механизма в реальном времени может помочь в профилактическом обслуживании и предотвращении поломок.

6. Энергоэффективность: Оптимизация системы привода для снижения потребления энергии, например, с помощью использования электродвигателей с переменной частотой.

7. Улучшение системы управления: Интеграция современных систем управления для более точного контроля процессов и повышения гибкости.

8. Модульность конструкции: Проектирование с учетом возможности замены отдельных компонентов без необходимости полной разборки устройства.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПОДШИПНИКОВ

*Спиридонов А.В. группа 4А21
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
e-mail: avs331@tpu.ru*

Несмотря на появление прогрессивных технологий, на сегодняшний день нет альтернативы подшипникам и подшипниковым узлам. Эксплуатационная надежность машин и приборов в большой степени определяется статической и динамической грузоподъемностью подшипников качения, их эксплуатационной работоспособностью, быстроходностью и долговечностью, а также величиной энергетических потерь в них. Обычно под надежностью понимают отсутствие отказов в работе на протяжении эксплуатационного ресурса, обусловленных любыми причинами конструктивного, технологического или эксплуатационного характера. Применительно к подшипникам можно говорить о надежности лишь при соблюдении всех технических требований производства и эксплуатации.

Долговечность подшипников определяется факторами, которые можно разделить на три группы.

Конструктивные факторы. Как и предполагается из названия эти факторы связаны с конструкторскими решениями, принятыми на этапе проектировки подшипника. Таких как: должный выбор материала, из которого будет выполнен подшипник, улучшают стойкость к износу и коррозии, эффективная система смазки предотвращает перегрев и конструкции подшипников; установление необходимых соотношений размеров их деталей и назначение рациональных внутренних зазоров позволяет равномерно распределять нагрузки и улучшать распределение давления; разработка принципиально новых типов опор качения.

Технологические факторы. Эти факторы относятся к технологии производства подшипников, таких как: выбор режимов механической и термической обработки для используемых материалов и рациональных методов получения их заготовок, что улучшает точность и качество деталей подшипников; обеспечение надлежащего операционного и окончательного контроля для выявления дефектов на любом этапе производства; автоматизация процессов изготовления и контроля для повышения точности производства.

Факторы, связанные с непосредственным применением подшипников и подшипниковых узлов в машинах: правильный выбор подшипников в соответствии с характером нагрузки: неравномерные, чрезмерные или динамические могут привести к быстрому износу и выходу подшипников из строя, скоростью вращения и рабочей температурой; обеспечение необходимых посадок и соосности посадочных мест поможет избежать дополнительные перегрузки и повышению эффективности работы; надлежащая смазка и уплотнение подшипников; грамотная техника монтажа и эксплуатации подшипников. Одним из важнейших факторов, влияющих на надежность подшипников качения, является правильный выбор радиальных зазоров для каждой группы подшипников.

Расчетный ресурс работы подшипников качения может быть надежно обеспечен только при условии соблюдения надлежащего режима смазки и теплоотвода. Значительное улучшение условий работы подшипника обеспечивает герметизация подшипникового узла за счет использования смазки под давлением, масляного тумана или консистентной смазки, которые в большей или меньшей степени способствуют предотвращению проникновения извне в корпус подшипника пыли, газов, влаги и других загрязняющих веществ. В то же время скопление в корпусе чрезмерного количества смазки ухудшает работу подшипника, ибо на ее перемешивание затрачивается избыточная энергия, переходящая в тепло, что повышает температуру подшипника и узла в целом.

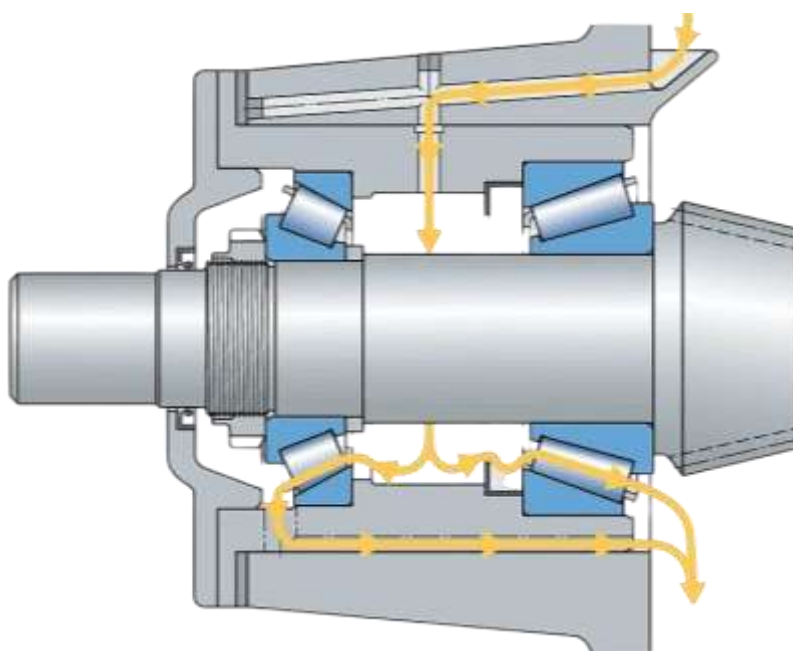


Рис. 1. Система смазки роликовых радиально упорных подшипников

На рисунке 1 показана система смазки подшипников электродвигателя

При недостаточном теплоотводе, особенно при высоких скоростях, наблюдается отпуск металла на тела качения и желобах колец, быстро приводящий к взаимному наволакиванию металла на рабочие поверхности с последующим заземлением подшипника.

Таким образом, мы имеем множество факторов, влияющих на надёжность и долговечность подшипников. Фактический срок службы подшипника можно увеличить если должным образом соблюдать эксплуатационный режим, что не всегда получается и приводит к преждевременным выходам из строя.

Список литературы

1. Слепова А.Ш. Анализ факторов, влияющих на износ подшипников / Механика и машиностроение 2017 год. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-faktorov-vliyayuschih-na-iznos-podshipnikov>
2. Беспалов А.С. Влияние различных факторов на надежность и долговечность подшипников/ текст: электронный
3. Санкт-Петербургский государственный экономический университет// Инх. Конспект лекций МРИ / Л.8. Подшипники качения 2015 год С. 6 текст электронный// Url:<https://studfile.net/preview/2800923/page:5/>
4. Черемискина, М.С. Проскальзывание в подшипниках качения / М.С. Черемискина, И. Боюн // Современные проблемы машиностроения: сборник трудов XV Международной научно-технической конференции, г. Томск, 22–25 ноября 2022 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); ред. кол. Е.Н. Пашков [и др.]. – 2022. – Современные проблемы машиностроения. – С. 38–39. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/74436>
5. Черемискина, М.С. Повреждения подшипников качения / М.С. Черемискина, И.С. Боюн, Н.А. Толмачев // Современные проблемы машиностроения: сборник трудов XIV Международной научно-технической конференции, г. Томск, 25–30 октября 2021 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); под ред. Е.Н. Пашкова. – 2021. – Современные проблемы машиностроения. – [С. 48-49]. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/69118>

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ «ПРЕССА-АВТОМАТА»

*Черченко В.К.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4А31,
e-mail: vkc4@tpu.ru*

Пресс-автомат — это специализированное оборудование, предназначенное для выполнения процессов прессования. Он используется в различных отраслях, включая производство металлоизделий, пластмасс, бумаги и других материалов.



Рис. 1. Внешний вид пресс-автомата

Основные функции пресс-автомата

- Прессование: Применение силы для формирования или уплотнения материала. Это может быть как холодное, так и горячее прессование.
- Формовка: Создание изделий заданной формы и размера из сырья (например, металла или пластика) с помощью пресс-форм.
- Автоматизация процессов: Пресс-автоматы часто оснащены системами автоматизации, которые позволяют контролировать процесс прессования, уменьшать время на его выполнение и повышать точность.
- Увеличение производительности: Использование пресс-автоматов позволяет значительно увеличить объем производства по сравнению с ручными методами.

Существует несколько типов пресс-автоматов, включая гидравлические, механические и пневматические, каждый из которых имеет свои особенности и применяется в зависимости от конкретных задач и материалов.

Необходимые факторы для улучшения работоспособности

- Оптимизация механической схемы: Проектирование пресс-автоматов должно начинаться с выбора оптимальной механической схемы, которая обеспечивает необходимую производительность и минимальные затраты на эксплуатацию. Эффективное проектирование систем охлаждения и смазки механизмов пресса-автомата критически важно для предотвращения перегрева и износа деталей.

- **Модульность конструкции:** Проектирование пресс-автоматов с модульной конструкцией упрощает их обслуживание и модернизацию, позволяя быстро заменять или обновлять отдельные узлы.
- **Устойчивость к нагрузкам:** Исследование механических свойств материалов и конструкций, применяемых в пресс-автоматах, необходимо для обеспечения устойчивости к динамическим и статическим нагрузкам.
- **Безопасность эксплуатации:** Проектирование должно учитывать все аспекты безопасности, включая защитные устройства, системы аварийной остановки и эргономику рабочего места для операторов.
- **Выбор материалов:** Исследование и использование высокопрочных, легких и износостойких материалов для деталей пресса способствует увеличению срока службы оборудования и снижению его веса.
- **Автоматизация процессов:** Внедрение автоматизированных систем управления и мониторинга позволяет повысить точность операций, уменьшить время простоя и улучшить качество продукции.

Сильные стороны механизма

Высокая производительность: Пресс-автоматы способны выполнять большое количество операций за короткое время, что увеличивает общую производительность.

Автоматизация процессов: Автоматизация снижает необходимость в ручном труде, что уменьшает вероятность ошибок и повышает точность.

Однородность продукции: Пресс-автоматы обеспечивают высокую степень однородности и качества готовой продукции.

Экономия времени: Быстрая настройка и работа устройства позволяют сократить время на производство.

Устойчивость к нагрузкам: Современные пресс-автоматы могут работать с различными материалами и выдерживать значительные нагрузки.

Слабые стороны механизма

Ограниченная гибкость: Некоторые пресс-автоматы могут быть менее гибкими в производстве различных изделий, особенно если они требуют частой перенастройки.

Ремонт и обслуживание: Пресс-автоматы требуют регулярного обслуживания и ремонта, что может привести к дополнительным затратам и простоям.

Безопасность: Работа с пресс-автоматами может быть опасной, если не соблюдаются меры безопасности, что требует дополнительных затрат на обучение и защитное оборудование.

Зависимость от электроэнергии: Пресс-автоматы требуют постоянного электроснабжения, что может быть проблемой в условиях перебоев с электричеством.

Список литературы

1. Теория механизмов и машин: учебн. пособие по выполнению курсового проекта по теории механизмов и машин для студентов машиностроительных специальностей всех видов обучения / Горбенко В.Т., Горбенко М.В. и др. – Томск: Изд. ТПУ, 2000.
2. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов / Сысоев С.К., Сысоев А.С., Левко В.А. – Издание 3-е. – 2024.
3. Трусовский, Виктор Иванович. Прессы-автоматы для обработки порошковых материалов: учеб. пособие для вузов / В.И. Трусовский, Л.А. Барков, В.К. Плотников. – Челябинск: Металл, 1994.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА ЗУБЬЕВ ШЕСТЕРНИ МЕТОДОМ ОБМЕРА

Эшматов А.К.

Студент гр. 4А22 НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

e-mail: ake6@tpu.ru

В процессе ремонтных работ редукторов или зубчатых передач, довольно часто наблюдается износ зубчатых колес, требующий их замены. Наиболее простым случаем считается, если есть техническая документация с указанием требуемых параметров для изготовления заменяемого колеса. Нередки случаи, когда документация бывает утеряна или в ней, отсутствуют некоторые ключевые параметры. Для косозубых шестерен, одним из ключевых параметров является угол наклона зубьев. Точное измерение этого угла имеет решающее значение для обеспечения правильной работы зубчатого зацепления.

Существует несколько методов для измерения угла наклона:

- метод обмера (обкатки): прокатка шестерни по листу бумаги для визуальной оценки угла наклона отпечатков зубьев. Этот метод подходит для быстрой проверки и не требует специализированного оборудования.
- математический расчет: использование формулы, связывающей угол на цилиндре вершин с делительным диаметром шестерни. Специализированное оборудование: Зубомерные приборы и другие инструменты, позволяющие проводить измерения с высокой точностью.

Рассмотрим более подробно метод обмера (обкатки):

Для определения угла наклона зубьев методом обмера потребуется чистый лист бумаги, металлический угольник, транспортир, краска или иной красящий материал (рис. 1).

Порядок действий:

1. На край стола или верстака укладывается лист бумаги, сверху накладывается угольник и прижимается струбциной.
2. Колесо или шестерня очищаются от технической грязи.
3. Вершины зубьев равномерно красятся красящим материалом.
4. Далее колесо прокатывается вдоль угольника. Зубья оставят следы на бумаге.
5. Затем при помощи транспортира измеряют угол.

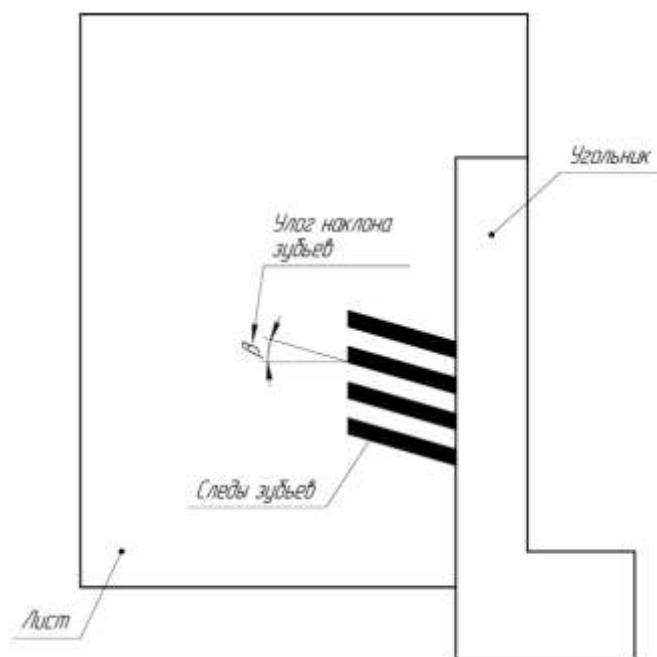


Рис. 1. Схема выполнения измерений методом обмера (обкатки)

Этот метод подходит для быстрой проверки и не требует специализированного оборудования. Однако стоит учитывать, что данный метод имеет погрешности и расчет может быть выполнен неверно.

Для уменьшения погрешности определения угла наклона можно воспользоваться CAD-системами.

Данный метод подразумевает замену инструментов измерения (транспортир) на функции CAD-систем. Есть 2 варианта использования данного метода:

Первый вариант использует отпечаток, полученный методом обмера. Загрузив изображение отпечатка в CAD-систему, с помощью имеющихся функций можем определить угол наклона зубьев (рис. 2).

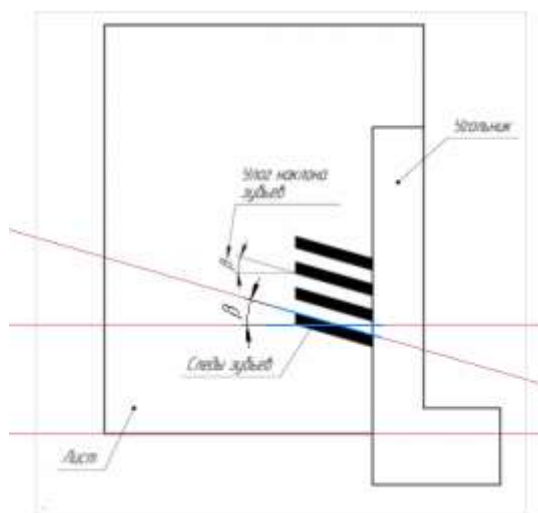


Рис. 2. Схема выполнения измерений методом обмера (обкатки) с помощью CAD-системы

Второй вариант подразумевает использование фотографии самой шестерни, закрепленной на валу. Выполняется фотография колеса или шестерни, которые требуется заменить, вид сверху (несколько фотографий с разными зубьями). Далее фотографии загружаются в CAD-систему, где с помощью вспомогательной геометрии проводится обработка и замеряется угол.



Рис. 3. Схема выполнения измерений методом обмера (обкатки) с помощью CAD-системы и фотографии

Оба этих варианта позволяют избежать погрешности измерительного инструмента, одна стоит учитывать, что во втором варианте верное определение угла наклона зубьев во многом зависит от положения камеры и особенностей фотокамеры.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФРЕЗЕРНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО СТАНКА С ЧПУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Масловский А.А.¹, Крауиньш Д.П.²

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, 4НМ41,

e-mail: aam167@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИШНПТ, к.т.н. доцент ОМШ,

e-mail: dpkraujnsh@tpu.ru

В условиях современного машиностроения, где требования к точности и производительности постоянно растут, разработка и внедрение новых технологий становятся ключевыми факторами успеха. Одним из перспективных направлений является проектирование фрезерных малогабаритных станков с ЧПУ, способных обрабатывать стали и сплавы. В данной статье мы рассмотрим основные аспекты проектирования таких станков.

Станки для обработки сталей и сплавов должны обладать высокой жесткостью, в большинстве случаев, достаточной жесткостью для обработки сталей, обладают крупногабаритные станки, в которых повышенная жесткость обеспечивается тяжелым корпусом, такие станки требуют размещения в больших помещениях. В свою очередь настольные станки имеют малую жесткость, и подходят для обработки древесины, пластмасс и цветных металлов. Настольные станки для обработки сталей могут использоваться на производстве, где изготавливаются детали малых размеров, в опытных лабораториях, для создания единичных деталей для ремонта, в учебных заведениях для лабораторных работ по теории резания.

Первым этапом проектирования является анализ компоновок малогабаритных станков с ЧПУ и создание кинематической схемы станка, которая представлена на рис. 1. Отталкиваясь от схемы будет осуществлено проектирование станка.

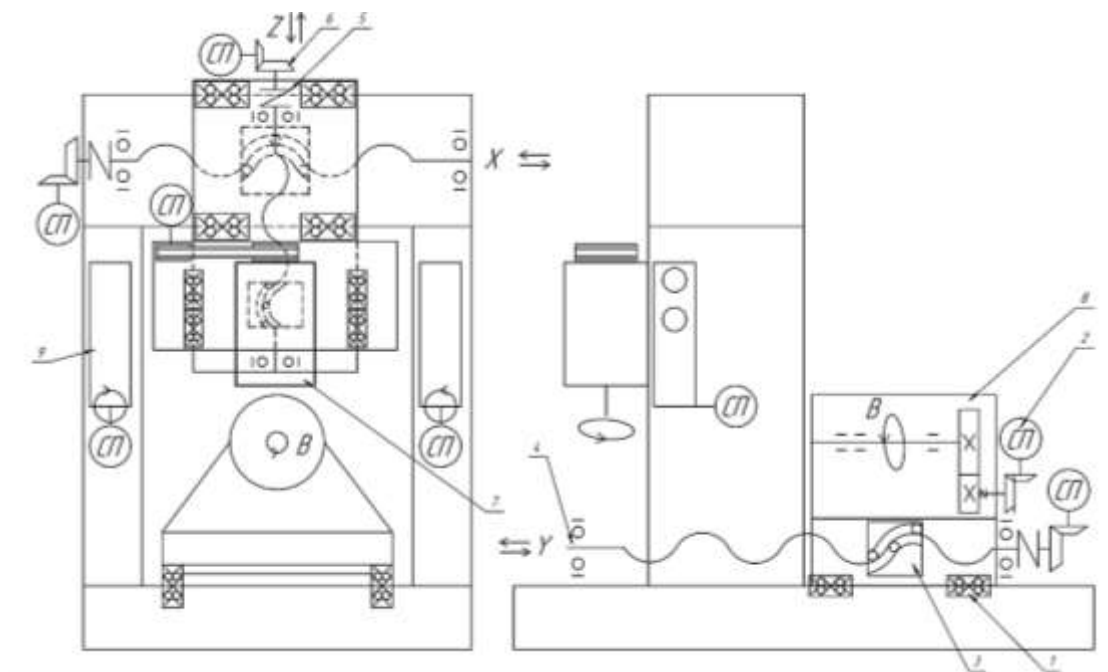


Рис. 1. Кинематическая схема станка:

- 1 – шариковые рельсовые направляющие; 2 – сервопривод; 3 – шариковинтовая передача; 4 – опора шпн;
5 – муфта; 6 – редуктор; 7 – шпиндель; 8 – поворотный стол; 9 – магазин смены инструмента

В кинематической схеме станка отражены модули перемещения станка по 3 координатам и ось поворота В. Станок представляет из себя станину портального типа, сверху портала, размещен модуль перемещения по осям Х и Z, крестового типа, на нем закреплен шпин-

дель, на основании станины размещен модуль перемещения Y, на нем расположена поворотная ось B с закрепленным на нем рабочим столом, представляющая из себя шпиндельный узел, на опорах станины расположены слоты инструментального магазина.

Использование технологий цифрового производства CAD/CAM/CAE позволяет значительно повысить эффективность и точность проектирование станков и ускоряет создание конструкторской документации. Создание 3D-моделей помогает для визуализации габаритных размеров, коллизий подвижных элементов. При помощи CAE можно быстро произвести прочностные расчеты узлов, для определения оптимальных конструкций и использовать оптимизацию топологии для уменьшения массы готового изделия.

В рамках работы была создана концептуальная 3D-модель станка (рис. 2, б), которая соответствует кинематической схеме, созданной ранее.

Учитывая, что при резании металлов достигаются высокие температуры и возможен вылет стружки на большой скорости, была разработана защитная тумба (рис. 2, а). В тумбе размещено оборудование, для обслуживания станка и электронику, на тумбу установлен кожух который будет изолировать зону резания, что предотвратит, возможные аварийные факторы, на поверхности тумбы предусмотрены каналы для слива СОЖ.

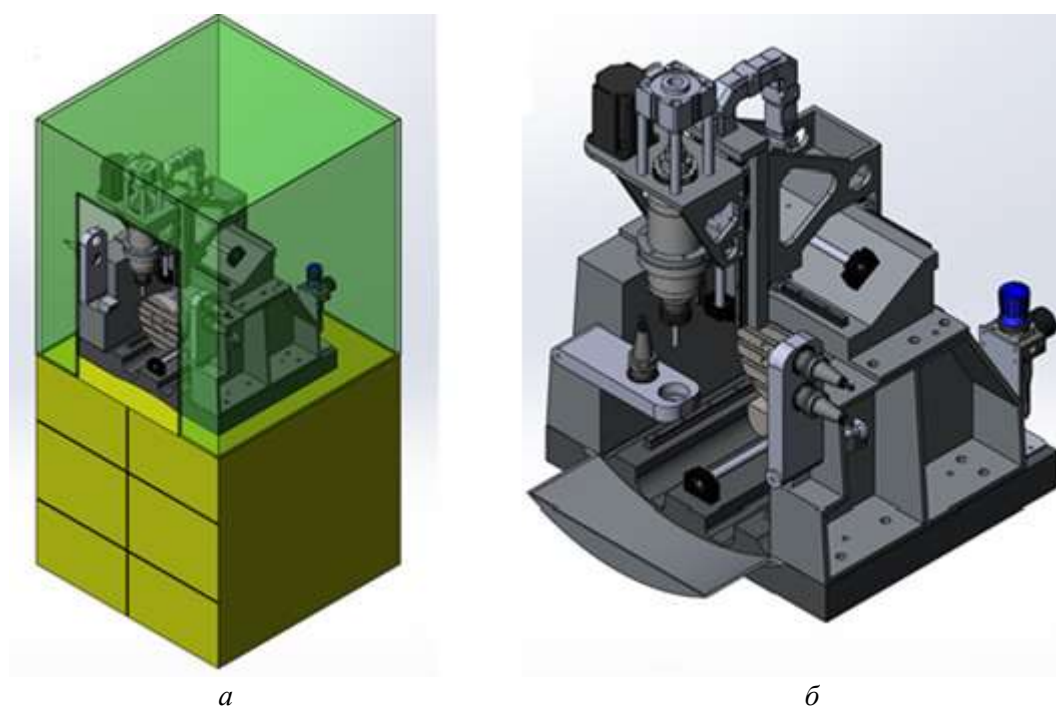


Рис. 2. Малогабаритный 4-х осевой фрезерный станок с ЧПУ:
а – компоновка станка, с тумбой; б – станок без тумбы

В рамках текущей задачи была описана принципиальная кинематическая схема станка, создана его 3D-модель. Следующими шагами работы будет проработка узлов, уточнения размеров, создание КД, изготовление прототипа и производство самого станка.

В заключении, проектирование фрезерного малогабаритного станка с ЧПУ с использованием технологий цифрового производства является перспективным направлением в современном машиностроении.

Список литературы

1. Металлорежущие станки: учебник для машиностроительных вузов; под ред. В.Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
2. Кочергин А.И. Конструирование и расчет станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование: учеб. пособие для вузов. – Мн.: Выш.шк., 1991. – 382 с.

УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

*Бахытханова А., НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4АМ4К
ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
e-mail: abb9@tpu.ru*

Резьбовые соединения дают возможность сборки узлов деталей и машин с использованием резьбы, которая находится непосредственно на детали, также при помощи крепежных элементов таких, как – болты, шпильки, винты, гайки, которые бывают общего и специального назначения.

Крепежные элементы специального назначения применимы в ответственных узлах сборки конструкции. Ответственные крепежные соединения обладают мелким шагом резьбы и оснащены защитным покрытием.

Стоит вопрос в увеличении надежности резьбовых соединений. Следует рассмотреть причины, по которым повреждаются резьбовые соединения:

Тугое или недостаточное затягивание. Слишком сильное затягивание может привести к деформации детали, а недостаточное – к ослаблению соединения;

Усталостные нагрузки. Механические нагрузки, действующие на резьбовое соединение в течение длительного времени, могут привести к усталостному разрушению;

Смещение оси. Неправильное выравнивание резьбовых частей может создать дополнительные напряжения и привести к повреждению;

Вибрации. Постоянные вибрации могут ослабить резьбовое соединение и привести к его разрушению;

Коррозия. Воздействие влаги, химических веществ или высоких температур может вызвать коррозию резьбовых деталей.

При сборке резьбовых соединений необходимо соблюдать установленный порядок, к примеру, стягивание гаек по диагонали при креплении фланцев, чтобы избежать перекаса. Есть несколько методов контроля момента усилия при затягивании. Наиболее широко используемым является применение тарированных динамометрических ключей. Избыточный момент затяжки может привести к повреждению резьбы, ее срыву или вызвать текучесть материала стержня резьбового крепежного элемента, что приведет к ослаблению затяжки.

Методы повышения надежности резьбовых соединений

Увеличение надежности резьбовых соединений в машинах и механизмах осуществляется при помощи разработки конструктивных решений, внедрению технологических мероприятий и улучшение методик расчета.

К ним относятся высокая износостойкость и прочность витков резьбы, усталостная долговечность, как витков, так и стержня резьбы, уменьшение контактного давления под головкой болта и гайкой за счет применения жестких шайб вместо пружинных шайб и деформируемых пластин, а также оптимальные параметры высоты и формы микронеровностей на поверхности.

Основным расчетом для обеспечения увеличения надежности резьбовых соединений является расчёт момента затяжки M , (Н · м):

$$M = \chi \cdot F_{max} \cdot d, \quad (1)$$

где χ – коэффициент затяжки (обычно от 0,1 до 0,3 для стандартных материалов); F_{max} – максимальная осевая нагрузка на болт (Н); d – диаметр болта (м).

Для проверки прочности резьбового соединения необходимо убедиться, что максимальная осевая нагрузка F_{max} не превышает предела прочности болта:

$$F_{max} \leq \sigma_t \cdot A_t \quad (2)$$

где, σ_t – предельное напряжение на растяжение материала болта (Па); A_t – площадь поперечного сечения болта (м²).

$$A_t = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

Чаще всего, увеличение надежности резьбовых соединений может быть достигнуто путем установки шайб (рис.1). Шайбы помогают равномерно распределить давление по поверхности соединения, что снижает риск повреждения деталей. Шайбы, особенно пружинные или зубчатые, помогают предотвратить ослабление соединения под действием вибраций и других внешних факторов. Шайбы облегчают процесс сборки и разборки резьбовых соединений, позволяя одновременно повысить надежность.

Список литературы

1. Курушин М.И., Курушин А.М., Курушин С.А. Новый способ повышения прочности резьбового соединения // Вестник машиностроения. 2012. – № 11. – С. 13–15.
2. Федорова Л.В., Иванова Ю.С., Воронина М.В. Повышение надежности резьбовых соединений электромеханической обработкой // Записки Горного института. – 31.08.2017. – № 4 (226). – С. 456–461.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Шарафиева Р.Р.¹, Денисова Я.В.², Сопин В.Ф.³

*¹ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), г. Казань, соискатель
E-mail: Regina94sh19@gmail.com*

*²ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), г. Казань, к.э.н, доцент
e-mail: DenisovaYaV@corp.knrtu.ru*

*³ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), г. Казань, д.х.н, профессор
e-mail: SopinVF@corp.knrtu.ru*

Эффективная и безопасная работа нефтегазового комплекса Российской Федерации возможна без высококачественной продукции нефтегазового машиностроения, необходимой на всех этапах производственного цикла – от бурения и добычи до транспортировки, хранения и распределения углеводородных ресурсов. Качество продукции нефтегазового машиностроения, а именно нефтегазового оборудования – это не только задача производителя, но и ответственность всех участников нефтегазового цикла. Качество нефтегазового оборудования выявляется не только на этапе производства, но и, что более важно, в процессе эксплуатации, поэтому задача управления надёжностью оборудования в нефтегазовой отрасли сводится к систематическому контролю и целенаправленному воздействию на различные неблагоприятные факторы и условия эксплуатации, которые могут влиять на его эксплуатационные характеристики, такие как: абразивность и коррозионность среды, нестационарность режимов нагружения, колебания температуры и др.

Коррозия металла – серьёзная проблема для объектов нефтегазового машиностроения, и её последствия могут быть весьма разрушительными. Несмотря на усилия по предотвращению коррозии, анализ данных Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за 2006–2022 гг. [1] свидетельствует о том, что коррозия продолжает оставаться одной из главных причин повреждений нефтегазового оборудования, вызывая утечки, разгерметизацию и возникновение пожаров.

Коррозия в нефтегазовой отрасли приводит к значительным финансовым потерям и экологическим проблемам. Приведем некоторые примеры. Так, в январе 2018 года на промысловом трубопроводе Ахтинского месторождения, принадлежащем ООО «Башнефть-Добыча», произошла авария, вызванная разгерметизацией трубопровода из-за внутренней язвенной электрохимической коррозии, что привело к загрязнению реки Кудушлинка [2]. В июле 2020 года на участке магистрального нефтепровода «Оха–Комсомольск-на-Амуре», принадлежащем ООО «РН-Сахалинморнефтегаз», произошёл нефтеразлив, вызванный также коррозией металла трубопровода и приведший к серьёзным экологическим последствиям [3].

Ингибиторная защита является важным аспектом обеспечения эксплуатационной надёжности нефтегазового оборудования от коррозии. Для повышения надёжности нефтегазового оборудования необходимо строго контролировать качество ингибиторов коррозии. Применение ингибиторов коррозии, которые не соответствуют установленным стандартам качества или утратили свои свойства в процессе хранения, может иметь серьёзные последствия для надёжности нефтегазового оборудования.

Наиболее важным параметром ингибитора коррозии является концентрация его активной основы, поскольку именно от её содержания зависит защитный эффект ингибитора. В большинстве случаев концентрацию активной основы определяют согласно методике, указанной в технических условиях производителя, используя гравиметрический метод, который

включает выпаривание растворителя и последующее взвешивание остатка. Остаток принимается за активную основу. Однако данный метод не даёт точного представления о концентрации действующих веществ в составе активной основы ингибитора [4].

Одним из значимых методов контроля эффективности ингибиторов коррозии является контроль его массовой концентрации в технологической среде. На сегодняшний день данный вид контроля регламентирован фотометрическим методом, имеющим серьёзный недостаток, а именно – его чувствительность к органическим азотным соединениям, серо- и фосфорсодержащим катионным ПАВ [5]. Данные вещества могут быть определены как ингибитор коррозии, что вносит существенную ошибку в получаемые результаты и в ряде случаев приводит к невозможности использования данной методики.

В связи с вышеизложенным, важно акцентировать внимание на необходимости усовершенствования методик контроля качества ингибиторов коррозии. Это позволит не только повысить эффективность защиты от коррозии, но и снизить эксплуатационные затраты, а также увеличить надёжность оборудования в нефтегазовом машиностроении.

Список литературы

1. Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения: 10.11.2024).
2. В реку под Уфой из-за аварии на трубопроводе попала нефть. [Электронный ресурс]. – URL: <https://ria.ru/20180122/1513067488.html> (дата обращения: 10.11.2024).
3. На нефтепроводе Оха-Комсомольск-на-Амуре снова произошел разлив нефтепродуктов. [Электронный ресурс]. – URL: <https://neftegaz.ru/news/incidental/651591-na-nefteprovode-okha-komsomolsk-na-amure-snova-proizoshel-razliv-nefteproduktov/> (дата обращения: 10.11.2024).
4. Суховерхов С.В. Современный подход к лабораторным испытаниям и входному контролю ингибиторов коррозии / С.В. Суховерхов, А.В. Бриков, П.А. Задорожный [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2017. – № 7. – С. 54–57.
5. Маркин А.Н., Низамов Р.Э., Суховерхов С.В. Нефтепромысловая химия: практическое руководство. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 288 с.

ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЁТ РУКИ РОБОТА ГУМАНОИДА

Каличкин К.К.¹, научный руководитель Крауиньш Д.П.²

¹ТПУ, ОАР ИШНПТ гр. 4НМ31,

e-mail: kkk4@tpu.ru;

²НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент,

e-mail: dpkraujnsh@tpu.ru

Человечество в современных реалиях всё более зависимо от механизмов облегчающих и как в следствие повышающих производительность труда. С каждым годом необходимость в создании полноценного гуманоидного помощника становится всё востребованнее, в следствии этого конструктора разрабатывают новые функциональные виды гуманоидных роботов и манипулятора, обеспечивающие взаимодействие роботов с окружающей средой. Разработка новых видов манипуляторов с высоким передаточным отношением является одним из перспективных направлений робототехники. Для этого мной в прошлой статье были проанализированы новые модели роботов гуманоидов и разработан новый манипулятор руки гуманоида (рис. 1) позволяющий взаимодействовать роботу с предметами и инструментами

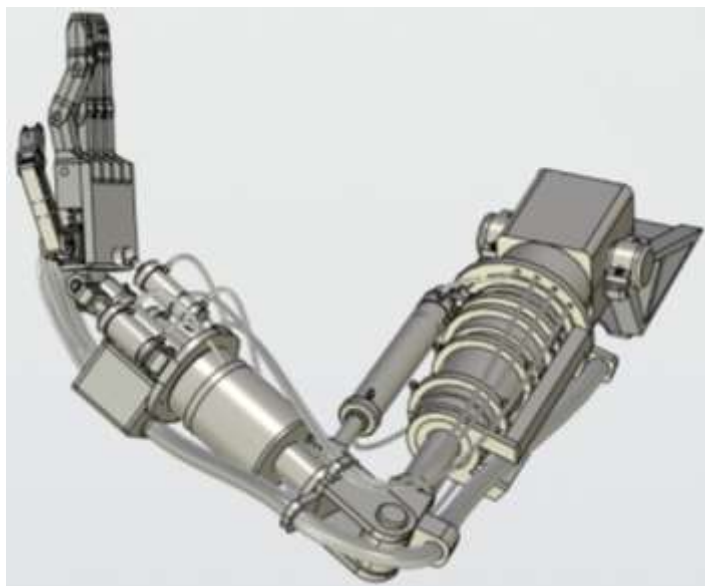


Рис. 1. Модель руки робота гуманоида

Смоделированная модель руки гуманоидного робота (рис. 1) разработана таким образом чтобы повторять очертания человеческой руки, обладать повышенной силой сжатия и плавностью движения. Основными приводами выступают мотор редуктора с большим передаточным отношением и высоким крутящим моментом необходимый гуманоидному роботу для перемещения объектов той же массы что и человек.

Схема кинематическая пара руки робота гуманоида (рис. 2) практически идентичны человеческой руке за исключением плече-лопаточного сустава и лучезапястного сустава, обусловлено это особенностью распределения приводов в руке гуманоидного робота для максимизации систем передач движения.



Рис. 2. Кинематическая схема руки робота гуманоида

Для проверки прочности модели руки робота гуманоида, был выполнен прочностной расчёт в программе T-Flex cad 17 analysis в котором была определена максимальная нагрузка на механизм (рис. 3) и собственные частоты модели (рис. 4).



Рис. 3. Прочностной расчёт руки робота гуманоида

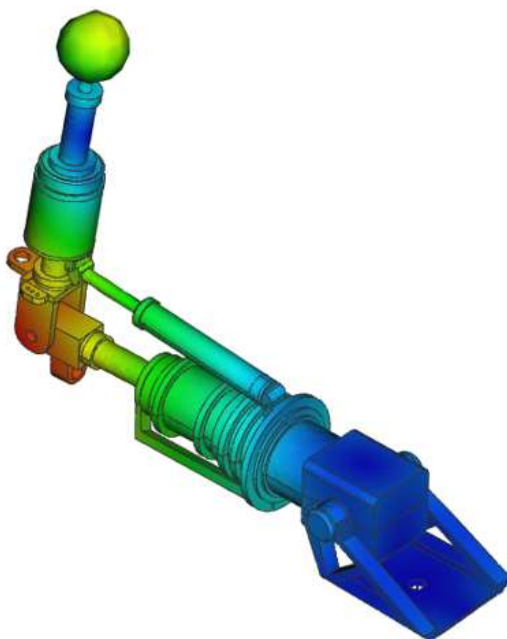


Рис. 4. Расчёт собственных частот руки робота гуманоида

Анализ прочности конструкции (рис. 3) показал максимальную нагрузку в 50 кг, которую можно существенно увеличить, изменив толщину пластины рамы держателя руки робота гуманоида.

Анализ собственных частот конструкции (рис. 4) указал резонансную частоту в 70,5 Гц в локтевом суставе.

Таким образом мы получили данные необходимые для последующего улучшения модели с целью создания новых моделей гуманоидных роботов.

Заключение

1. Разработка и применение гуманоидных роботов оказывает решающее значение на эффективность развития промышленного и социального устройства человеческого общества.

2. Решение современной проблемы малой мощности и высоких габаритов применяемых гидравлических и сервоприводов возможно только при разработке гуманоидных роботов, в том числе переход на качественно новые, обеспечивающие коренное повышение работоспособности.

3. При создании принципиально новых механических и информационных способов разработки гуманоидных роботов решится проблема безопасного использования человеческого труда и необходимости выполнения работы, сопряженной с высоким риском.

Список литературы

1. Крауиньш Д.П. Автоматизированный электропривод: учебное пособие / Д.П. Крауиньш; Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 128 с.: ил.

2. Проектирование и моделирование промышленных изделий: учеб. для вузов / С.А. Васин, А.Ю. Талащук, В.Г. Бандорин, Ю.А. Грабовенко, Л.А. Морозова, В.А. Редько. под ред. С.А.Васина, А.Ю.Талащука. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 692 с.

3. Методологические особенности концептуального конструирования мехатронных систем в робототехнике / М.С. Кухта, П.Я. Крауиньш, Д.П. Крауиньш, А.Д. Козлова // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 04–07 декабря 2017 г., г. Томск / Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники ; под ред. С.С. Михалевич [и др.]. – 2018. – Молодежь и современные информационные технологии. – С. 171–172. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/46583>.

РАСЧЁТ РЕДУКТОРА РОБОТА ГУМАНОИДА

Каличкин К.К.¹, научный руководитель Крауиньш Д.П.²

¹ТПУ, ОАР ИШНПТ гр. 4НМ31,

e-mail: kkk4@tpu.ru;

²НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент,

e-mail: dpkraujnsh@tpu.ru

Актуальность разработки дизайна робота гуманоида с высоким количеством степеней подвижности обусловлена постоянным развитием робототехники и развитием нейросетевых программ. Гуманоидные роботы на данный момент всё ещё недостаточно функциональны и не могут в полностью взаимодействовать с окружающим их пространством. Современные модели представленные прототипы имеют огромное количество новых технических решений, но могут быть усовершенствованы путем разработки новых улучшенных приводов, а также применением новых конструкционных решений. Применение новых конструкционных решений позволит приблизиться к созданию гуманоидного робота способного в некоторой степени адаптироваться к окружающей среде на основе самообучаемой системы способной развиваться для решения задач.

Основной задачей гуманоидного робота является сокращение участия людей в особо опасных работах. Гуманоидные роботы благодаря особенности своего строения манипулятора могут взаимодействовать с инструментами человека.

Для успешного создания гуманоидного робота была проанализированы другие модели гуманоидных роботов (табл. 1):

1. Привод должен быть смешанным включая в себя гидравлику и сервопривода для максимальной эффективности гуманоидного робота.
2. Тип манипулятора обязан быть пятипальцевым с целью лучшего взаимодействия с окружающим миром.
3. Степеней подвижности робота должны быть аналогичны количеству степеней подвижности человеку.
4. Перемещаться робот должен на гуманоидные ноги.

Таблица 1

Анализ гуманоидных роботов

Модель	Привод	Тип манипулятора	Способ перемещения	Степени подвижности
ICUB	Механика	Пятипальцевый	Гуманоидные ноги	19
NAO	Механика	Трехпальцевый	Гуманоидные ноги	25
ISIMO	Сервопривода	Пятипальцевый и трехпальцевый	Гуманоидные ноги	57
Atlas Unplugged	Гидравлика	Отсутствует	Гуманоидные ноги	28
JUSTIN	Смешанный	Четырех пальцевый	Роликовый привод	25
REEM	Тросовой	Пятипальцевый	Гуманоидные ноги	44

При проектировании гуманоидного робота возникла необходимость в редукторе с высоким крутящим моментом и малом потреблении мощности.

На выбор было рассмотрено четыре типа редукторов:

1. Цилиндрический.
2. Червячный.
3. Конический.
4. Планетный.

Несмотря на высокое передаточное отношение червячного, малую стоимость цилиндрического и компактность планетарной был выбран конический редуктор благодаря своей простоте и малым габаритам, являющимися первостепенными при разработке гуманоидного робота

В процессе разработки гуманоидного робота было принято решение использовать синхронный мини мотор редуктор серии 60kty обладающий высоким крутящим моментом (табл. 2). Применяющегося в медицинском оборудовании и промышленной бытовой технике.

Таблица 2

Крутящий момент мотор редуктора 60kty 220v

Скорость об/мин	1,2	2,5	5	10	15	20	30	40	60
Крутящий момент, Н·м	7,65	7,65	4,59	2,45	1,63	1,22	0,82	0,61	0,41



Рис. 1. Мотор редуктор серии 60kty

На основе данного двигателя был разработан редуктор сустава гуманоидного робота (рис 2), обладающий передаточным отношением равным 2,91667 и применяемым в суставных сочленениях робота гуманоида. Также был проведен расчёт необходимых параметров и характеристик редуктора (табл. 3).

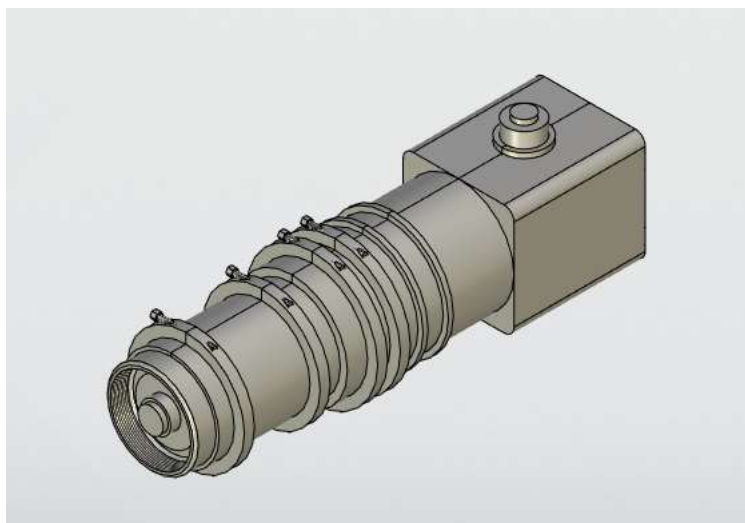


Рис. 2. Редуктор сустава гуманоидного робота

Таблица 3

Параметры и характеристики редуктора сустава гуманоидного робота

Параметры	Числовые обозначения	Ведущая шестерня	Ведомая шестерня
Число зубьев	Z	12	35
Модуль	m	1,375	
Межосевой угол	Σ	90	
Ширина зубчатого венца	α	20	
Ширина зубчатого венца	b	5	
Передаточное отношение	u	2,91667	
Делительный диаметр	d	14,87832	43,3591
Внешняя высота зуба	h_e	3,025	3,025
Угол головки зуба	θ_a	3,71128	3,71128

Для подтверждения параметров редуктора в программе SolidWorks Motion, был проведен анализ редуктора сустава гуманоидного робота (рис. 2) в соответствии с этим построена эпюра крутящего момента двигателя (рис. 3) при вращении вала в 10 об/мин и крутящим моментом на выходном валу в 7,145 Н · м и эпюра потребления энергии (рис. 4) в Ваттах.

Формула соотношения мощности, крутящего момента и оборотов

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n_{max}}{9549}, \quad (1)$$

где N – мощность, кВт; $M_{кр}$ – Крутящий момент, Н · м; n_{max} – число оборотов двигателя, об/мин.

Мощность двигателя

$$N = \frac{2,45 \cdot 10}{9549} = 0,002565 \text{ кВт} = 2,565 \text{ Вт} \quad (2)$$

Данное значение подтверждает эпюра потребления энергии (рис. 4)

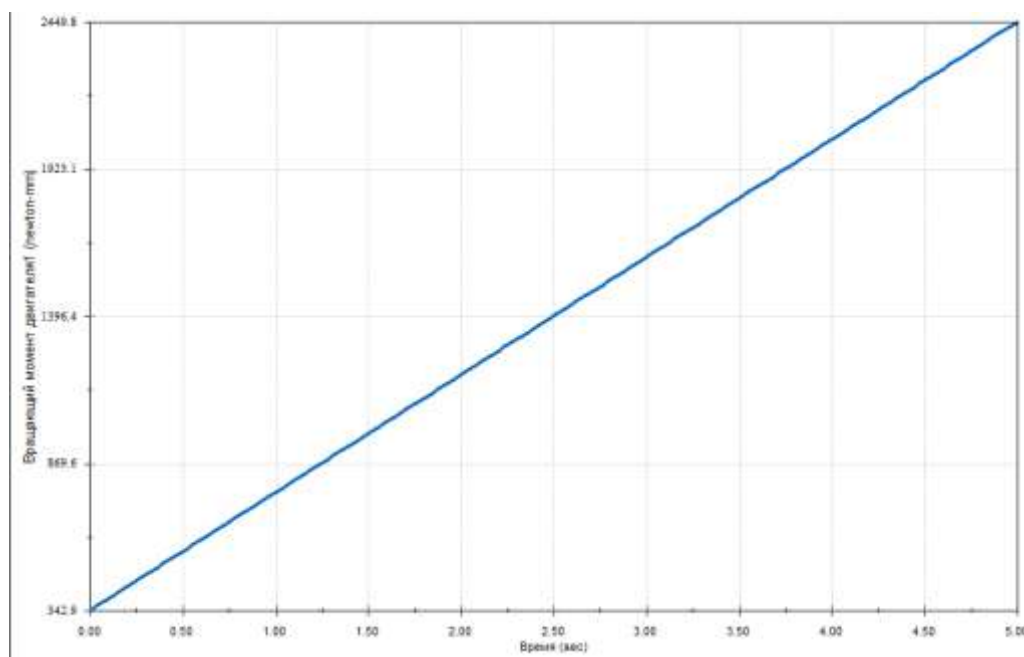


Рис. 3. Эпюра вращающийся момент двигателя

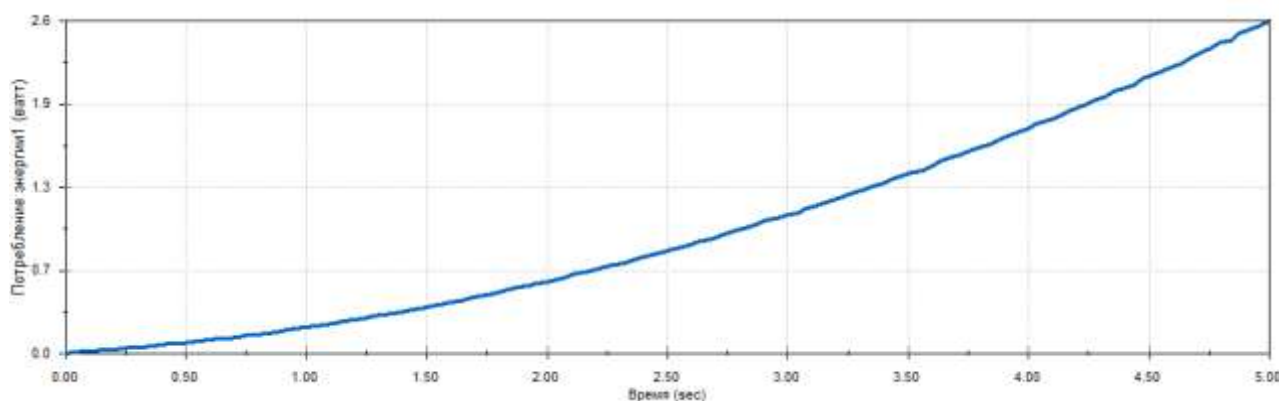


Рис. 4. Энтюра потребления энергии двигателем

Таким образом получается, что применение похожих типов редукторов в робототехнике не только целесообразно и перспективно при дальнейшем развитии систем передачи движения.

Заключение

1. Разработка и применение гуманоидных роботов оказывает решающее значение на эффективность развития промышленного и социального устройства человеческого общества.
2. Решение современной проблемы малой мощности и высоких габаритов применяемых гидравлических и сервоприводов возможно только при разработке гуманоидных роботов, в том числе переход на качественно новые, обеспечивающие коренное повышение работоспособности.
3. При создании принципиально новых механических и информационных способов разработки гуманоидных роботов решится проблема безопасного использования человеческого труда и необходимости выполнения работы, сопряженной с высоким риском.

Список литературы

1. Крауиньш Д.П. Автоматизированный электропривод: учебное пособие / Д.П. Крауиньш; Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 128 с.: ил.
2. Проектирование и моделирование промышленных изделий: учеб. для вузов / С.А. Васин, А.Ю. Талащук, В.Г. Бандорин, Ю.А. Грабовенко, Л.А. Морозова, В.А. Редько; под ред. С.А.Васина, А.Ю.Талащука. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 692 с, ил.
3. Методологические особенности концептуального конструирования мехатронных систем в робототехнике / М.С. Кухта, П.Я. Крауиньш, Д.П. Крауиньш, А.Д. Козлова // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 04–07 декабря 2017 г., г. Томск / Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники; под ред. С.С. Михалевиц [и др.]. – 2018. – Молодежь и современные информационные технологии. – С. 171–172. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/46583>

САПР И КАК ИХ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Казанцев В.А.¹, Казанцева О.А.², Сонвальд К.Я.³

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4БМ33,

e-mail: vak29@tpu.ru,

²НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4БМ33,

e-mail: oap10@tpu.ru,

³НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4БМ33,

e-mail: kys15@tpu.ru

Целью данной статьи является краткий функциональный обзор систем автоматизированного проектирования (САПР), описание решаемых ими задач, способов оптимизации производственного процесса, а также выявление направления развития для производств, находящихся на разных этапах технологической эволюции.

В настоящее время использование САПР является неотъемлемым элементом для любого промышленного производства. При этом руководящий состав не всех компаний и предприятий понимает возможности САПР, целесообразность и методы их использования, а также направление развития компании в сфере автоматизации. В данной статье рассмотрены основные направления применения и возможности САПР.

Системы автоматизированного проектирования подразумевают под собой автоматизацию всех процессов и в полной мере на всех этапах жизненного цикла изделия, поэтому некорректно сравнивать их с Computer-aided design (CAD), Computer-aided manufacturing (CAM) или Computer-aided engineering (CAE) по отдельности, так как эти и другие системы входят в САПР.

Функционально САПР начинается с построения бизнес-процесса и жизненного цикла изделия. В этом предприятиям помогают системы WorkFlow, позволяющие оптимизировать определенные рабочие процессы, являющиеся по отдельности частями бизнес-процесса и Business Process Management System (BPMS), системы реализующие процессный подход к жизненному циклу изделия или продукта. Такие, более сложные системы подходят для средних и крупных предприятий.

САПР также продолжает существовать в рамках создания электронной структуры изделия при помощи систем Product Data Management (PDM), такие системы помогают создавать представление изделия в виде иерархии его составных частей, являются базой данных об изделии, позволяют осуществлять обмен и менеджмент файлов связанных с разработкой, производством, эксплуатацией и утилизацией изделия, или при помощи систем Product Lifecycle Management (PLM), которые позволяют управлять инженерными данными и всем жизненным циклом изделия, в том числе PLM системы затрагивают календарное планирование.

Полностью автоматизированных и отлаженных производств почти не бывает. Даже развитые компании в развитых странах имеют заметные минусы системы, вынуждающие пользователей подстраиваться под нее. Полностью автоматизировать на данный момент можно только что-то стандартное и серийное.

Самое распространенное направление автоматизации – CAD системы. Такие системы классифицируются по назначению – приборостроение, машиностроение, строительство и др., по сложности изделий, по комплексности решаемых задач, а также по другим признакам, как и САПР в целом. CAD системы предназначены для разработки конструкторской документации всех видов, начиная от модели и заканчивая ведомостями закупки. В машиностроении самыми распространенными CAD системами являются AutoCAD, Autodesk Inventor, SolidWorks, NX CAD, Creo Parametric и ПО российского разработчика – КОМПАС.

CAM системы используются для моделирования процессов обработки в станках с числовым программным управлением (ЧПУ), а также для создания программ по обработке заготовок. Распространенными зарубежными CAM системами являются: NX CAM, Mastercam, ESPRIT, SolidCAM, EdgeCAM, FeatureCAM и PowerMILL. Также существуют CAM системы отечественного производства, такие как СПРУТКАМ, ADEM CAM и др.

CAE – системы, которые используются для выполнения инженерных расчетов различных видов, например гидродинамические расчеты, прочностные, устойчивости, тепловые и многие другие, путем моделирования этих процессов. MSC Nastran, ABAQUS, NX Nastran, ANSYS, а также российские T-FLEX Анализ, APM FEM и другие.

Все вышеперечисленные определения имеют довольно размытый характер, и зачастую, продукты средств автоматизации, условно относящиеся к той или иной группе, являются их комбинацией. Так, существуют продукты, совмещающие в себе WorkFlow и BPMS; PDM и PLM; CAD и CAM; CAD и CAE; CAD, CAM и CAE и т. д.

Наиболее распространенными на современных производствах являются CAD и CAE продукты, таким образом с точки зрения оптимизации наибольший интерес представляют именно они.

CAD системы делятся в зависимости от назначения на системы с деревом построения такие как SolidWorks, Autodesk Inventor, NX CAD, КОМПАС, системы без дерева построения AutoCad, Rhinoceros 3D и системы объектного моделирования, направленные на решение отраслевых задач.

Один из важнейших инструментов автоматизации проектирования – параметризация. Это понятие, подразумевает введение определенных параметров, зависимостей, ограничений, функций, а также взаимосвязь между ними и возможность редактирования их на любом этапе. Данный функционал возможен только в программах с историей построения или с принципом объектного моделирования. При объектном моделировании программой заложено автоматическое создание взаимосвязей, но при этом ограничивается вариативность разрабатываемой модели. Поэтому в машиностроении чаще всего используют ПО с историей построения.

Одна из возможностей параметризации – изменение любых размеров любой детали сборки с автоматическим перестроением. Вместе с тем в CAD можно накладывать зависимости на размеры: например, значение одного размера выражается математической зависимостью от другого размера, выбирается из массива данных, или вычисляется при помощи логической функции И, ИЛИ, ЕСЛИ и др. Также при помощи параметризации можно редактировать свойства массивов деталей и снимать значения с графиков. Другими словами, любые аналитические расчеты можно описать параметрами в CAD и реализовать автоматически. Хорошим примером послужит трубопроводная арматура, которая при проектировании имеет большое количество параметров таких как диаметр, номинальное давление, расход и др. Эти параметры могут зависеть от отраслевых или иных требований. Полное проектирование такого изделия от модели до чертежей и спецификаций при должном подходе можно свести до заполнения опросного листа из нескольких десятков значений.

Второй значимый инструмент автоматизации проектирования – application programming interface (API) – набор инструментов, которые позволяют взаимодействовать программам и приложениям между собой. Интерфейс, взаимодействия одной программной среды с другой. В случае совместного использования с CAD функционал API раскрывается при создании функций, не предусмотренных разработчиком. Например, для создания отчетов, технологических файлов, а также для автоматизации регулярно-повторяющихся действий. Также, посредством API можно реализовать взаимосвязь с нейросетями или другими программами.

Немаловажным способом автоматизации процесса проектирования является топологическая оптимизация формы – определение наиболее оптимальной геометрии изделия в рамках заданных ограничений для сопротивления заданным внешним факторам. Чаще всего это перераспределение объема материала внутри заданного пространства детали, для снижения и

более эффективного использования массы. Главным минусом такого процесса является сравнительно невысокая технологичность, что влечет за собой ограничение возможностей применения до 3D-печати и сложной многокоординатной ЧПУ обработки. Такую возможность оптимизации предоставляют некоторые системы САЕ.

Следующий шаг к автоматизации по смыслу, но не во времени – внедрение PLM систем. Эти системы применяются для управления всеми данными, относящимися к жизненному циклу изделия, и выходят на первый план, когда предприятие начинает разрабатывать изделия с большим количеством деталей, имеет большую номенклатуру изделий и сотрудников или планирует осуществлять совместную работу в моделях. Минус таких систем – это необходимость в дополнительном обучении сотрудников, и более высокая точность к обработке данных на входе и выходе.

Исходя из всего вышесказанного можно сформулировать несколько векторов развития машиностроительных предприятий, в зависимости от их уровня развития. Для молодых компаний, с небольшим бюджетом и штатом целесообразно автоматизировать сферу САД систем, без применения интерфейсов API, ограничиваясь автоматизацией параметризации. Для средних компаний, имеющих средства для развития и желание масштабирования бизнеса, дополнительно стоит полностью отладить вопросы планирования, а также вводить применение PDM систем. Для крупных компаний, стремящихся поддерживать уровень развития, необходимо использовать все возможные инструменты автоматизации, и зачастую, самое «тяжелое» и функциональное программное обеспечение, или даже начать создавать свое.

Список литературы

1. ГОСТ 23501.108-85. Системы автоматизированного проектирования. Классификация и обозначение. – Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. – 16 с.
2. Фомичев Н.И. Ф76 Автоматизированные системы научных исследований: учеб. пособие – Ярославль: Яросл. гос. ун-т., 2001. – 112 с.
3. **Ресурсы удаленного доступа**
4. Что такое BPMS // Хабр: сайт. – 2015. – URL: <https://habr.com/ru/companies/trinion/articles/273025/>.
5. Что такое бизнес-процесс и описание бизнес-процесса // Тринион: сайт. – 2023. – URL: <https://trinion.org/blog/cto-takoe-biznes-process-opisanie-biznes-processa>.
6. Краткое описание BPMN с примером // Тринион: сайт. – 2023. – URL: <https://trinion.org/blog/kratkoe-opisanie-bpmn-s-primerom>.
7. Каталог «Управления жизненным циклом изделия». Решения АСКОН // Аскон: сайт. – 2024. – URL: <https://ascon.ru/products/locman-plm/>.

ОДНОМЕРНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДИАГНОСТИКИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Лаубган К.В.

Аспирант гр. А4-20, НИ ТПУ, ИШНПТ,

e-mail: kvl10@tpu.ru

Гаврилин А.Н., д.т.н., профессор ОМШ НИ ТПУ,

e-mail: gawral@tpu.ru

В инженерии понимание различных видов трения и фрикционных контактов критически важно для разработки эффективных механизмов. Для оценки их надежности необходимы практические испытания в условиях, близких к реальным. Особое внимание стоит уделить трению в роторных узлах машин, включая контактные взаимодействия в подшипниках качения и скольжения, а также в тормозных устройствах, таких как «вал-втулка», «вал-колодка» и «вал-колодки».

Целью данной работы является симуляция одномерной математической модели автоматизированного комплекса диагностики узлов трения технических систем (далее АКДУТТС) и проведения для моделирования работы роторных узлов трения в условиях, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации технических систем машин и механизмов. В рамках данной статьи предпринята попытка сформулировать концепт будущего АКДУТТС.

На основе разработанной принципиальной схемы, разработки оптимального варианта компоновки и кинематических расчетов была разработана одномерная математическая модель АКДУТТС. Одномерная математическая модель построена в инновационном программном обеспечении Siemens NX Amesim. Одномерная математическая модель автоматизированного комплекса диагностики узлов трения технических систем состоит из следующих модулей:

1. Модуль вращения контртела.
2. Блок нагружения контртела.
3. Камера трения.
4. Модуль подготовки смазочной среды.

Одномерная математическая модель АКДУТТС представлена на рис. 1.

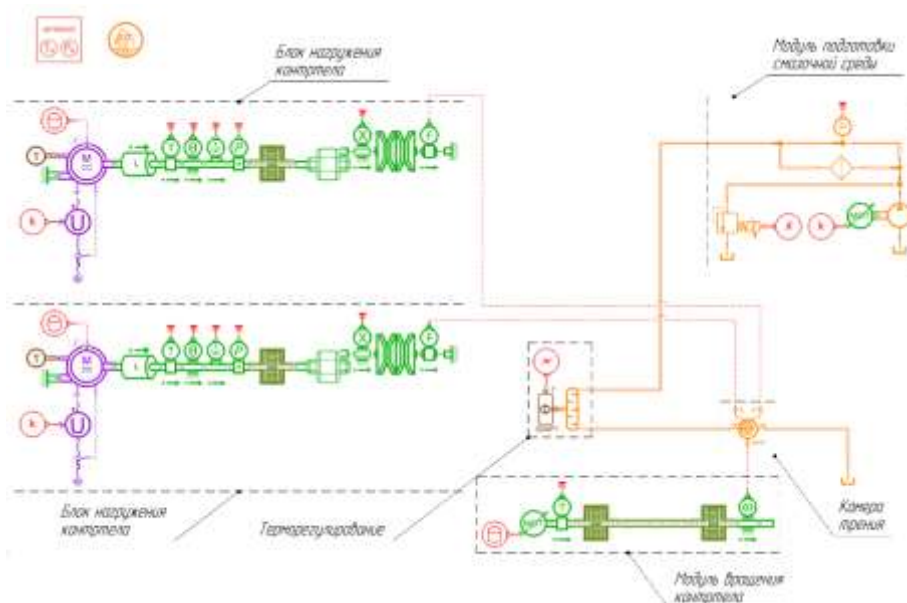
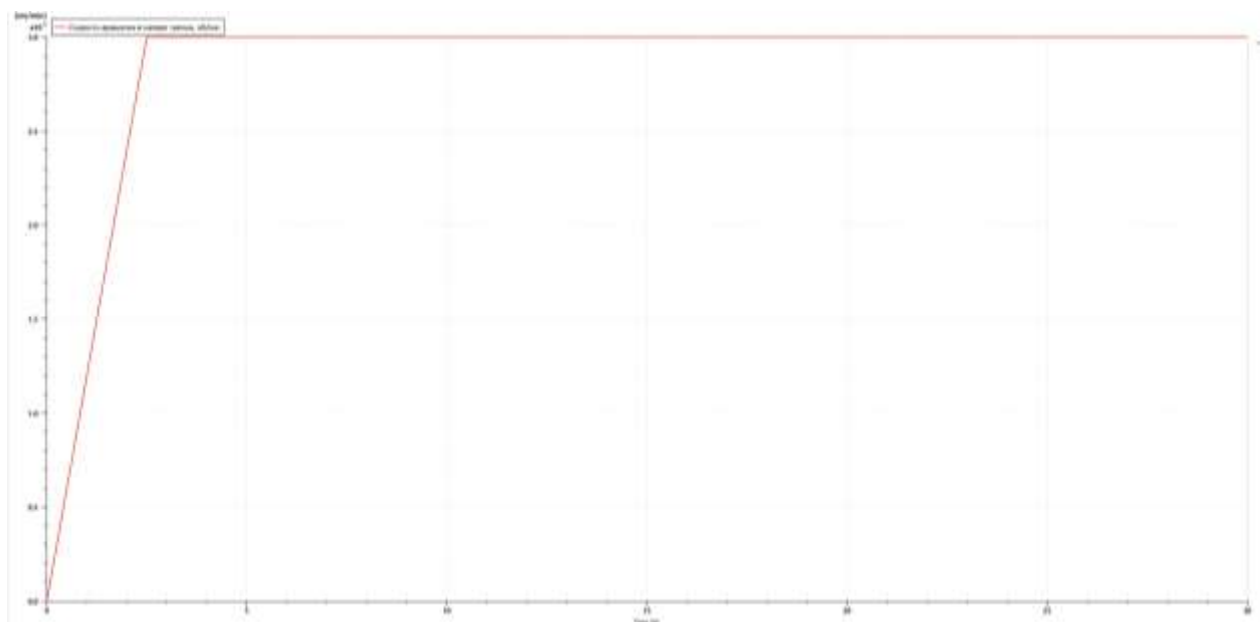


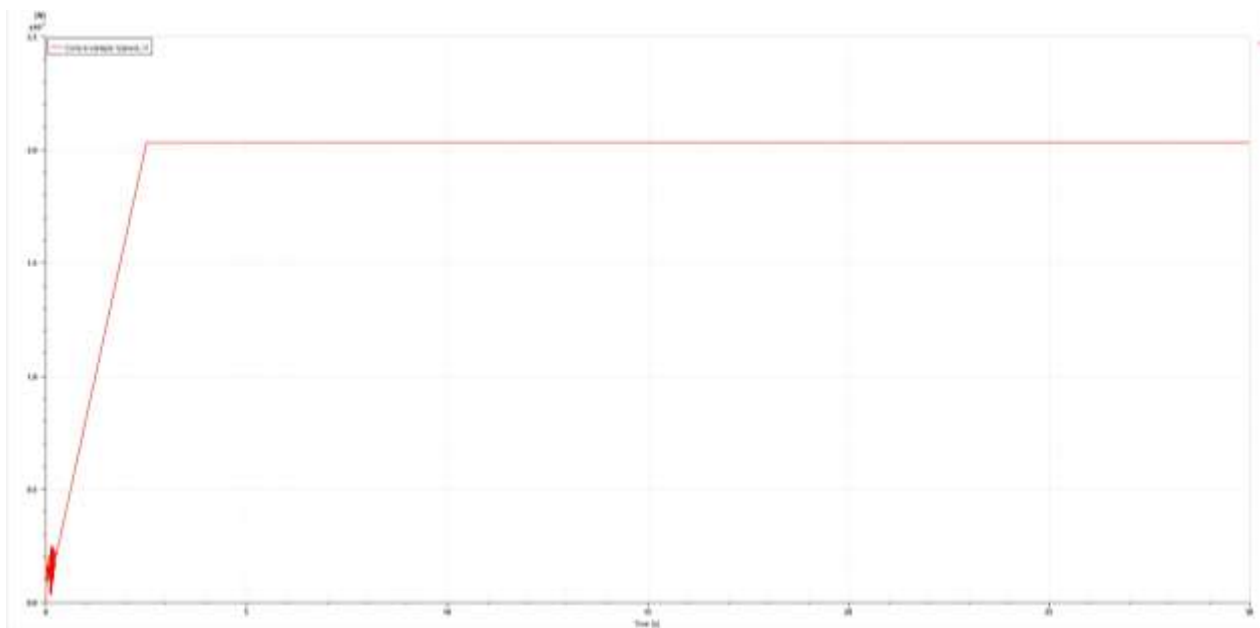
Рис. 1. Одномерная математическая модель АКДУТТС

Выполнено моделирование статического восходящего режима нагружения, целью которого было достижение максимальной необходимой нагрузки в минимально возможные сроки с полным соблюдением установленных норм. Задача заключалась в необходимости достижения скорости вращения модуля вращения контртела в камере трения на уровне 3000 об/мин, а также обеспечения силы нагружения в камере трения для двух блоков нагружения контртела на уровне 2000 Н.

Отклик АКДУТТС представлен на рис. 2.



а



б

Рис. 2. Графики отклика АКДУТТС:

*а – скорость вращения модуля вращения контртела в камере трения;
б – сила нагружения блока нагружения в камере трения*

АКДУТТС продемонстрировала свою способность эффективно реализовать заданный закон нагружения в минимально возможное время, что подтверждает правильность выбора технической конфигурации. Минимальное время, необходимое для достижения максимальной скорости вращения модуля вращения контртела в камере трения, составило 2,3 секунды.

Минимальное время достижения силы нагружения, эквивалентной двум блокам нагружения контртела в камере трения, составило 2,5 секунды. Как видно по графику, в начале происходят резкие пики и падения, что говорит о стабилизации системы. Эти показатели являются значительными, в сравнении с аналогичными комплексами, разработанными в России. Более того, когда мы рассуждаем о зарубежных аналогах, можно с уверенностью заявить, что полученные результаты находятся на приемлемом уровне, что подтверждает высокую эффективность системы АКДУТТС и её конкурентоспособность как на внутреннем, так и на международном рынках.

Список литературы

1. Федоров В.В. Разработка алгоритмов реализации и исследование точности воспроизведения законов динамического нагружения узлов трения вращательного и возвратно-вращательного действия на автоматизированном триботехническом комплексе: магистерская диссертация.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАВИТАЦИОННОГО ЛОПАСТНОГО СМЕСИТЕЛЯ–ДИСПЕРГАТОРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПОРОШКОВЫХ СУСПЕНЗИЙ

Леонтьев Н.А.¹, Букин А.А.¹, Гордеев Ю.И.²

*¹Политехнический институт Сибирский федеральный университет,
Красноярск, Россия,*

E-mail: kol_leon@mail.ru

*²Политехнический институт Сибирский федеральный университет,
Красноярск, доцент каф. КТОМСП*

Одной из ключевых задач при разработке композиционных спеченных порошковых материалов является достижение фазовой однородности смесей на этапе операций измельчения-смешивания. Анализ состояния проблемы в области порошковой металлургии показывает, что наиболее эффективным методом, с точки зрения соотношения производительности и качества, является подготовка смесей в высокоскоростных планетарных шаровых мельницах и атриторах лопастного типа в жидкой среде с последующей сушкой, пластифицированием и гранулированием перед формованием [1]. Однако эти устройства оказываются неэффективными при работе со смесями, содержащими наноразмерные порошки, которые подвержены агломерации в более крупные агрегаты при перемешивании в механических шаровых мельницах [2]. Это может быть неприемлемо для технологий производства различных видов композиционных материалов, поскольку вызывает снижение эффекта дисперсного упрочнения матричной фазы. В связи с этим для таких многокомпонентных порошковых смесей, особенно бимодальных, содержащих частицы, отличающиеся не только размерами и формой, но и значительными различиями в физико-механических и технологических свойствах, предпочтительными являются устройства, обеспечивающие одновременное механическое диспергирование и микроперемешивание порошков благодаря разрушительным эффектам гидродинамической кавитации.

Цель работы: обоснование конструктивного исполнения лопастного смесителя–диспергатора с повышенной интенсивностью измельчения и однородностью распределения частиц в суспензиях.

Одним из этапов исследования стало создание трехмерной модели лопасти винта (рис. 1, а). Конструкция рабочего органа и форма лопасти обоснованы расчетными данными и продемонстрировали свою эффективность на стадии предварительных исследований новых методов изготовления композиционных порошковых материалов на основе псевдосплавов, в том числе аддитивными технологиями 3D-печати. Увеличение эффективности процессов измельчения и смешивания бимодальных порошковых лигатурных смесей, содержащих наночастицы алюминия и меди, способствовало однородному распределению фазовых компонентов в суспензии, что обеспечило достижение необходимых характеристик конечного композиционного материала в процессе спекания, а также в ходе инфильтрации титанового «каркаса», полученного методом селективного лазерного плавления [3]. В работах [4, 5] было установлено, что для достижения высокого качества перемешивания порошковой суспензии и повышения производительности процесса оптимальными являются лопастные атриторы. При проектировании таких устройств особое внимание следует уделять соотношению размеров и формы лопастей, объему сосуда диспергатора и параметрам кавитационной обработки, таким как частота вращения, температурно-силовые характеристики и продолжительность обработки.

На основе результатов предварительных расчетных и экспериментальных исследований, а также с учетом данных, приведенных в работе [5], были определены необходимые размеры емкости диспергатора: диаметр рабочей камеры должен находиться в диапазоне от 100 до 200 мм при размере винта от 60 до 80 мм. Конструктивное исполнение устройства

иллюстрируется изображением на рис. 1, б и обосновано расчетами по основным техническим параметрам, которые могут варьироваться в зависимости от свойств суспензии. Габаритные размеры установки составляют 400×200×500 мм, мощность двигателя – 3,8 кВт, емкость сосуда – от 3 до 5 л, а число оборотов двигателя колеблется от 600 до 3000 об/мин, с расчетным временем смешивания от 3 до 15 минут.

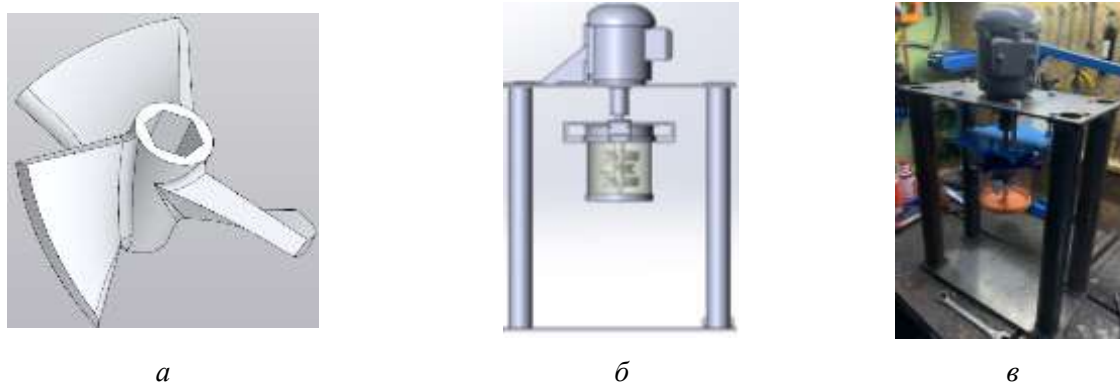


Рис. 3. Конструктивное исполнение кавитационного диспергатора:

а – 3-D модель трехлопастного винта; б – компоновка диспергатора; в – опытный образец в сборе

Для численного моделирования поведения суспензии в объеме сосуда был выбран программный пакет Ansys Discovery, который позволяет визуализировать направление потоков, застойные области в зоне диспергирования, зоны с повышенными и пониженными давлениями, а также области, где реализуются кавитационные эффекты. Моделью для расчетов послужила однородная суспензия с постоянной плотностью и вязкостью. При решении задачи смешивания необходимо корректно установить следующие параметры: область вращения (область, находящаяся в непосредственной близости к элементу вращения); дополнительная область вращения (область, зависящая от элемента вращения); а также задать условия поведения стенок сосуда (условие нулевого трения). Граничные условия для решения задачи формулировались на основе технических параметров конструкции диспергатора и представлены в виде схемы на рис. 2, а. На рис. 2, б показаны результаты моделирования, которые свидетельствуют о наличии застойных областей между винтами и вдоль стенок сосуда. Для уменьшения таких областей рекомендуется сократить расстояние между ступицами винтов, а также уменьшить свободный объем подвинтового пространства до дна сосуда. Для моделирования процесса смешивания в области активного винта использовался метод конечного объема, реализованный в программном пакете ANSYS CFX (рис. 2, в).

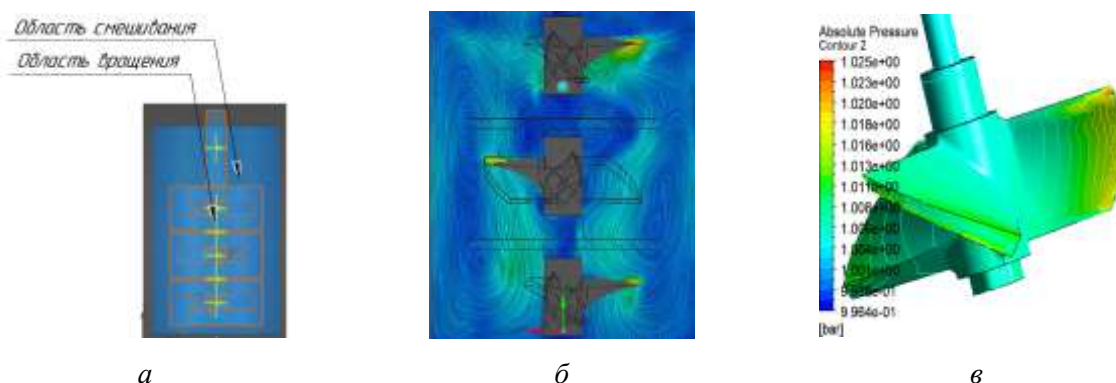


Рис. 2. а – граничные условия; б – направления движения потоков; в – поля давлений при 1000 об/мин

На данном этапе исследования произведен подбор оптимальных режимов измельчения-смешивания, а также конструктивных параметров конструкции и ее модернизация. Процесс смешивания при различных частотах иллюстрируется изображениями на рис. 3.



а



б

*Рис. 3. Отработка процессов смешивания
при частоте вращения вала: а – 600 об/мин; б – 1200 об/мин*

Рационализация процессов подготовки порошковых суспензий в кавитационных смесителях-диспергаторах потребовало комплексного подхода, включающего экспериментальные и теоретические исследования. Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными показывает удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных.

Список литературы

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: учебник для вузов. В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К. Дружинин и др. – М.: Металлургия, 1987. – 792 с.
2. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы / Р.А. Андриевский. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 252 с.
3. Исследование свойств регулярных структур, полученных аддитивными технологиями в сочетании с методами порошковой металлургии / Гордеев Ю.И., Бинчуров А.С., Москвичев Е.В. и др. // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, № 10(763) 2023. С. 28–43. Режим доступа: DOI: 10.18698/0536-1044-2023-10-28-43
4. Использование механизмов кавитационного воздействия в технологиях порошковой металлургии / Н.А. Леонтьев // Технологии и техника: пути инновационного развития, 2023. Режим доступа: URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54099223>.
5. Разработка смесителя для перемешивания жидких и гетерогенных сред: дис. к-дат техн. наук: С.О. Кожевников: 05.02.13. Иваново: ИГАСА, 2005. – 140 с.

НАИБОЛЕЕ ИЗНАШИВАЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ И МЕТОДЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

*Пищальников Я.И.
студент группы 4АМ4К
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
e-mail: yip5@tpu.ru*

Аннотация

Одними из основных требований к металлорежущим станкам являются надежность, долговечность и точность. Соответствие заявленным характеристикам технологической машины зависит от эксплуатируемых условий и нагрузок, происходящие во время обработки заготовки. Все это влияет на узлы, которые со временем изнашиваются, деформируются или выходят из строя.

Целью данной работы является анализ элементов станков токарной группы, подлежащие частой замене, вследствие большего износа, нежели остальные.

Ключевые слова:

Металлорежущий станок, токарная группа, узел, деталь

Среди металлорежущих станков группа токарных станков занимает особое место, порядка 40 % выпускаемых станков относятся к ней [1]. Поэтому чаще всего ремонтные работы проводятся для них. С точки зрения надежности, следует отметить, что все станки являются сложными техническими системами с жесткими обратными связями, и состоят из механической и электрической составляющей, для которых характерны ухудшение технических параметров в процессе эксплуатации.

Это, прежде всего, выражается в естественном изменении геометрии, как таковой, т. е. детали токарного станка, подвергаясь механическим и эрозионным воздействиям, за определённый промежуток времени меняются в размерах. В результате чего их взаиморасположение в пространстве не соответствует проектной документации, а параллельности в конструкции нарушаются, что, безусловно, сказывается на жесткости станка в целом, его отдельных элементов и приводит к поломкам [2]. В первую очередь изнашиваются те детали, которые совершают какие-либо перемещения, к ним относятся шестерни, зубчатые колеса, подшипники, при активной эксплуатации износу могут подвергнуться дистанционные кольца [3]. Однако, помимо деталей кинематических пар, частому выходу из строя подвержены элементы приводов, электрика и гидравлика, износ одного из элементов привода может привести к поломке всей системы, не подлежащей восстановлению.

Масло и СОЖ обязательные компоненты для эксплуатации станка. Заливаемое масло может не соответствовать заявленным характеристикам или иметь истекший срок годности, в результате чего оно может быть более вязким, что не позволит обеспечить смазку на нужном уровне, как результат происходит перегрев, истирание и износ кинематических пар за более короткий срок. Когда заходит речь о СОЖ, то необходимо рассмотреть гидравлическую систему целиком. Причиной выхода из строя гидравлической системы может стать следующее: износ уплотнителей, прокладок, сальников, в результате чего происходят утечки рабочей жидкости, потери жидкости сказываются на работе гидропривода, КПД падает. Сокрытие поступления в зону резания охлаждающей жидкости приводит к перегреву системы, что приводит к росту нагрузки на СПИД; электропривод, шпиндельный узел, двигатель, приводящий его в движение, при возрастании нагрузок и перегреве подвержены большему риску раннего выхода из строя, к тому же неполадки, связанные с электрикой, приводят к поломкам в электрошитах [3].

Таким образом, часто выходящими из строя, являются элементы гидро-, электропривода, а также кинематические пары шпиндельного узла и резцедержки, на которые приходится большие нагрузки.

Для сокращения числа поломок и часов восстановительных работ, а с ними и затрат необходимо принять ряд мер.

Поддержание порядка на рабочем месте, проведение уборки в конце рабочей смены, обдувание и промывка рабочего пространства станка, для удаления стружки и прочих остатков от процессов резанья, которые могут попасть на ходовые части.

Соответствующая наладка, с учетом возможностей и особенностей оборудования и применяемого инструмента. В случае ввода повышенных составляющих режимов резанья (глубина, подача, скорость) возрастает нагрузка и температурный режим, что так уже было сказано, отражается на электроприводе и кинематических элементах.

Проведение плановых ремонтных работ, при которых проводится полный анализ системы. Заранее выявленные дефекты позволяют предотвратить выхода из строя всей системы и обойтись лишь заменой малого количества деталей. При этом необходимо учитывать, чтобы новые детали имели соответствующие механические характеристики, не ниже чем у заменяемых деталей [4].

Подводя итог, все элементы металлорежущих станков подвержены нагрузкам, имея разный запас прочности, необходимо уделять должное внимание при его наладке и работе, дабы система не находилась в критическом состоянии в процессе лезвийной обработки. В противном же случае повышается риск преждевременного необратимого выхода, технологической машины, из строя, для чего и необходимо соблюдать перечень требований по уходу за станком и проведению профилактических мероприятий.

Список литературы

1. Верина Л.И. Технология токарной обработки.
2. «Слабые места» отечественных токарных станков. – URL: https://www.equipnet.ru/articles/tech/tech_411.html (дата обращения 14.11.2024).
3. Какие системы токарных станков наиболее уязвимы? – URL: <https://dzen.ru/a/X6j4QRrWDJsWZjW> (дата обращения 16.11.2024).
4. Анализ причин аварий и поломок металлорежущих станков – важный фактор повышения их надежности и долговечности: Руководящие материалы / Гос. ком. по машиностроению при Госплане СССР. Эксперим. науч.-исслед. ин-т металлорежущих станков. ЭНИМС.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ

Сидоренко А.А.¹, Пустовых И.В.², Семенов Г.В.²

¹НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4НМ31,

²ООО НПК «ТЭТА»

e-mail: aas292@tpu.ru

Электронно-лучевая сварка является перспективным способом соединения металлоконструкций в авиационной и космической промышленности, ракетостроении, ядерной энергетике, радиоэлектронике, точном машиностроении и приборостроении. Данная технология позволяет получить высокое качество сварного шва без понижения физических свойств, создавая сложные узлы, детали и конструкции. [1]

Одним из перспективных направлений в области автоматизации ЭЛС является изучение возможности наблюдения и управления ЭЛС на основе видеоданных.

Актуальность данного способа наблюдения и управления обусловлена необходимостью максимальной автоматизации труда оператора, управляющего процессом ЭЛС. Реализовано это с целью повышения производительности процесса производства, минимизации возможных ошибок, исключения человеческого фактора и повышение общего качества конечного изделия [2].

Необходимость в использовании видеонаблюдения обусловлена отсутствием возможности вмешательства в процессе сварки и полноценного наблюдения за процессом.

В процессе сварки нам необходимо наблюдать сварочную ванну, исходя из этого, оператор может определить провар двух материалов и дать оценку качеству сварного шва. При необходимости есть возможность подкорректировать настройки управляющей программы для обеспечения требуемого качества сварного шва.

Причиной отсутствия прямого наблюдения за сварочным процессом являются работающие (движущиеся) механизмы (манипуляторы, вращатели), используемые в процессе сварки для задания необходимой траектории сварного шва.

Сам процесс управления ЭЛС на основе видеоданных осложнен сильным излучением разного рода в месте сварки, в том числе световым. Источником повышенной опасности для персонала является рентгеновское излучение из зоны воздействия электронного пучка на материал.

При разработке системы видеонаблюдения необходимо учесть факторы, влияющие на качество видеонаблюдения. Так как промышленные цифровые камеры имеют ограничения по чувствительности к излучениям происходит засветка места сварки.

Видеонаблюдение за процессом сварки осложняет сильный контраст изображения между яркой дугой и темным изделием. Наблюдение, в таком случае, становится невозможным.

Устранить свечение полностью невозможно, но можно убрать негативное воздействие с помощью различного рода светофильтров. Для наблюдения за зоной сварки можно использовать интерференционные светофильтры, выделяющие области спектра с наименьшим контрастом изображения. Использование дополнительной подсветки на длине волны пропускания светофильтров и узкополосных светофильтров позволяет почти полностью исключить излучение и обеспечить комфортное наблюдение за процессом.

Список литературы

1. Иванов В.В., Наумов И.А., Щербина О.В., Богданов В.В. Технологические особенности электронно-лучевой сварки // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2022. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskie-osobennosti-elektronno-luchevoy-svarki>.
2. Наказненко П.А., Серегин Ю.Н. Способы управления электронно-лучевой сваркой с помощью видеонаблюдения // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2011. – № 7. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-upravleniya-elektronno-luchevoy-svarkoy-s-pomoschyu-videonablyudeniya>.

МАГНИТНЫЕ ОПОРЫ

Комлягин К.Д.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4А31
e-mail: kdk15@tpu.ru

Магнитные опоры – это устройства, которые используют магнитную силу для подвешивания ферромагнитного тела в пространстве.

Они предназначены для разгрузки фиксирующих подшипников при подвешивании тяжёлых, быстровращающихся деталей – валов, роторов, турбин и т. д.

В 30-х годах прошлого века начались исследования и практическое применение активных электромагнитных подвесов.

Первый радиальный активный магнитный подшипник (АМП) был предложен и испытан Р. Сиксмитом. Но, для обеспечения необходимых характеристик магнитных опор требовались сложные контроллеры и алгоритмы. Поэтому АМП не стали практической альтернативой подшипникам качения.

Работа АМП основана на известном принципе активного магнитного подвеса ферромагнитного тела, рис. 1.

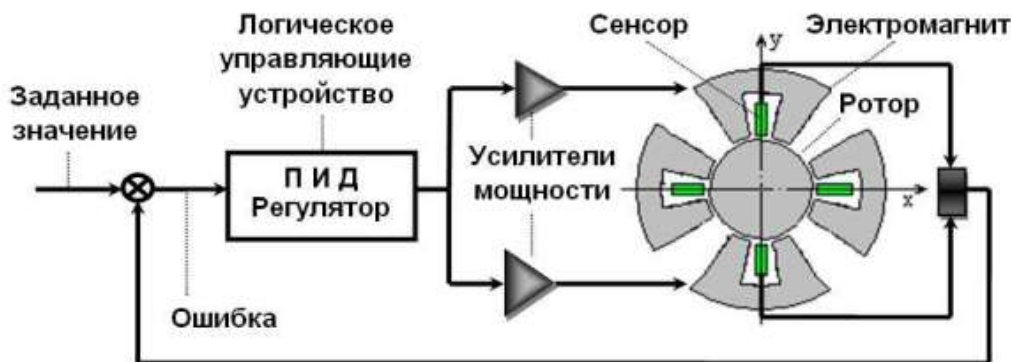


Рис. 1. Схема работы АМП

Стабилизация тела в заданном положении осуществляется силами магнитного притяжения, действующими на тело со стороны управляемых электромагнитов. Токи подаются в обмотки электромагнитов по средствам системы автоматического управления, состоящей из датчиков перемещения (сенсоров), электронного регулятора и усилителей мощности. При смещении ротора из заданного положения сигнал с датчиков обрабатывается регулятором и подается через усилители мощности на электромагниты. Таким образом, ротор позиционируется в заданной точке. При отключенных АМП ротор покоится на вспомогательных (страховочных) подшипниках. Конструктивно АМП состоит из трех основных частей: электромеханической части, или собственно АМП; электронной системы управления; вспомогательных (страховочных) подшипников.

Что касается преимуществ:

- отсутствие механического износа и взаимодействия, что повышает ресурс устройства и позволяет применять его в точных измерительных приборах;
- возможность работы в широком диапазоне частот вращения валов;
- возможность работы в экстремальных условиях и средах;
- нет необходимости использовать смазывающие вещества, что исключает загрязнение перекачиваемого продукта;
- возможность создать герметичную машину;
- высокая энергоэффективность, грузоподъемность и экологичность;

- возможность демпфировать колебания резонансных частот, возникающие в турбоагрегатах в переходных режимах.

Но также присутствуют и недостатки:

- сложность управления магнитным подвесом и возможная неустойчивость работы системы автоматического управления;
- необходимость в страховочных подшипниках;
- необходимость внешнего источника электроэнергии;
- дороговизна в производстве и ремонте;
- нагрев обмоток статора, что увеличивает потери и может требовать систему охлаждения.

Магнитные подшипники

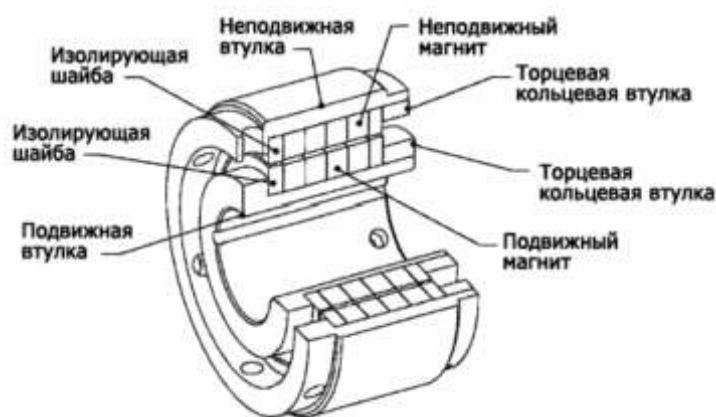


Рис. 2. Конструкция магнитного подшипника

Чаще всего магнитные опоры используются в магнитных подшипниках, которые в свою очередь используются уже в электрических генераторах, в переработке нефти, в работе станков и при передаче природного газа. Также они используются в газовых центрифугах для обогащения урана и в турбомолекулярных насосах. Но не стоит забывать про поезд на магнитной подушке.

В заключение, магнитные опоры – это инновационное технологическое решение, которое нашло широкое применение в различных отраслях промышленности и строительства. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами крепления и могут значительно упростить выполнение различных задач, требующих фиксации металлических деталей.

Список литературы

1. URL: <https://rotordynamics.ru/wp-content/uploads/2022/04/2013-rotornye-sistemy-s-magnitnymi-oporami-i-ih-dinamika.pdf>
2. URL: <https://yandex.ru/search/?text=ферромагнитного+тела&clid=2270457&banerid=6301000000%3A63fa2788da23610ff838f331&win=582&lr=165860>
3. URL: <https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&text=поезд%20на%20магнитных%20опорах>
4. URL: <https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&text=магнитные%20опоры%20 применение>
5. URL: <https://yandex.ru/search?text=магнитные+опоры+схемы&source=tabbar&lr=65>
6. URL: <https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&text=магнитные%20опоры%20схемы>
7. URL: <https://yandex.ru/search/?text=магнитные+опоры+схемы+рисунки&lr=67&clid=2270455&win=582>

ПОДБОРЩИК ПРОСЫПИ: КОНСТРУКЦИЯ, НАЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Кривошеев Д.Ю., студент гр. 4НМ31
НИ ТПУ, 634050, г.Томск, пр. Ленина, 30,
e-mail: dyk17@tpu.ru*

Подборщик просыпи – это конвейер-транспортёр, который используется на ленточных конвейерах для сбора и удаления просыпей (материала, который просыпался с конвейера). Основан на принципе работы скребковых, ковшовых, скребково-ковшовых и др. конвейеров.

Большая часть просыпаний происходит во время работы ленточных конвейеров на их разгрузочных и натяжных станциях, а также по всей длине из-за недостаточной эффективности работ по очистке ленты.

Просыпь может возникать из разных источников. Основной причиной является износ ленты конвейера, когда материал начинает просыпаться между лентой и барабаном. Также просыпь может образовываться из-за некачественного материала, который имеет слишком крупные частицы или содержит много пыли. Кроме того, просыпь может появляться из-за неправильной настройки конвейера или его неисправности.

Конвейерный транспорт существует уже более 100 лет, но подход к проектированию очистительных систем почти не изменился. Применение специализированных очистителей лент или других действенных методов, например, обработка ленты защитными средствами или установка устройства для сбора просыпей под конвейером (подборщик просыпи), может способствовать увеличению срока службы конвейерных лент (стоимость которых составляет более половины от общей цены конвейера), повышению надёжности роlikоопор, сокращению времени простоя, снижению энергопотребления и трудозатрат.

По виду тягового элемента, подборщик просыпи чаще всего является цепным конвейером. Цепной конвейер перемещает грузы с помощью замкнутой цепи. По сравнению с ленточными транспортёрами, он обладает большей прочностью, долговечностью и эффективностью.

Применение цепей в производстве конвейерного оборудования повышает надёжность и грузоподъёмность транспортировочной системы, что позволяет создать износостойкие конвейеры, способные работать в экстремальных условиях. Цепные конвейеры успешно выдерживают большие нагрузки и эффективно функционируют при значительных перепадах температуры.

Включение цепей в конструкцию конвейера при его разработке повышает стоимость производства, но значительно улучшает надёжность приводного механизма и сокращает затраты на обслуживание и ремонт во время использования. Обычно к таким конвейерам можно отнести Z-образные, L-образные и С-образные транспортёры.

Цепные конвейеры включают скребковые, пластинчатые, ковшовые и др. типы. Ленточно-цепной конвейер также относится к этой категории, где лента жёстко соединена с цепями и служит грузонесущим элементом, а тяговое усилие обеспечивается цепями.

Скребково-ковшовые конвейеры сочетают преимущества скребковых и ковшовых конвейеров и используются для перемещения малоабразивных сыпучих материалов с помощью жёстко закреплённых ковшей (в ковшовых конвейерах ковши имеют шарнирное крепление). Они предназначены для транспортировки грузов по сложным маршрутам с вертикальными и горизонтальными участками. Преимущества скребково-ковшовых конвейеров включают возможность бесперегрузочной транспортировки по сложным траекториям и удобство промежуточной разгрузки на горизонтальных и вертикальных участках.

Скребково-ковшовый конвейер обладает следующими недостатками: сложная конструкция и износ трущихся частей (желобов и ковшей).

Скребково-ковшовый конвейер (рис. 1) состоит из двух бесконечных замкнутых тяговых цепей 4 с жёстко закреплёнными призматическими ковшами 5. На горизонтальных участках ковши движутся внутри открытого или закрытого желоба 1, а на вертикальных участках – внутри закрытого направляющего кожуха 7. Цепи проходят через поворотные звёздочки 3, 2, 6. Верхняя приводная звёздочка 3 расположена в конце рабочей ветви, а нижняя натяжная звёздочка 2 – в начале. Жёлоб и кожух поддерживаются опорными металлоконструкциями 8, к которым крепятся направляющие пути 9.

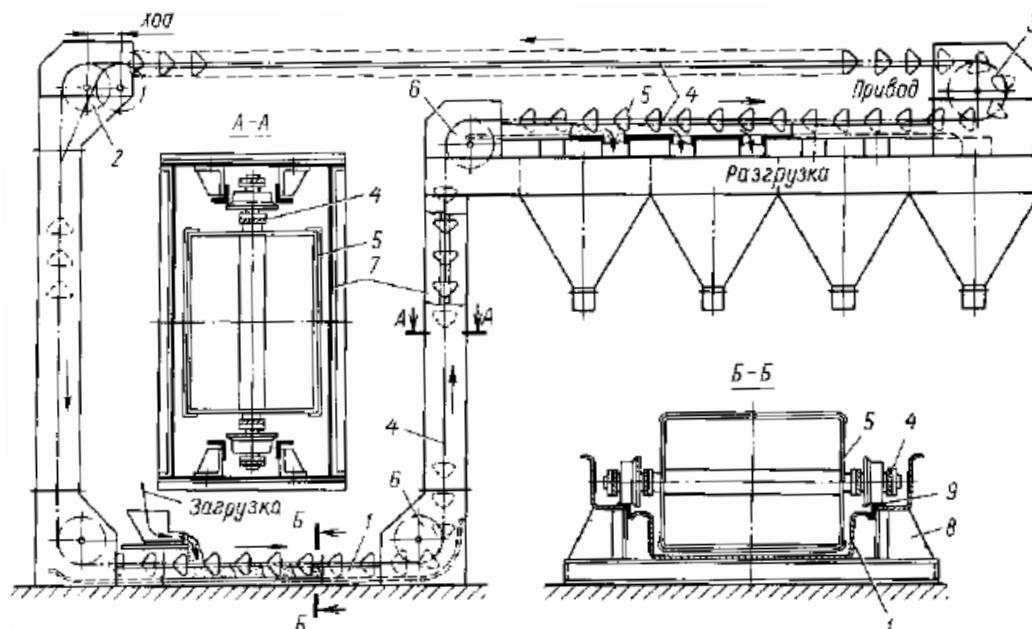


Рис. 1. Схема работы скребково-ковшового конвейера

Насыпной груз, подлежащий транспортировке, загружается в желоб на нижнем горизонтальном участке конвейера. Ковши, двигаясь подобно скребкам, захватывают груз и перемещают его по желобу, как в скребковом конвейере.

В конце нижнего горизонтального участка, когда ковши поворачивают на звёздочках, они автоматически забирают перемещаемый груз и поднимают его вертикально. Затем, при переходе на верхний горизонтальный участок, ковши пересыпают груз обратно в желоб и снова перемещают его, как скребки. Возможен вариант, когда ковши продолжают нести груз на верхнем горизонтальном участке, что обеспечивается их креплением под углом относительно тяговых цепей. Груз может быть выгружен в любой точке верхнего горизонтального участка через отверстия в дне желоба.

К основным элементам подборщика просыпи можно отнести:

- Тяговый элемент: две пластинчатые цепи по ГОСТ 588-81 (чаще используют типа 1 и типа 4).
- Ковши: призматической формы, сварные из листовой стали толщиной 3–6 мм, с углом наклона не менее 45 градусов для свободной разгрузки боковых стенок.

Можно заключить, что для подборщика просыпи наиболее подходит конструкция на основе цепного конвейера за счёт большей прочности, надёжности и долговечности цепей, а также их большей устойчивости в тяжёлых условиях работы – перегрузках, заклиниваниях, резких температурных перепадах и др. В качестве компоновки наиболее удовлетворяет цепной конвейер скребково-ковшового типа, сочетающий в себе особенность работы погружных скребков и ковшей, применяемых на элеваторах. Наибольшие просыпы ленточного конвейера возникают обычно в местах перехода/перегиба станций, поэтому форма подборщика должна соответствовать траектории, по которой материал будет возвращаться обратно на ленту.

Данному условию наиболее соответствует конфигурация С-образного конвейера. Пример компоновки ленточного конвейера с подборщиком просыпи показан на рис. 2.



Рис. 2. Пример компоновки крутонаклонного ленточного конвейера с подборщиком просыпи (DURMEIER)

Согласно аналитическому отчёту «Рынок элеваторов и конвейеров в России 2015–2021», с 2018 года сегмент конвейерного производства стабильно увеличивал объёмы. В 2021 году российские производители выпустили на 62 % больше оборудования, чем в 2020 году. Однако на долю отечественного импорта по-прежнему приходится почти 50 %, включая машины и оборудование, комплектующие и силовые узлы, ленточно-канатные конвейеры, магистральные и стационарные транспортёры большой протяжённости.

В 2023 году российские предприятия произвели 9753 конвейера, что на 29,3 % больше по сравнению с результатами 2022 года. Производство конвейеров в январе 2024 года увеличилось на 43,7 % по сравнению с январём предыдущего года и составило 589,3 единицы.

Таким образом, подборщик просыпи является перспективной разработкой в области конвейерного оборудования, нацеленной на импортозамещение, и содержащей в себе достоинства цепных, скребковых и ковшовых конвейеров.

Список литературы

1. Бибилов П.Я. Очистка конвейерной ленты, взгляд на проблему // ГИАБ. – 2004. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ochistka-konveyernoy-lentyvzglyad-na-problemu>.
2. Кузьмин А.В., Марон Ф.Л. Справочник по расчетам механизмов подъемнотранспортных машин. – 2-е изд, перераб. и доп. – М.: Выш. шк., 1983. – 350 с.
3. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины: учеб. пособие для машиностроительных вузов. 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
4. Пертен Ю.А. Конвейерный транспорт XXI века // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2005. № 1 (1). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konveyernyy-transport-xxi-veka>.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ УКЛАДКИ АРМАТУРНОЙ ПРОВОЛОКИ

Рожков П.Д.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4А12,
e-mail: pdr1@tpu.ru

Установка предназначена для укладки арматурной проволоки на конвейер. Основным механизмом установки является четырехзвенный рычажный механизм (рис. 1, а), состоящий из кривошипа 1, коромысла 3, шатуна 2 и стойки 4. Сила F сопротивления при укладке приложена к точке E касательной к траектории этой точки. В крайних положениях DE' и DE'' коромысла 3 сила F меняет свое направление. Проволока 5 укладывается между штырьками 6 конвейера (рис. 4, в), который движется перпендикулярно плоскости рычажного механизма.

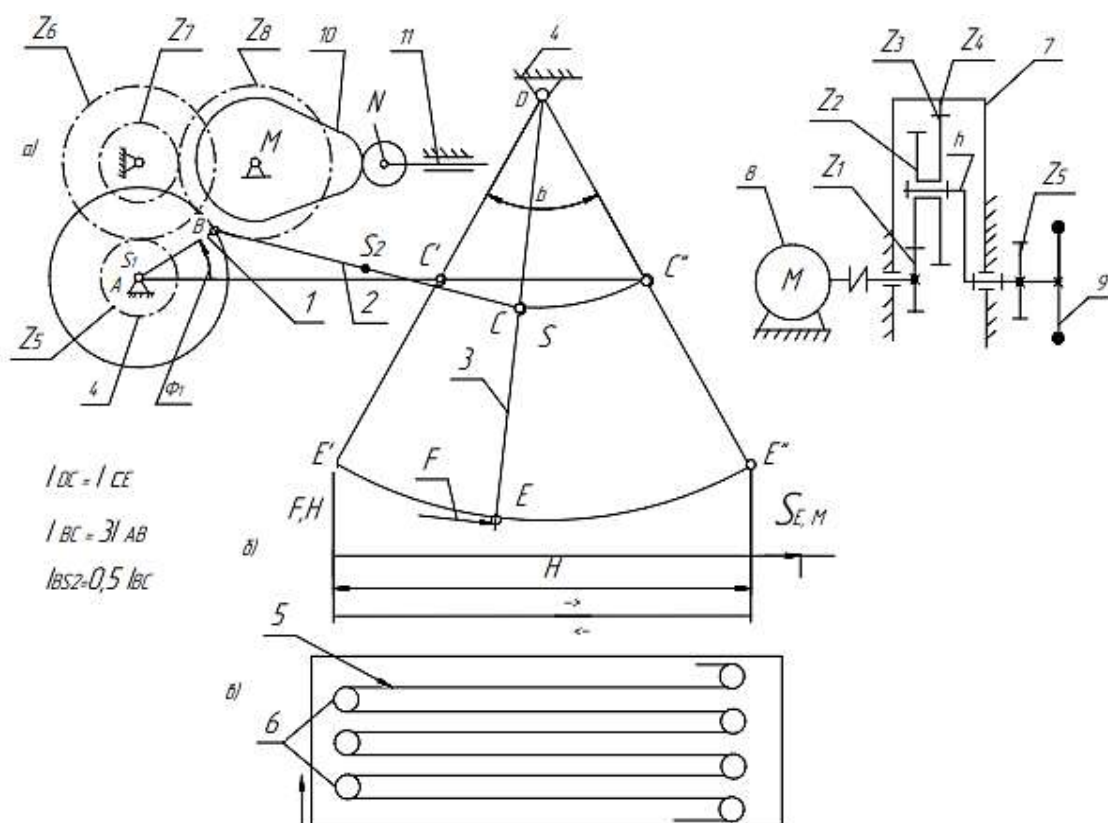


Рис. 1. Механизмы установки для укладки арматурной проволоки

Привод установки состоит из двухрядного планетарного редуктора 7 (число блоков сателлитов $K = 3$, модуль зубчатых колес $m_1 = 2$ мм) и электродвигателя 8 (рис. 1, в). На выходном валу редуктора установлен маховик 9, обеспечивающий требуемый коэффициент неравномерности вращения кривошипа $\sigma = 1/20$.

Кулачковый механизм предназначен для отрезки секции уложенной проволоки. Кулачок 10 жестко связан с зубчатым колесом 7 и получает вращение от кривошипа 1 через зубчатую передачу, состоящую из колес Z_5, Z_6, Z_7 и Z_8 (модуль колес $m = 5$ мм). Закон движения толкателя 11 кулачкового механизма дан на рис. 1, д. Допустимый угол давления в кулачковом механизме $[\theta] = 25^\circ$.

Механизмы установки для укладки арматурной проволоки (например, в строительстве железобетонных конструкций) могут существенно повысить эффективность работы. Рассмотрим основные плюсы и минусы таких механизмов:

Плюсы:

1. Повышение производительности.
2. Точность укладки.
3. Снижение трудозатрат.
4. Уменьшение ошибок.
5. Универсальность.

Минусы:

1. Высокая стоимость.
2. Необходимость в обучении.
3. Сложности в обслуживании.
4. Ограниченная гибкость.
5. Зависимость от электроэнергии или топлива.

В целом, выбор в пользу механизированных установок зависит от масштабов проекта, финансовых возможностей и специфики работы.

Механизмы установки для укладки арматурной проволоки применяются в различных областях строительства, где требуется армирование бетона для обеспечения прочности и долговечности конструкций. Вот несколько основных мест применения:

1. Строительство железобетонных конструкций. Заводы по производству железобетонных изделий (ЖБИ): Для производства предварительно напряжённых и сборных железобетонных элементов, таких как плиты, балки, колонны и панели. Монолитное строительство: При армировании монолитных железобетонных конструкций (например, фундаменты, стены, перекрытия) на строительных объектах.

2. Дорожное и мостовое строительство. Мосты и развязки: Укладка арматурной проволоки используется при армировании бетона для мостовых плит, опор, пролётов и других конструктивных элементов мостов. Автомобильные и железнодорожные пути: Армирование бетонных плит для путей, оснований для автомобильных дорог и других дорожных сооружений.

3. Строительство тоннелей. В тоннелестроении используется армированная бетонная обшивка для обеспечения устойчивости и безопасности конструкций. Механизмы помогают укладывать арматуру в ограниченных пространствах с высокой скоростью.

4. Гидротехнические сооружения. При строительстве плотин, каналов, шлюзов и других объектов водохозяйственного строительства, где требуется армирование бетонных конструкций для повышения их прочности и долговечности.

5. Энергетическое строительство. Армирование бетонных конструкций, таких как фундаменты для тепловых и атомных электростанций, стеновые и перекрывающие элементы для реакторных отсеков.

6. Жилищное и коммерческое строительство. Применение в многоэтажных жилых домах, коммерческих зданиях, торговых центрах и офисных комплексах, где требуется армирование для фундамента, стен, колонн и перекрытий.

7. Складские и промышленные объекты. В производственных и складских помещениях, где необходимо усилить бетонные конструкции для обеспечения высокой грузоподъёмности и устойчивости.

8. Реконструкция и капремонт зданий. В случаях, когда требуется армирование для ремонта или усиления существующих бетонных конструкций, например, укрепление бетонных плит, колонн или стен.

9. Бетонные трубы и кольца. Механизмы могут использоваться для армирования бетонных труб, колодцев и кольцевых конструкций, которые применяются в водоснабжении, канализации и других системах. Механизмы установки арматурной проволоки помогают ускорить процесс, повысить точность и улучшить качество армирования, что особенно важно при выполнении крупномасштабных и сложных строительных проектов.

УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА ЗА СЧЁТ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИИ

*Окороков Е.А., гр. 4А21
ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
e-mail: eao11@tpu.ru*

Червячные редуктора являются неотъемлемой частью многих механических систем благодаря своей способности эффективно преобразовывать и передавать вращательные моменты. Они находят широкое применение в машиностроении, автоматизации, подъемных механизмах и других областях, где необходима передача больших нагрузок с низкой скоростью. Тем не менее, червячные редуктора подвержены ряду проблем, одной из которых является вибрация. Вибрация не только ухудшает производительность редуктора, но и приводит к его преждевременному износу, что негативно сказывается на общей надежности системы.

Вибрация в червячных редукторах может быть вызвана множеством факторов, каждый из которых может оказывать значительное влияние на эксплуатационные характеристики:

1. **Неправильное соосное расположение.** Отсутствие точного выравнивания валов приводит к дополнительным динамическим нагрузкам и, как следствие, к вибрации. Даже малейшие дисбалансы могут вызвать резонансные явления, что может привести к повреждению компонентов. Поэтому особое внимание следует уделять правильной установке редуктора.

2. **Износ компонентов.** Износ рабочих поверхностей, таких как червяки и колеса, изменяет геометрию зацепления, что может вызвать пульсации в передаче момента и дополнительные вибрации. Со временем это приводит к неравномерному распределению нагрузки и увеличивает риск поломок.

3. **Неравномерность материалов.** Дефекты в материалах, используемых для производства червяков и шестерен, также могут стать причиной возникновения вибрации. Наличие микротрещин, пор или других дефектов может вызывать локальные изменения механических свойств, что вредит стабильности работы редуктора.

4. **Несбалансированные нагрузки.** В случае, если нагрузка распределена неравномерно, это может привести к вибрации, негативно влияющей на надежность системы. К примеру, неравномерное распределение нагрузки по осям шестерен может вызвать колебания и резкие изменения в работе редуктора.

5. **Внешние факторы.** Внешние силы, такие как удары, колебания от соседних машин и воздействие других механических систем, также могут способствовать возникновению вибраций в червячных редукторах. Методы снижения вибрации

Снижение вибрации в червячных редукторах требует комплексного подхода, включающего как проектные решения, так и методы эксплуатации. К общим методам снижения вибрации можно отнести:

1. **Качественное проектирование** – на этапе проектирования важно учитывать параметры, способствующие минимизации вибраций. Это включает в себя правильный выбор угла зуба червяка и шестерни, а также расчет геометрии зацепления.

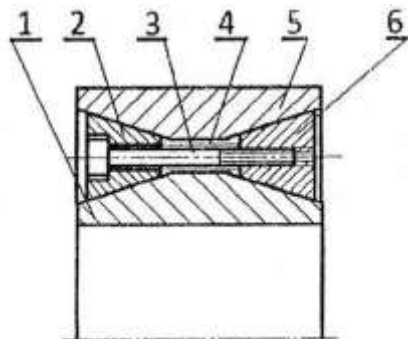
2. **Подбор материалов** – использование высококачественных материалов с лучшими механическими свойствами снижает вероятность возникновения вибрации. Эти материалы также могут быть подвержены специальной обработке для повышения прочности и износостойкости.

3. **Системы балансировки** – установка балансировочных механизмов помогает уменьшить динамические нагрузки и вибрации, обеспечивая более стабильную работу редуктора.

4. **Смазка** – правильный выбор смазки и ее регулярная замена способны снижать трение между компонентами редуктора, что, в свою очередь, помогает уменьшить вибрацию.

5. **Мониторинг состояния** – использование систем вибрационного мониторинга позволяет в реальном времени отслеживать изменения в вибрации и оперативно реагировать на потенциальные проблемы.

6. **Совершенствование подшипниковых узлов.** Например, применение блочно-модульного подшипникового узла скольжения валов редуктора с повышенными виброизолирующими свойствами, обладающего высокой износостойкостью и долговечностью.



*Рис. 1. Радиально-упорный модульно-блочный подшипник скольжения для реверсивного движения:
1 и 5 – внутреннее и наружное кольца; 2 и 6 – части плавающего вкладыша;
3 – регулировочный винт; 4 – дистанционная втулка*

Увеличение надежности червячного редуктора возможно благодаря снижению вибрации, что достигается путем применения современных методов проектирования, правильного подбора материалов, эффективного мониторинга состояния и других технологий. Понимание причин возникновения вибрации и методов их устранения – ключевые аспекты для достижения высокой надежности и долговечности червячных редукторов в различных отраслях. В дальнейшем важно продолжать исследования в этой области для разработки инновационных решений, которые смогут повысить эффективность и эксплуатационные характеристики редукторов.

Список литературы

1. Миндрин В.И., Лачурин Г.В. Виды и причины вибрации энергетических машин [текст] / В.И. Миндрин, Г.В. Пачурин // современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 5. – С. 32–36.
2. Бондаренко В.А., Чукарин А.Н. снижение шума и вибраций редукторов мостовых кранов повышенной грузоподъемности [текст] / В.А. Бондаренко, А.Н. Чукарин // вестник ргата имени П.А. Соловьева. – 2017. – № 2. – С. 308–314.
3. Бондаренко В.А. Снижение шума и вибрации редукторов: специальность 05.26.01 «Охрана труда (в машиностроении)»: Автореферат на соискание кандидата технических наук / Бондаренко, В.А.; «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВПО РГУПС). – Ростов, 2014. – 151 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ САМОУСТАНОВЛИВАЮЩЕЙСЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ С АРОЧНЫМИ ЗУБЬЯМИ

Стариков А.И.¹, Сызранцев В.Н.²

*¹Тюменский индустриальный университет, аспирант, ТМАШа-21-1,
e-mail: starikovai@tyuiu.ru*

*²Тюменский индустриальный университет, профессор кафедры машин и оборудования
нефтяной и газовой промышленности, доктор техн. наук,
e-mail: syzrantsevvn@tyuiu.ru*

Исследуется цилиндрическая передача с арочными зубьями. Арочные зубья нарезаются круговыми резцовыми головками методом обката с периодическим делением.

Прямые, косые и шевронные зубья цилиндрических эвольвентных зубчатых передач имеют линейный характер касания, вследствие чего крайне чувствительны к углу перекоса осей вращения шестерни и колеса [1, 2, 3, 4]. При наличии которого, функция положения в передаче приобретает пилообразную форму [1, 3, 5]. Это приводит к появлению удара при входе зубьев в зацепление, вибрациям и шуму передачи. Площадки контакта выходят на край зуба, возникают концентрации контактных напряжений [1, 2, 4]. Передачи с арочной (криволинейной, круговой) формой зубьев (рис. 1) позволяют обеспечить работоспособность. Исследования данного типа передач продолжаются в настоящее время как в России [2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12], так и за рубежом [1, 6, 13].



Рис. 1. Цилиндрические передачи с арочными зубьями

Основными преимуществами колес с арочными зубьями являются: локализация контакта зацепления их активных поверхностей в продольном и профильном направлениях достигается в процессе изготовления одного из колес; повышенная изгибная прочность арочных зубьев; отсутствие осевых сил в передаче; улучшенные условия смазки; способность к самоустановке колес. Арочные зубья, также как и шевронные позволяют компенсировать угол перекоса путем осевого перемещения (самоустановки) одного из колес. Однако из-за смещения рабочей линии по поверхности арочного зуба в зону с малым углом его наклона, самоустановка колеса существенно ограничена [2, 4]. В качестве решения данной проблемы предложена адаптивная передача [9] с арочными зубьями. Следуя способу [9, 12] образования в зацеплении арочных зубьев двух, разнесенных по их длине, зон контакта, колесо передачи выполняется сборным, состоя-

щим из двух полуколес. Нарезание арочных зубьев выполняется при жестком закреплении полуколес друг относительно друга (рис. 2, а), а при установке полуколес на валу между ними устанавливается упругая прокладка, обеспечивающая смещение контактной линии из среднего сечения арочного зуба в середину зуба (точки M_1 и M_2) каждого из полуколес (рис. 2, б). В результате получается адаптивная передача, подобная шевронной, но с точечным начальным контактом зубьев в зацеплении.

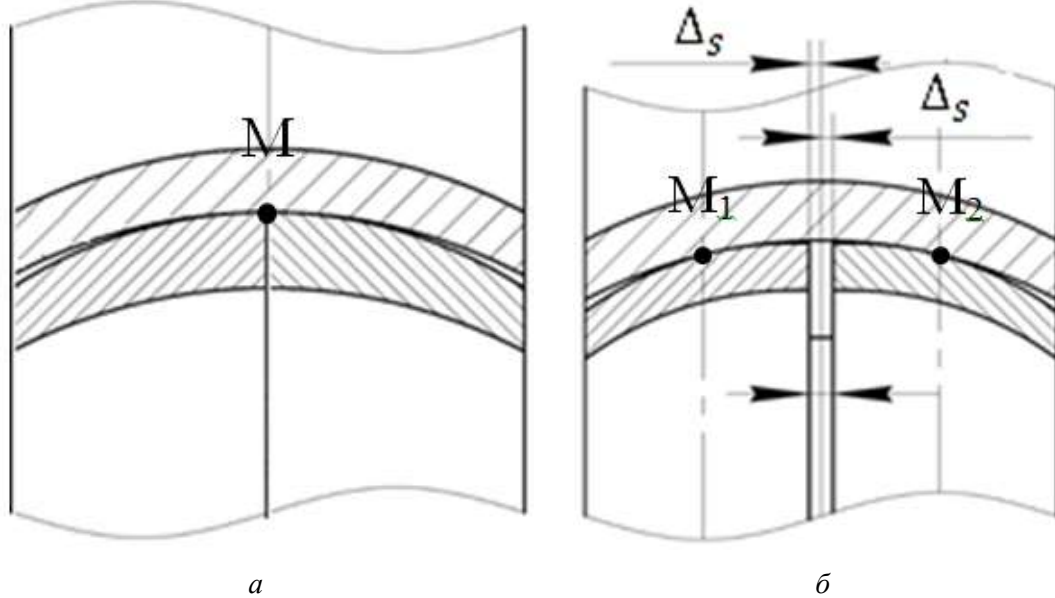


Рис. 2. Схема образования передачи с разнесенными зонами контакта

Определение геометрических параметров и характеристик главных поверхностей арочных зубьев шестерни и колеса осуществляется по результатам работы [8]. Производящая поверхность инструмента (прямого кругового конуса) для нарезания шестерни методом обката с периодическим делением [2, 4, 6, 7, 11], имеют вид уравнения 1 и 2, а для колеса уравнения 3 и 4:

$$x_{p1} = C_1 \cos \vartheta_1; y_{p1} = u_1 \cos \alpha_0; z_{p1} = C_1 \sin \vartheta_1; \quad (1)$$

$$m_{xp1} = \cos \alpha_0 \cos \vartheta_1; m_{yp1} = -\sin \alpha_0; m_{zp1} = \cos \alpha_0 \sin \vartheta_1; \quad (2)$$

$$x_{p2} = C_2 \cos \vartheta_2; y_{p2} = u_2 \cos \alpha_0; z_{p2} = C_2 \sin \vartheta_2; \quad (3)$$

$$m_{xp2} = \cos \alpha_0 \cos \vartheta_2; m_{yp2} = -\sin \alpha_0; m_{zp2} = \cos \alpha_0 \sin \vartheta_2. \quad (4)$$

При формообразовании главной поверхности арочного зуба шестерни резцовая головка согласованно с поворотом заготовки на угол φ_1 (параметр обкатки) вокруг своей оси вращения, математическая модель поверхности принимает вид уравнение 5, а для колеса уравнение 6:

$$\begin{aligned} \tilde{r}_1(u_1, \vartheta_1, \varphi_1) &= \tilde{A}_{1,p1}(\varphi_1) \cdot \tilde{r}_{p1}(u_1, \vartheta_1); \\ \tilde{m}_1(\vartheta_1, \varphi_1) &= \tilde{A}_{1,p1}(\varphi_1) \cdot \tilde{m}_{p1}(\vartheta_1); \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \tilde{f}_1(u_1, \vartheta_1, \varphi_1) &= \tilde{m}_{p1}(\vartheta_1) \cdot \tilde{\bar{V}}_{\varphi_1}(u_1, \vartheta_1, \varphi_1) = 0; \\ \tilde{r}_2(u_2, \vartheta_2, \varphi_2) &= \tilde{A}_{2,p2}(\varphi_2) \cdot \tilde{r}_{p2}(u_2, \vartheta_2); \end{aligned} \quad (6)$$

$$\tilde{f}_2(u_2, \vartheta_2, \varphi_2) = \tilde{m}_{p2}(\vartheta_2) \cdot \tilde{\bar{V}}_{\varphi_2}(u_2, \vartheta_2, \varphi_2) = 0.$$

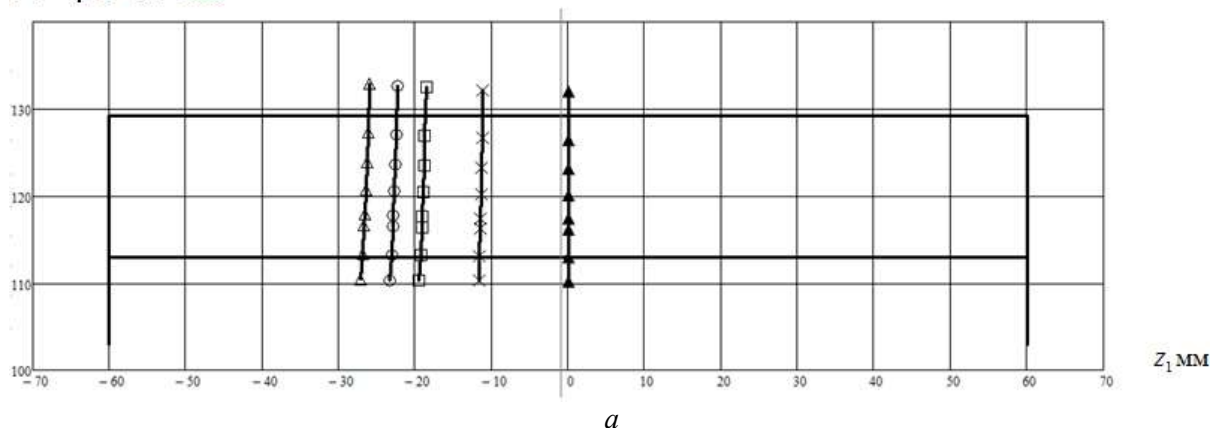
Исследование зацепления арочных зубьев колеса и шестерни связано с решением обратной задачи теории пространственных передач зацеплением [3, 10, 12], обеспечивающей определение координат точек касания активных поверхностей арочных зубьев (точек активной действующей линии) и расчет в этих точках главных приведенных кривизн, характеризующие

плотность прилегания контактирующих поверхностей зубьев. В результате были выведены математические зависимости для анализа геометрических характеристик зацепления арочных зубьев в условиях погрешностей шестерни и колеса в передаче. Система уравнений для решения обратной задачи зацепления при $\varphi_1 = const$ имеет вид, представленный в формуле 7:

$$\begin{aligned}\tilde{r}_1^1(u_1, \vartheta_1, \varphi_1) &= \tilde{D}_{1,2}(\psi_1, \psi_2) \cdot \tilde{r}_2^2(u_2, \vartheta_2, \varphi_2); \\ \tilde{m}_2^2(\vartheta_1, \varphi_1) &= \tilde{D}_{1,2}(\psi_1, \psi_2) \cdot \tilde{m}_2^2(\vartheta_2, \varphi_2); \\ f_1(u_1, \vartheta_1, \varphi_1) &= 0; f_2(u_2, \vartheta_2, \varphi_2) = 0.\end{aligned}\quad (7)$$

Исследование геометрических характеристик зацепления передачи рассмотрим на примере исследования цилиндрической передачи, имеющей следующие параметры: количество зубьев $z_1 = 23$; $z_2 = 73$; модуль $m_n = 10$; коэффициенты смещения $x_1 = 0,44$ и $x_2 = 0,042$; ширина зуба $b_w = 120$ мм; $\alpha_0 = 20^\circ$; радиус начальной окружности $R_{w1} = 116,115$ мм и $R_{w2} = 368,540$ мм; межосевое расстояние $a_w = 484,655$ мм. Рассматриваются два варианта, первый – с высокой локализацией (далее в рисунках позиция а), второй – контакт близкий к линейному (далее в рисунках позиция б). На рис. 3 показаны положения активных действующих линий при не параллельности осей для двух вариантов исследования (рис. 3, а и рис. 3, б).

$$\rho_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}, \text{ мм}$$



$$\rho_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}, \text{ мм}$$

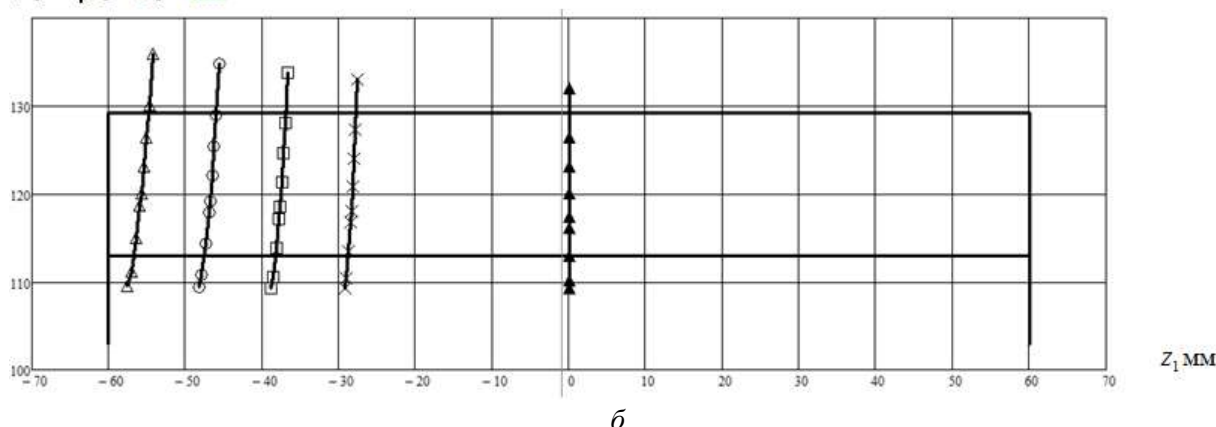


Рис. 3. Активные действующие линии в зацеплении при не параллельности:
 $\eta = 0'$ ($\blacktriangle$); $\eta = 3'$ ($\times$); $\eta = 5'$ ($\square$); $\eta = 6'$ ($\circ$); $\eta = 7'$ (Δ)

На рис. 4 показаны положения активных действующих линий при перекосе осей шестерни и колеса для двух вариантов исследования (рис. 4, а и рис. 4, б).

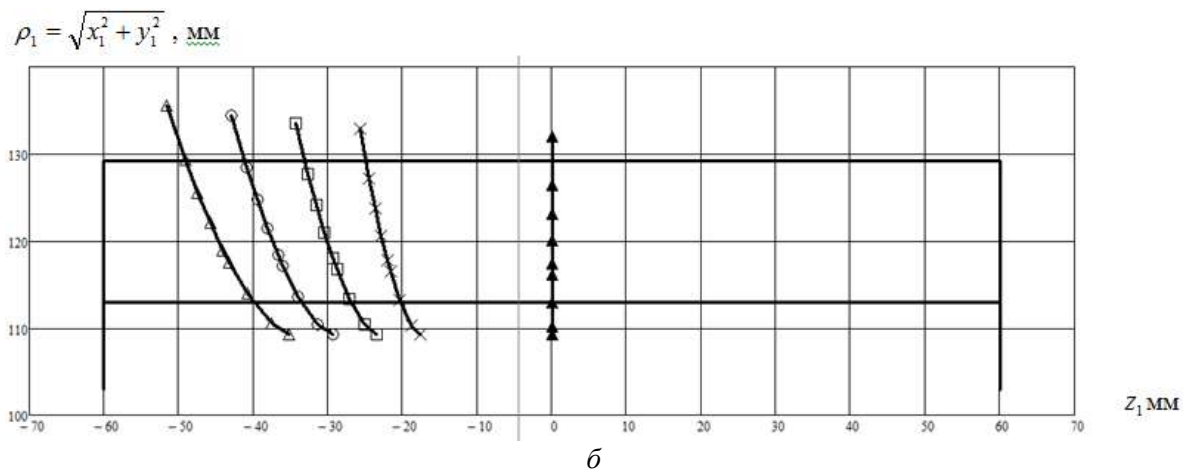
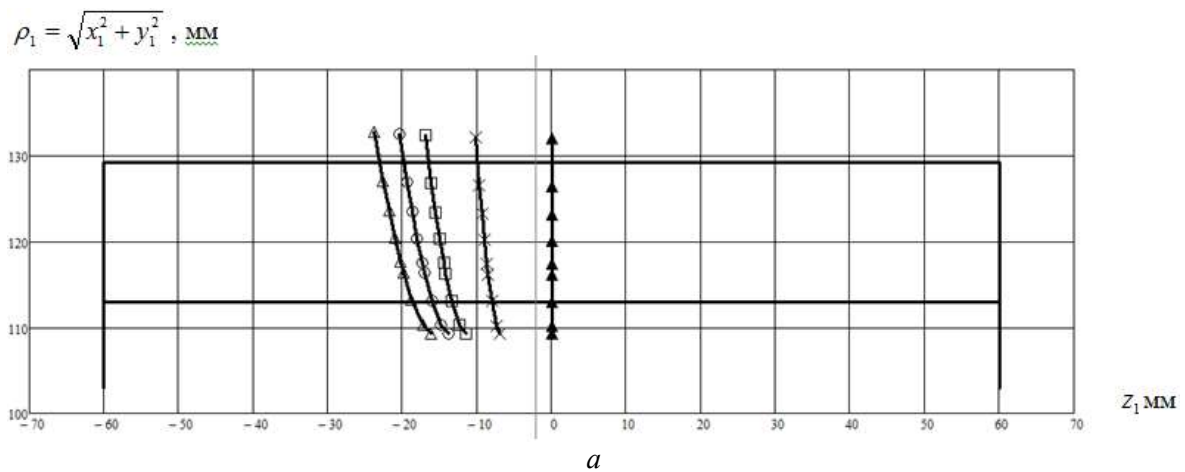


Рис. 4. Активные действующие линии в зацеплении при перекосе осей шестерни и колеса:
 $\gamma = 0'$ ($\blacktriangle$); $\gamma = 3'$ ($\times$); $\gamma = 5'$ ($\square$); $\gamma = 6'$ ($\circ$); $\gamma = 7'$ (Δ)

На рис. 5 показаны положения активных действующих линий при смещении шестерни вдоль оси вращения Δ_5 для двух вариантов исследования (рис. 5, а и рис. 5, б).

На основе анализа данных представленных на рис. 3, 4, 5 можно сделать вывод, что при отсутствии погрешностей ($\eta = \gamma = \Delta_5 = 0$) рабочая линия располагается в среднем торцовом сечении арочного зуба, где угол его наклона $\beta = 0$, а профиль зуба как на шестерне, так и на колесе описывается эвольвентой. Передача является сопряженной, то есть функция положения $\psi_2 = \psi_2(\psi_2)$ является величиной постоянной и представляет собой передаточное отношение передачи, представлено в выражении 8:

$$i = \frac{z_2^*}{z_1^*} = \frac{\psi_1}{\psi_2} = \text{const} \quad (8)$$

Наличии погрешностей взаимного расположения шестерни и колеса в передаче вызывают смещение рабочих линий из среднего сечения арочного зуба и функция положения перестает быть постоянной, передача становится несопряженной, возникает циклическая погрешность зацепления арочных зубьев. Известно, что точки рабочей линии являются центром мгновенной площадки контакта, размеры которой зависят от плотности прилегания поверхностей зубьев в окрестности точки их касания. Рис. 3, 4, 5 показывают, что более плотный контакт зубьев (передача варианта 2) обеспечивает снижение контактной нагрузки в зацеплении, однако при наличии погрешностей приводит к значительному смещению рабочих линий из среднего сечения зуба и выходу площадок контакта на торец зубьев.

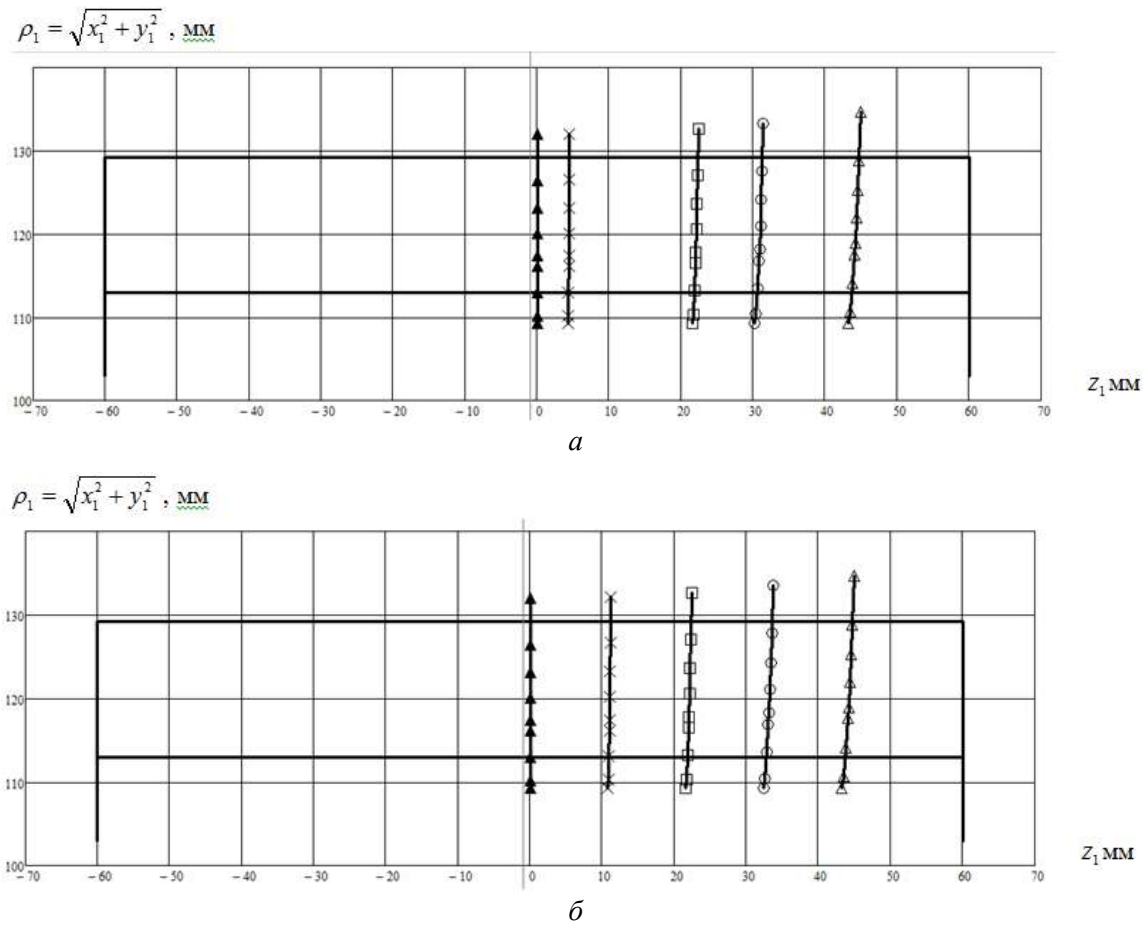


Рис. 5. Активные действующие линии в зацеплении при перекосе осей шестерни и колеса:
 $\Delta_s = 0'$ ($\blacktriangle$); $\Delta_s = 3'$ ($\times$); $\Delta_s = 5'$ ($\square$); $\Delta_s = 6'$ ($\circ$); $\Delta_s = 7'$ (Δ)

Проектируемая цилиндрическая передача за счет самоустановки полуколес адаптируется к полю возникающих погрешностей и изменению внешней нагрузки. Особенностью проектируемой передачи является обеспечение в любой фазе зацепления касания арочных зубьев шестерни и колеса в двух (точки M_1 и M_2), симметрично расположенных относительно среднего сечения зуба, зонах (рис. 2, б). Контакт в середине полуколес, приводит к возникновению в адаптивной передаче двух осевых сил, направленных навстречу друг другу по аналогии с шевронной передачей. Нарушение, равновесия возникающих сил вызывает смещение полуколес вдоль оси вращения относительно друг друга и передача самоуставливается. Для снижения чувствительности передач к погрешностям изготовления, установки и эксплуатации, в общем случае необходима локализация контакта в обоих направлениях – как по длине, так и по высоте зуба. Определим центр пятна контакта (ЦПК) на поверхности арочного зуба, относительно которого рассчитываются границы инерционной зоны касания, необходимой для контроля передачи. В ЦПК мгновенное передаточное отношение передачи равно отношению чисел зубьев колеса и шестерни. В качестве ЦПК на поверхности арочного зуба шестерни зададим для левого и правого полуколеса точки M_1 и M_2 с координатами, выражение 9 и 10 соответственно:

$$z_1 = (u_1, \vartheta_1) = -\frac{b_w}{2}; \sqrt{[x_1(u_1, \vartheta_1, \varphi_1)]^2 + [y_1(u_1, \vartheta_1, \varphi_1)]^2} = R_{w1} \quad (9)$$

$$z_1 = (u_1, \vartheta_1) = +\frac{b_w}{2}; \sqrt{[x_1(u_1, \vartheta_1, \varphi_1)]^2 + [y_1(u_1, \vartheta_1, \varphi_1)]^2} = R_{w1} \quad (10)$$

Дополнив систему уравнений 7 уравнениями 9 и 10, получим систему девяти трансцендентных уравнений при $\gamma = 0$, определим значения $u_1^*, \vartheta_1^*, \varphi_1^*, u_2^*, \vartheta_2^*, \varphi_2^*, u_1^*, \psi_1^*, \psi_2^*, \Delta_s^*$, при ко-

торых активная действующая линия проходит через ЦПК для левого и правого полуколеса в точках M_1 и M_2 соответственно. На рис. 6 и 7 показаны две активные действующие линии (сплошная линия) и границы тормозных зон контакта (пунктирные линии) в зацеплении для цилиндрической передачи с арочными зубьями варианта 1 при перекосе осей шестерни и колеса $\gamma = 0$ и $\gamma = 0,0030$.

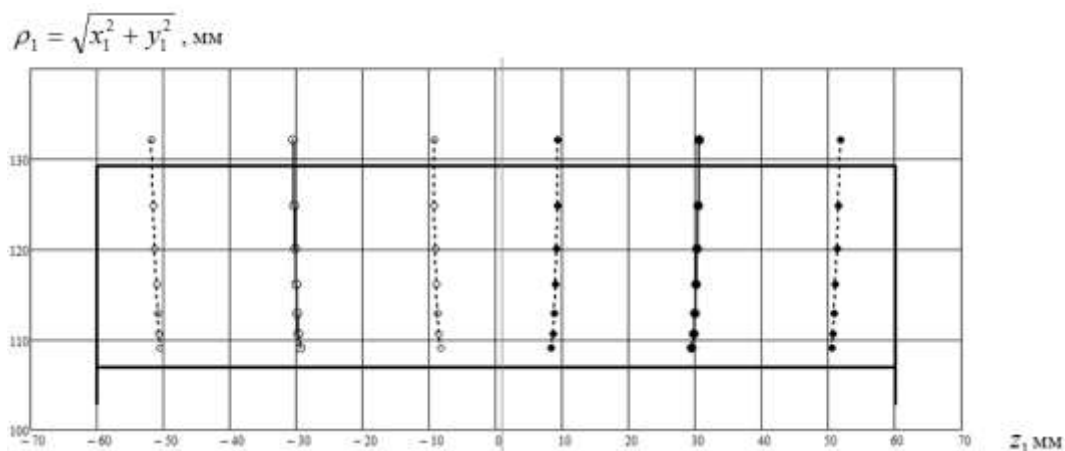


Рис. 6. Рабочие линии (сплошные кривые) и границы тормозных зон контакта (пунктирные линии) в зацеплении арочных зубьев адаптивной цилиндрической передачи (вариант 1) $\gamma = 0$

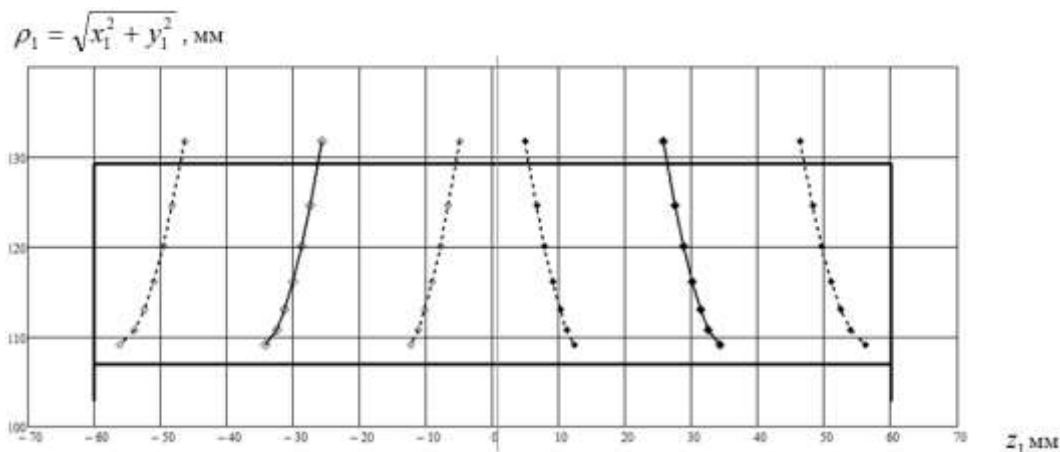


Рис. 7. Рабочие линии (сплошные кривые) и границы тормозных зон контакта (пунктирные линии) в зацеплении арочных зубьев адаптивной цилиндрической передачи (вариант 1) $\gamma = 0,0030$

Рис. 6 и рис. 7 наглядно демонстрируют изменения геометрических параметров контакта в передаче при наличии перекоса арочных зубьев.

Выводы

Используя теорию пространственных зубчатых передач зацеплением построены математические модели процесса формообразования арочных зубьев цилиндрических колес. Рассмотрено зацепление арочных зубьев в условиях наличия угла перекоса и угла непараллельности осей колес, смещения колес в осевом направлении. На основе решения обратной задачи теории передач зацеплением разработаны алгоритмы и программы по расчету координат точек касания арочных зубьев, главных приведенных кривизн в этих точках для различных фаз зацепления при работе передачи в условиях погрешностей взаимного положения шестерни и колеса. Предложен вариант цилиндрической передачи с арочными зубьями, в котором один из ее элементов, например колесо, изготавливается сборным, состоящим из двух полуколес с зеркальной геометрией арочных зубьев. В предложенной передаче зацепление арочных зубьев осуществляется в двух,

расположенных симметрично относительно середины арочного зуба, зонах касания. Разработан алгоритм решения задачи определения необходимых осевых смещений полуколес, обеспечивающий расположение центров пятен контакта полуколес в середине их арочных зубьев. Размещение полуколес на валу с возможностью осевого перемещения обеспечивает самоустановку полуколес и компенсацию негативного влияния погрешностей на работоспособность передачи. Представлены результаты исследования положения активных действующих линий и тормозных зон касания арочных зубьев в самоустанавливающейся передаче при отсутствии и наличии погрешностей взаимного положения шестерни и колеса.

Список используемых источников

1. Alfonso F.-A., Ramon R.-O., Ignacio G.-P. Comparison of spur, helical and curvilinear gear drives by means of stress and tooth contact analyses. *Meccanica*. – Vol.52 – P. 1721–1738. – DOI: 10.1007/s11012-016-0515-y, (2017).
2. Syzrantsev V.N., Syzrantseva K.V.: Cylindrical gears with arched teeth: geometry, strength, reliability. Tyumen Industrial University. Tyumen (2021).
3. Syzrantsev V.N., Syzrantseva K.V.: Formation of arched teeth of cylindrical wheels and geometric-kinematic characteristics of their gears. Tyumen Industrial University. Tyumen (2023).
4. Syzrantsev V.N. Cylindrical Arc Gears: History, Achievements, and Problem. *Mechanisms and Machine Science*. – Vol. 101. – P. 131–151. – DOI: 10.1007/978-3-030-73022-2_6, (2021).
5. Lagutin S.A.: Predetermination of the error function in gears with double modification of teeth. Space of gears: dokl. scientific seminar of the Educational and Scientific Center for Gear Transmissions and Gearbox Engineering, Izhevsk, Izhevsk State Technical University. – P. 26–37 (2001).
6. Arafa H.A. C-gears: geometry and machining, Part C. *Journal of Mechanical Engineering Science*. – Vol. 219. – No. 7. – P. 709–726, (2005).
7. Bochkova D. E., Bobkov M. N., Zolotova S. A. Processing circular teeth of a pair of cylindrical wheels with a localized contact zone. *News of the Tula State University, Technical science*. – Vol. 5. – P. 344–349, (2020).
8. Syzrantsev V., Starikov A. Modeling of Generating Cylindrical Gear Arc Teeth Shaping Processes. Radionov A.A. (edt), Gasiyarov V.R. (edt). *Proceedings of the 9th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Cham, Springer, DOI: doi.org/10.1007/978-3-031-38126-3_6, (2023).
9. Syzrantsev VN, Syzrantseva KV, Vibe VP, Denisov YuG Adaptive spur gear with arched teeth, pat. 2721579 Russian Federation, MPK F 16 N 1/06. Firm «STEK» Limited Liability Company, Kurgan. (2020).
10. Syzrantsev V., Syzrantseva K. The Arc Teeth Semi-rolled Cylindrical Gear Meshing Geometry. *Acta Polytechnica Hungarica*. – Vol. 19. – No. 2. – P. 173–192, (2022).
11. Parshin A.N.: Manufacturing of cylindrical wheels with arched teeth and cutting heads on CNC machines and experience in their manufacture. Goldfarb V.I. (under scientific. ed) *Theory and practice of gear transmissions: collection of articles of the International symposium*, Izhevsk, Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov. – P. 151–159 (2014).
12. Syzrantsev V.N.: Cylindrical Gears with Contact Areas Distributed Along the Arc Teeth Length. *Messenger of the Izhevsk State Technical University named after M.T Kalashnikov*. – Vol. 24. – No. 2. – P. 33–39. – DOI: 10.22213/2413-1172-2021-2-33-39, (2021).
13. Arafa H.A., Bedewy M.: Manufacturability and viability of different c-gear types: a comparative study. *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, Chicago. – Vol. 5. – p. 381. – DOI: 10.1115/DETC2012-71030 (2012).

СЕКЦИЯ 2
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И МЕХАТРОНИКА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАТРОННОГО УДАРНОГО СТЕНДА

Попов А.Н.¹, Полищук М.Н.², Решетов Д.В.³

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
ВШАуР, доцент,
e-mail: porka.n@mail.ru

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
ВШАуР, доцент,
e-mail: polishuck@mail.ru

³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
ВШАуР, аспирант,
e-mail: pvclo1@yandex.ru

В работе исследуется мехатронный испытательный ударный стенд с пневматическим приводом типа СМУ600. Кинематическая схема ударной машины стенда, принципы работы которой описаны в [1, 2], приведена на рис. 1. Отличительной особенностью конструкции машины являются узлы направляющих ударного стола 3 и приводных пневматических цилиндров 5, изготовленных в виде единых модулей.

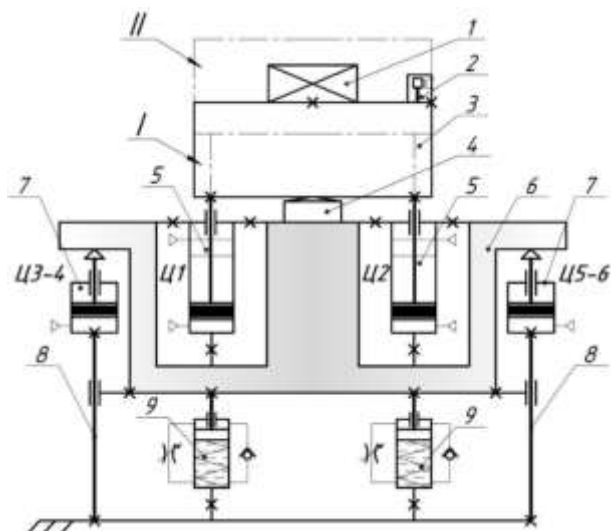


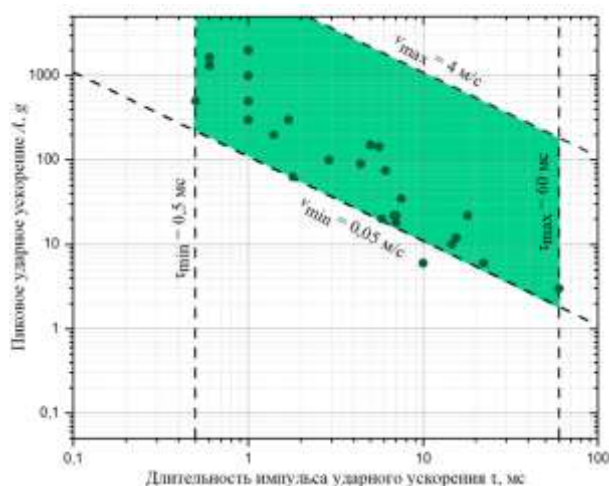
Рис. 1. Схема ударной машины стенда СМУ600:

- 1 – испытуемое изделие; 2 – вибропреобразователь; 3 – ударный стол;
4 – формирователь импульсов ударного ускорения; 5 – приводной пневматический цилиндр;
6 – инерционный блок (ИБ); 7 – пневматический цилиндр подвески; 8 – направляющие ИБ;
9 – пневмогидравлический демпфер

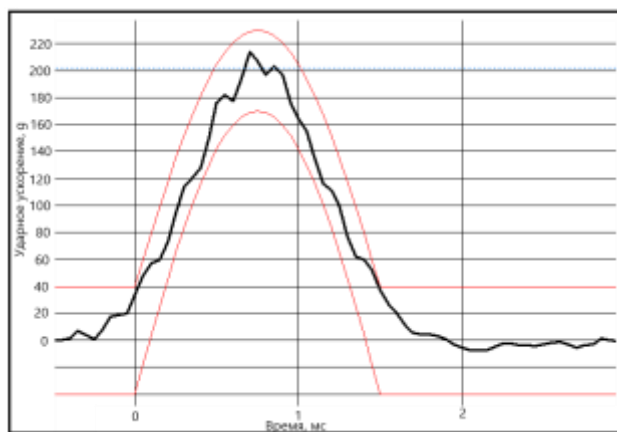
По результатам пробных ударов, выполненных с использованием формирователей различных типов (пример импульса ускорения представлен на рис. 2, б), была построена рабочая диаграмма стенда (рис. 2, а), ограниченная минимальной и максимальной длительностями импульса ударного ускорения τ , оцененными на основании практики испытаний и регламентирующих стандартов [4], с одной стороны, с другой – экспериментальными значениями предельных скоростей ударного стола v . Связь между параметрами импульса ударного ускорения и скоростью ударного стола определялась по выражению [5]

$$v = \frac{m + M}{M} \cdot \frac{A\tau}{\pi - 2\arcsin(0,1)} \quad (1)$$

где A – пиковое ударное ускорение; m – масса ударного стола, M – масса ИБ; τ – длительность импульса ударного ускорения.



а



б

Рис. 2. Результаты экспериментов на стенде СМУ600:
а – рабочая диаграмма; б – типовой импульс ударного ускорения

Минимальная и максимальная скорости стола зависят от компоновки, технических характеристик и режимов работы пневмоавтоматики, входящей в состав мехатронного привода ударной машины. В стенде СМУ600 скорость стола перед соударением с формирователем импульса ускорения была определена экспериментально и варьировалась в диапазоне от 0,05 до 4,0 м/с. Зона ограничения по скоростям построена при подстановке этих значений в формулу (1).

Экспериментальные значения сочетаний A и t , расположенные вдоль вертикальных и горизонтальных линий, обусловлены использованием в качестве формирователей широкой номенклатуры материалов, применяемых на практике: полиуретановых композиций, сополимеров полиэтилентерефталата, полиацетали, эластомеров, нетканых материалов и др.

Полученные импульсы ударного ускорения попадают в область рабочей диаграммы, определяемую теоретической формулой (1). Отсутствие экспериментальных точек сочетаний A и t , на прямой $v = 4$ м/с говорит о том, что в процессе экспериментов, с учетом требований заказчика стенда, предельная скорость ударного стола не была достигнута и есть запас.

Ударный стенд серии СМУ600 позволяет воспроизводить импульсы ударного ускорения в широком диапазоне перегрузок: 3...2000 g и длительностей ударного воздействия: 0,5...60 мс, что соответствует достигнутому техническому уровню в лучших образцах ударных стендов.

Список литературы

1. Bin W., Chengwu L., Jingjing W. The optimized algorithm for working parameters of the vertical impact testing machine. Paper presented at the ICEMI 2017 – Proceedings of IEEE 13th International Conference on Electronic Measurement and Instruments, 2018-January. – 2017. – P. 424–430.
2. Polishchuck M.N., Popov A.N., Reshetov D.V. Mathematical model of shock machine. Advances in Mechanical Engineering, LNME, P. 86–96, 2022.
3. ГОСТ Р ИСО 8568-2010 Стенды ударные. Заявление и подтверждение характеристик.
4. Попов А.Н. Моделирование удара на универсальном вертикальном стенде типа СМУ500 / А.Н. Попов, М.Н. Полищук, Д.В. Решетов // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2024. – № 13. – С. 422–433. – DOI 10.18720/SPBPU/2/id24-112.
5. Попов А.Н. Моделирование работы горизонтального ударного стенда / А.Н. Попов, М.Н. Полищук, Д.В. Решетов // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2023. – № 12. – С. 336–349. – DOI 10.18720/SPBPU/2/id23-543.

ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ДЕМПФЕР НА ОСНОВЕ ТРАБЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ

Коптев И.К.¹, студент группы 4АМ4К ИШНПТ ТПУ

Ермаков Д.В.², к.т.н., доцент ОМШ ИШНПТ ТПУ

Дерусова Д.А.³, д.т.н., заведующий лабораторией ЛЛВМ ЦПТ ИШНКБ ТПУ

НИ ТПУ, РФ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

¹*e-mail: ikk9@tpu.ru,*

²*e-mail: dvermakov@tpu.ru,*

³*e-mail: red@tpu.ru*

Вибрация и шум негативно влияют на износ электромеханических устройств (ЭМУ) и снижают их срок эксплуатации, а также являются вредным производственным фактором оказывая негативное влияние на здоровье операторов. В связи с этим, снижение виброактивности ЭМУ является важной и актуальной научно-технической задачей.

В некоторых случаях для снижения виброактивности ЭМУ предлагается использовать твердотельные демпфирующие материалы. Данные материалы способны рассеивать энергию при упругой деформации под воздействием приложенной нагрузки в течении длительного времени. В тоже время для эффективного снижения виброактивности в диапазоне рабочих частот вращения ротора ЭМУ необходимо подбирать геометрию конструкции демпфера и материал, обладающий подходящими механическими свойствами.

Системы автоматизированного проектирования (САПР) позволяют создавать конечно-элементные модели демпфирующих элементов сложной конфигурации и проводить численное моделирование механических процессов, возникающих при работе ЭМУ с демпфером. Это позволяет снизить количество натурных испытаний и создать твердотельный демпфер оптимальной конфигурации для снижения виброактивности определенного спектрального состава, исходя из особенностей функционирования конкретного ЭМУ.

Исследования в области медицины показали эффективность сдерживания нагрузок и механических возмущений с использованием трабекулярных структур, составляющих основу костной ткани. Такие структуры имеют неоднородную пористую форму и неравномерно распределены в объеме кости. На рис. 1, а приведен пример трабекулярной структуры костной ткани. Детальный вид показывает особенности строения трабекул: наличие структур в виде пучков, стоек и стержней. Имея 3D-модель трабекулярной структуры можно создать конечно-элементную модель (рис. 1, б, в) для проведения дальнейшего анализа и воспроизводства методом 3D-печати.

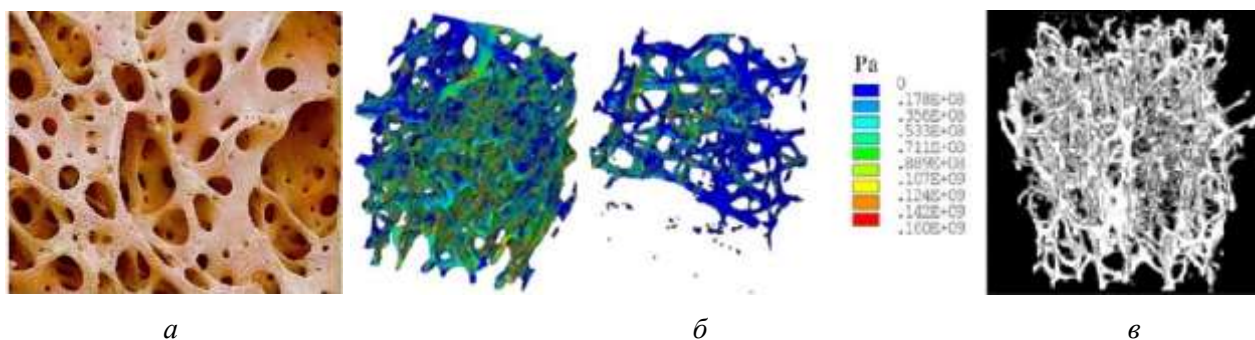


Рис. 1. Примеры трабекулярных структур:

а – детальный вид костной ткани, б – расчетная модель демпфера с трабекулярной структурой, в – 3D-модель демпфера

Поскольку трабекулы в объеме кости расположены не линейно, они воспринимают как вертикальные, так и горизонтальные нагрузки ослабляя при этом динамическое воздействие на костную ткань. Из этого следует предположение, что трабекулярная структура может

применяться для создания твердотельных демпферов. В частности, изменение геометрии трабекулярной структуры позволит перераспределить вибрационную нагрузку в своем объеме и регулировать уровень остаточной виброактивности.

Несмотря на то что, в настоящее время на рынке САПР присутствуют различные CAD-системы, отличающиеся между собой как по функциональности, так и по стоимости, применить САПР для реализации существующей идеи построения демпфера на основе трабекулярной структуры, не представляется возможным. В связи с этим, в качестве материалов, аналогичных по строению с трабекулярными структурами, предлагаются пенометаллы. Данные материалы сочетают в себе и удельную жесткость, и способность диссипировать в своем объеме энергию, а, следовательно, подходят для создания твердотельных гасителей вибрационных колебаний.

В настоящей работе для создания твердотельного демпфера, имеющего пористую структуру, схожую с трабекулярной, предлагается использовать пеноалюминий. Разработанный макет твердотельного демпфера (рис. 2, а) содержит основание для крепления ЭМУ, фрагмент гасителя колебаний на основе пеноалюминия и крепежные детали, как показано на рис. 2, б.

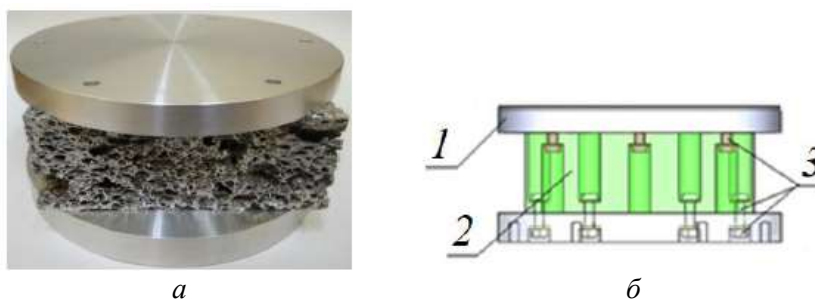


Рис. 2. Фотография (а) и 3D-модель (б) макета твердотельного демпфера:
1 – основание крепления ЭМУ, 2 – фрагмент гасителя колебаний на основе пеноалюминия,
3 – крепежные детали макета

Разработанный макет твердотельного демпфера подвергнут виброиспытаниям для снижения виброактивности ЭМУ в рабочем диапазоне частот вращения ротора. Демпфирование уровня виброактивности оценивалось по расчетному коэффициенту эффективности:

$$K_{\text{эфф}} = \frac{A_{\text{Демп}}}{A_{\text{ЭМУ}}},$$

где: $A_{\text{ЭМУ}}$ – среднеквадратичное значение амплитуды виброперемещения на установочной поверхности ЭМУ без демпфера; $A_{\text{Демп}}$ – среднеквадратичное значение амплитуды виброперемещения на установочной поверхности демпфера (с установленным ЭМУ).

В результате исследования получена зависимость коэффициента эффективности от частоты вращения ротора ЭМУ (рис. 3).

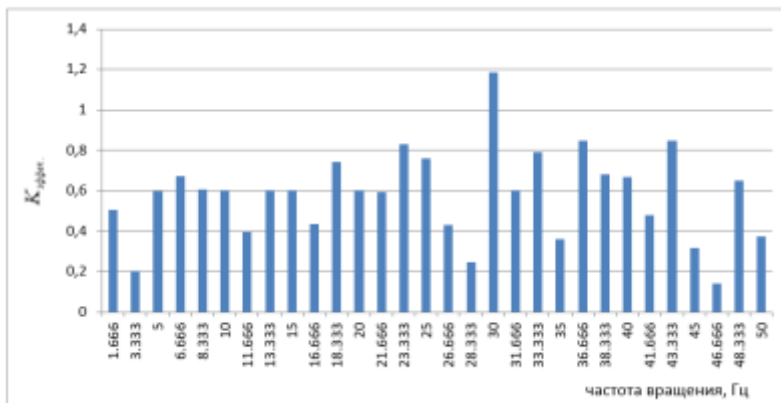


Рис. 3. Изменение коэффициента эффективности от частоты вращения ротора ЭМУ

Как видно из рис. 3, значение $K_{\text{эффек}}$ преимущественно не превышает 1, что подтверждает снижение виброактивности ЭМУ за счет использования предложенного решения. Это позволяет сделать вывод о том, что твердотельный демпфер на основе пеноалюминия, имеющий структуру, подобную трабекулярной, способен снизить уровень виброактивности ЭМУ.

Благодарности: Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 23-79-10107.

Список литературы

1. Гаврилин А.Н., Дмитриев В.С., Ермаков Д.В., Дерусова Д.А. Снижение виброактивности вентилятора системы жизнеобеспечения нефтегазовых станций // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 11. – С. 128–137. – DOI: 10.18799/24131830/2023/11/4293.

РАСЧЕТ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ НАСТРАИВАЕМОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НЕСТАЦИОНАРНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Кулеш Ю.О.¹, Беляускене Е.А.², Боловин Е.В.³

¹СТИ НИЯУ МИФИ, гр. Д-554,

e-mail: yok13@tpu.ru;

¹ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ОАР/ИШИТР, инженер,

e-mail: yok13@tpu.ru;

²ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ОММФ/ИЯТШ, старший преподаватель,

e-mail: eam@tpu.ru;

³ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ОЭЭ/ИШЭ, доцент,

e-mail: orange@tpu.ru

Информационно-измерительная система (ИИС) нестационарного динамического объекта представляет собой комплекс технических средств и программного обеспечения, предназначенный для автоматического получения, обработки и представления информации о состоянии и характеристиках объекта, который изменяется во времени. Разработка моделей ИИС является необходимым условием для повышения эффективности, надежности и точности работы таких систем [1]. Модели позволяют выявлять зависимости между переменными, прогнозировать поведение систем в условиях изменяющихся параметров и внешних воздействий, адаптироваться к изменяющимся условиям, оптимизировать ресурсы и обеспечивать высокое качество измерений и управления процессами в реальном времени. Одним из наиболее распространенных методов моделирования ИИС нестационарных динамических объектов является построение и настройка регрессионных моделей методом наименьших квадратов (МНК). Проверка адекватности построенной регрессионной модели является важным этапом в статистическом анализе и позволяет определить, насколько хорошо модель описывает эмпирические данные и может ли она быть использована для прогнозирования [2].

Работа посвящена исследованию на адекватность и сравнению между собой трех регрессионных моделей. Для создания моделей использовались данные ($N=1023$ замеров, что соответствует рациональной рекомендации $N > 200$ [3, с. 101, 102]), снятые с датчика тока одной из фаз электродвигателя АМ с ФЗ МТН011-6У1, справочные данные которого внесены в табл. 1.

Таблица 1

$P_{\text{ном}}, \text{Вт}$	$n_{\text{ном}}, \text{об/мин}$	$I_{\text{ном стат}}, \text{А}$	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	$I_{\text{ном рот}}, \text{А}$	$U_{\text{ном рот}}, \text{В}$	КПД, %	$\cos\varphi$
1400	890	4,9	220/380	8,8	114	65	0,67

На основании визуальной оценки зависимости тока от времени (рис. 1) были выбраны модели из класса многочленов Фурье:

$$F_1(A_1, B_1, t) = A_1 \sin(\omega t) + B_1 \cos(\omega t), \quad (1)$$

$$F_2(A_1, B_1, A_2, B_2, t) = A_1 \sin(\omega t) + B_1 \cos(\omega t) + A_2 \sin(3\omega t) + B_2 \cos(3\omega t), \quad (2)$$

$$F_3(A_1, B_1, A_2, B_2, A_3, B_3, t) = A_1 \sin(\omega t) + B_1 \cos(\omega t) + A_2 \sin(3\omega t) + B_2 \cos(3\omega t) + A_3 \sin(5\omega t) + B_3 \cos(5\omega t), \quad (3)$$

где угловая частота $\omega = 2\pi f$, $f = 50 \text{ Гц}$.

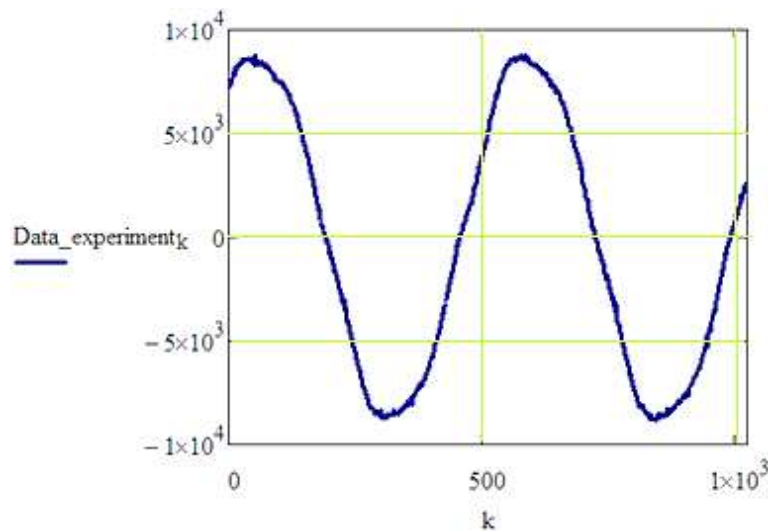


Рис. 1. Данные, полученные с датчика тока

Коэффициенты регрессионных моделей были получены с использованием метода наименьших квадратов (МНК) и проекционного алгоритма Качмажа.

Оценка качества построенных моделей выполнена на основе анализа регрессионных остатков. Оценки коэффициентов, полученных по методу наименьших квадратов, являются состоятельными, несмещенными и эффективными, если остатки $\varepsilon_k = y_k - \hat{y}_k$, где y_k – эмпирические данные, $\hat{y}_k$ – данные, рассчитанные по модели, независимы и подчиняются нормальному закону распределения с математическим ожиданием $E[\varepsilon_k] = 0$. Начинать анализ адекватности построенной модели следует с проверки гипотезы о нормальном распределении остатков. В настоящем исследовании на основании визуального анализа гистограммы и выборочной функции распределения, правила трех сигм, сравнения средних (мода, медиана, математическое ожидание) и критерия Пирсона был сделан вывод о том, что нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу на уровне значимости $\alpha = 0,98$. Гипотеза о равенстве математического ожидания остатков нулю согласуется с эмпирическими данными (уровень значимости $\alpha = 0,95$) на основании критерия о равенстве математических ожиданий эмпирических данных и данных, полученных по формулам (1)–(3) (дисперсии неизвестны, гипотеза о равенстве дисперсий принимается по критерию Фишера) [4].

Коэффициент детерминации является статистической мерой для оценки качества регрессионной модели и показывает, какая доля вариации зависимой переменной объясняется независимыми переменными в модели

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \hat{y}_k)^2}{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}, \quad (4)$$

где y_k – эмпирические данные, $\hat{y}_k$ – данные, рассчитанные по модели, $\bar{y}$ – математическое ожидание.

Коэффициент детерминации может принимать значения от 0 до 1, при этом значение:

- $R^2 > 0,8$ указывает на хорошее соответствие модели эмпирическим данным;
- $R^2 > 0,5$ означает удовлетворительное соответствие модели;
- $R^2 < 0,5$ указывает на то, что модель плохо объясняет данные и может быть неэффективной.

Вычисленные значения коэффициента детерминации для моделей представлены в табл. 2.

Таблица 2

Модель	1	2	3
Значение R^2	0,994	0,995	0,996

Анализ остатков каждой модели показал, что они распределены случайным образом вокруг нуля, не демонстрируют систематических отклонений или паттернов, что подтверждает правильность выбранной формы моделей и отсутствие гетероскедастичности. Все три модели обеспечивают надежные результаты и могут быть использованы для управления диагностики и идентификация параметров электродвигателем в различных режимах работы. Высокое качество предсказаний позволяет использовать эти модели для оптимизации процессов управления и повышения эффективности работы электроприводов. Апостериорная проверка косвенно показала справедливость принятого допущения по рекомендации выбора размера выборки $N > 200$ [3].

Список литературы

1. Ефименко С.В., Татаринов Д.Е., Клавдиев А.А., Трушников В.Е. Обоснование метода оценки адекватности моделей режимов работы асинхронных электродвигателей с векторной системой управления. – Текст: электронный // ГИАБ. – 2017. – № 2. – URL: https://giab-online.ru/files/Data/2017/2/62_74_2_2017.pdf (дата обращения: 18.11.2024).
2. Боловин Е.В. Критический экспертный анализ методов идентификации параметров асинхронных двигателей. – Текст: электронный // Научный вестник НГТУ. – 2015. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriticheskiy-ekspertnyy-analiz-metodov-identifikatsii-parametrov-asinhronnyh-dvigatelay> (дата обращения: 18.11.2024).
3. Сажина О.С. Основы математической обработки наблюдательных и экспериментальных данных для астраномов. – Текст: электронный // ГИАБ. – 2020. – URL: https://www.sai.msu.ru/ao/speccourses/posobiya/Sazhina_MON2021.pdf (дата обращения: 18.11.2024).
4. Глазырин А.С. и др. О рациональной размерности базиса регрессионной модели для задачи адаптивного краткосрочного прогнозирования состояния дискретной нестационарной динамической системы. – Текст: электронный // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – № 11. – URL: <https://izvestiya.tpu.ru/archive/article/view/4482> (дата обращения: 19.11.2024).

РАЗРАБОТКА ПИД-КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО МАНИПУЛЯТОРА

Авад П.А.¹, Мамонова Т.Е.²

¹ТПУ, ИШИИЭС, гр. 6ВМ41ПИШ,

e-mail: paa13@tpu.ru

²ТПУ, ИШИИЭС, к.т.н., доц.,

E-mail: steppe@tpu.ru

Введение

Целью данной работы является создание модели роботизированного манипулятора и разработка ПИД-контроллера для управления его движением с использованием программная среда. Эти программные среды позволяют строить точные физические модели, обеспечивая реалистичное моделирование манипулятора и эффективное внедрение системы управления. Этапы работы включают проектирование модели, настройку ПИД-контроллера, симуляцию движений и анализ результатов.

Роботизированные манипуляторы широко применяются в промышленности, медицине и научных исследованиях для выполнения высокоточных задач, таких как сборка, сварка и упаковка. Для качественного выполнения этих задач требуется точное управление движением звеньев [1] и суставов, что можно реализовать через ПИД-контроллеры. ПИД-контроллер обеспечивает корректировку отклонений от заданной траектории в реальном времени, улучшая точность и стабильность работы манипулятора на рис. 1.

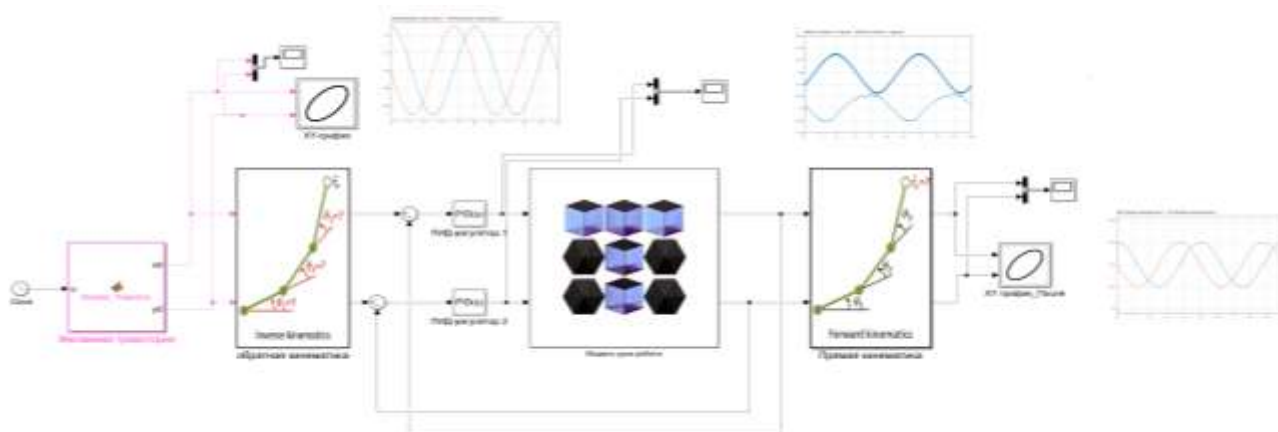


Рис. 1. Модели роботизированного манипулятора и разработка пид-контроллера для управления его движением с использованием программная среда

Основы электромеханики и мехатроники, особенности роботизированных манипуляторов

В данном разделе описываются основные принципы электромеханики и мехатроники, которые лежат в основе проектирования и управления роботизированными системами. Электромеханика изучает процессы преобразования электрической энергии в механическую и наоборот, что является основой для работы электроприводов в роботах. Мехатроника, в свою очередь, объединяет механические, электрические и компьютерные компоненты для создания высокоточных систем управления движением на рис. 2.

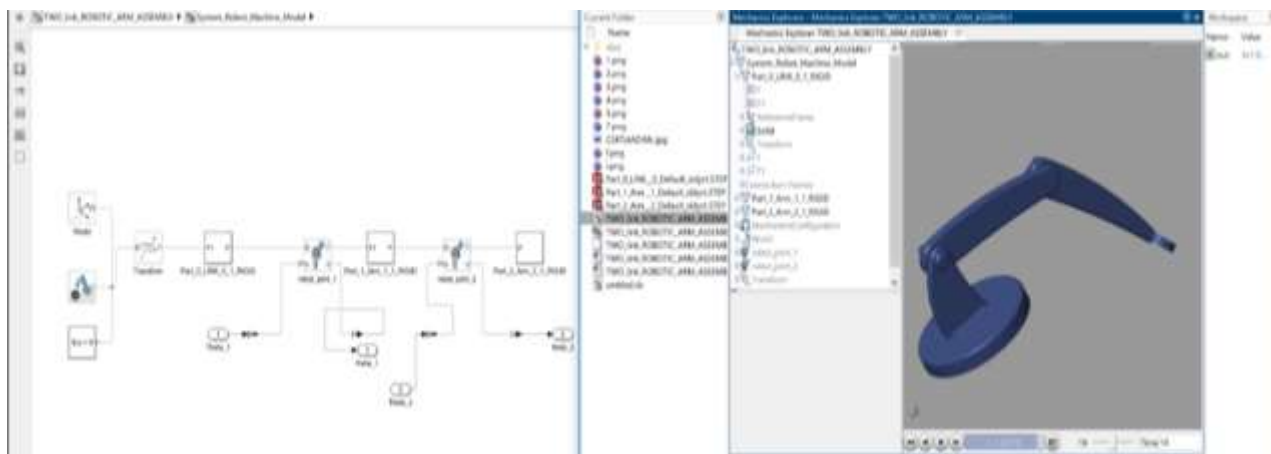


Рис. 2. Конструкции и управления роботизированными манипуляторами

Создание модели манипулятора в программная среда для моделирования

Проектирование 3D-модели роботизированного манипулятора и его составных частей. На этом этапе разрабатывается виртуальная 3D-модель манипулятора с использованием инструментов программная среда для моделирования и симуляции инженерных систем на рис. 3. Сначала создаются основные компоненты, такие как звенья и суставы манипулятора. Каждое звено моделируется с учетом его физических характеристик, таких как длина, масса и центр тяжести. Затем моделируются кинематические связи между звеньями, что позволяет задать структуру робота и его подвижность. Эта модель в программная среда для моделирования и симуляции инженерных систем станет основой для тестирования [2] различных контроллеров и проведения симуляций. В результате создается виртуальный аналог роботизированного манипулятора, который можно исследовать в условиях, максимально приближенных к реальным.

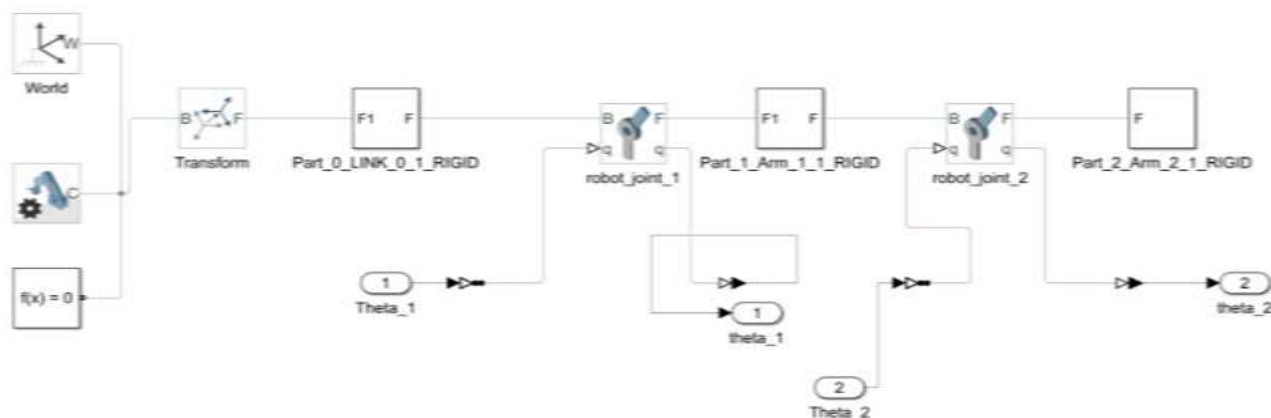


Рис. 3. Разрабатывается виртуальная 3D-модель манипулятора с использованием инструментов программная среда для моделирования

Настройка ПИД-контроллера

Подбор и настройка ПИД-контроллера для управления звеньями манипулятора на рис. 4. После создания модели манипулятора необходимо настроить ПИД-контроллер, который будет управлять движением каждого звена. На этом этапе подбираются параметры ПИД-контроллера: пропорциональная, интегральная и дифференциальная составляющие. Эти параметры определяют, насколько точно манипулятор будет следовать заданной траектории.

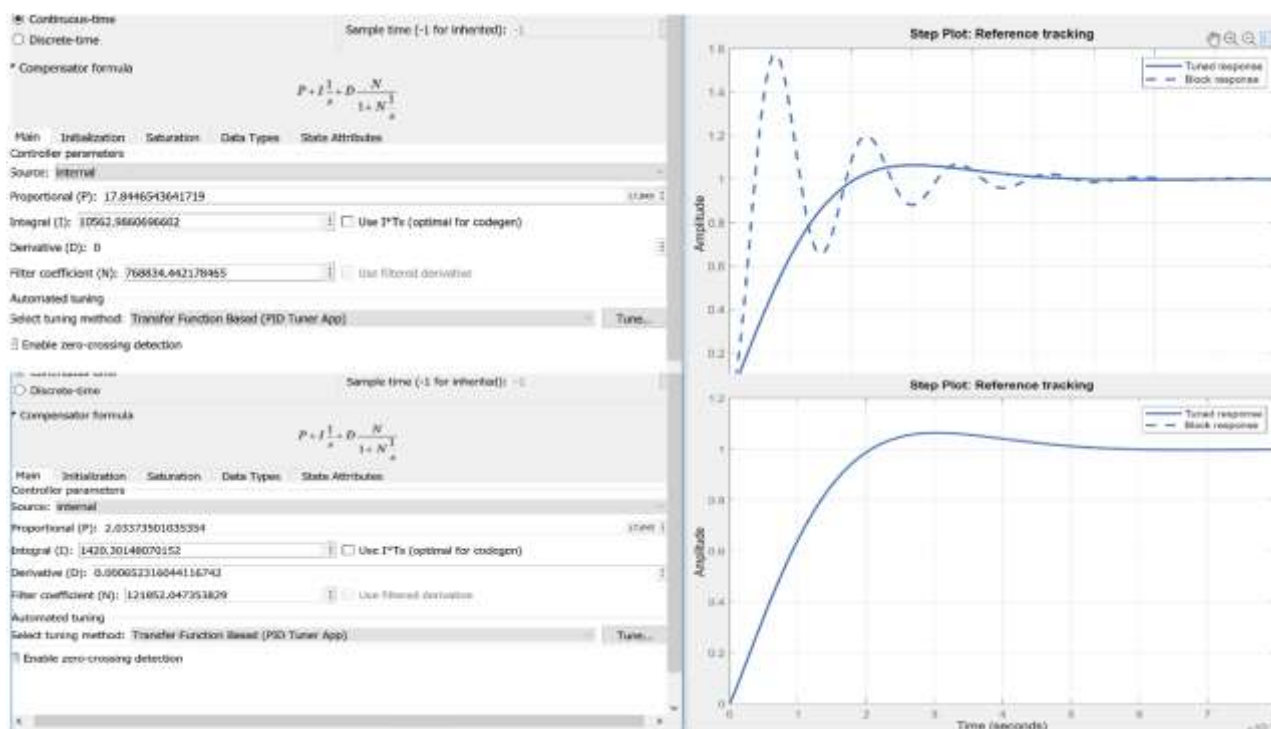


Рис. 4. Настройка ПИД-контроллера для управления звеньями манипулятора

Симуляция в программная среда для моделирования

Проведены симуляции поведения манипулятора в условиях, близких к реальным. В процессе моделирования проверена точность движения, время отклика и устойчивость системы, что позволило улучшить настройки контроллера.

Названия данные из рис. 5, (а) График желаемой траектории движения в пространстве X–Y, (б) Сравнение желаемой и фактической траекторий (ось X и ось Y), (с) Изменение траектории движения при корректировке ПИД-контроллера, (д) Прямая кинематика: сравнение желаемой и фактической траекторий для осей X и Y.

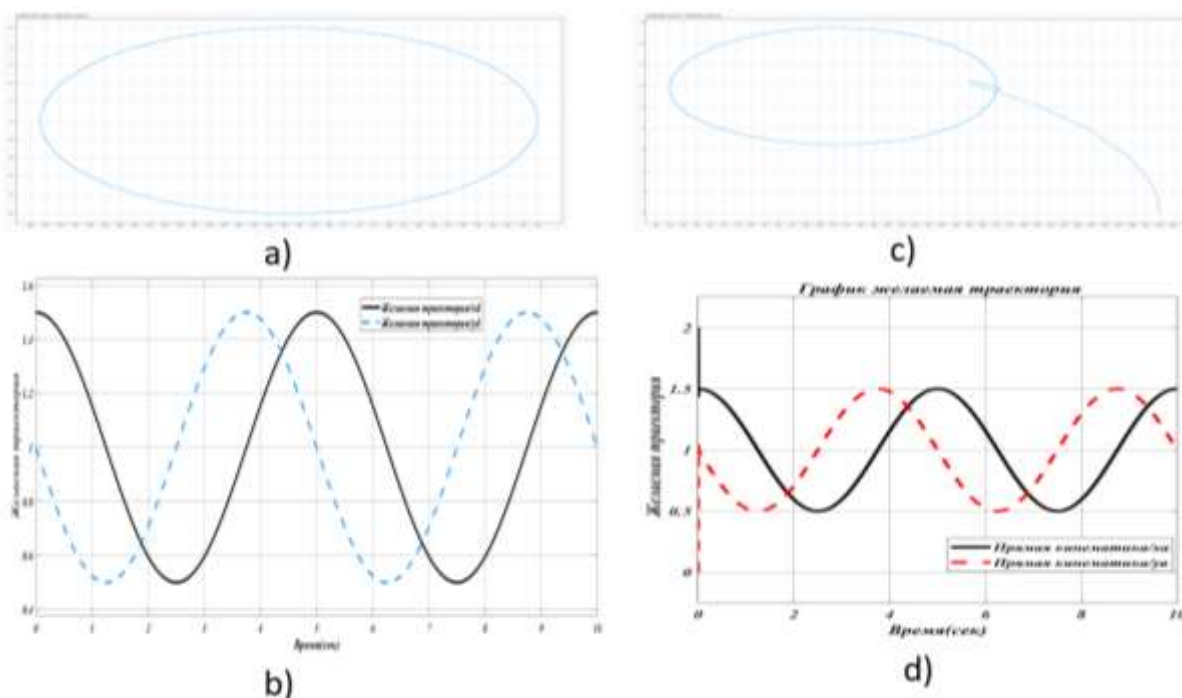


Рис. 5. Графики траекторий движения манипулятора в процессе моделирования

Практическая реализация на Dobot CR3

На текущем этапе проводятся симуляции работы роботизированного манипулятора Dobot CR3 для проверки корректности настроек ПИД-контроллера. Эти симуляции являются важным этапом перед практическим тестированием на реальном оборудовании. Кроме того, в процессе разработки находится программный файл для загрузки в Dobot CR3, а также пользовательский интерфейс [3–5] (GUI), который упростит управление манипулятором. Данная работа направлена на создание удобного инструмента, который позволит эффективно тестировать и внедрять алгоритмы управления в практические приложения.



Рис. 4. Симуляции работы роботизированного манипулятора Dobot CR3

Заключение

Работа по проектированию роботизированного манипулятора с использованием ПИД-контроля продемонстрировала возможности моделирования и управления сложными механическими системами. Моделирование в Simulink и Simscape позволило создать точную физическую модель манипулятора Dobot CR3, а настройка ПИД-контроллера обеспечила эффективное управление движением звеньев манипулятора.

Проведённые симуляции подтвердили корректность разработанных алгоритмов, что стало основой для дальнейшей работы над практической реализацией. В настоящее время осуществляется создание управляющих файлов и пользовательского интерфейса (GUI) для интеграции системы в реальные условия. Эти шаги направлены на достижение полной автоматизации процессов управления манипулятором Dobot CR3 и повышение точности выполнения его задач.

Список литературы

1. Джон Дж. Крейг. Введение в робототехнику: механика и управление: учебное пособие. – 4-е изд. – Москва: Pearson, 2020. – 400 с.
2. Сицилиано Б., Хатиб О. (ред.). Справочник по робототехнике. – 2-е изд. – Берлин: Springer, 2016. – 1624 с.
3. Добот. CR3 Промышленный манипулятор: техническая документация. – URL: <https://www.dobot.cc/products/cr3> (дата обращения: 16.11.2024).
4. MathWorks. Simscape Multibody: документация. – URL: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sm/index.html> (дата обращения: 16.11.2024).
5. ПИД-контроль для робототехнических систем: современные методы и приложения // IEEE Transactions on Robotics. – 2024. – № 5. – С. 35–47. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org> (дата обращения: 16.11.2024).

АНАЛИЗ ОСОБЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ БЕСПРОВОДНОЙ ЗАРЯДКИ НА СТЫКОВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ БПЛА

Соболев В.С., Кустов А.С., Ковалевский Д.О.

Херсонский технический университет,

e-mail: sobolslava02@gmail.com

Ключевые слова: электромагнитный ответвитель, вихревые токи, рециркулятор, подводный беспилотник, беспроводная зарядка

Введение

Подводные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) – это подводные мобильные системы, способные выполнять конкретные задачи. БПЛА имеют широкие перспективы применения как в военной, так и в гражданской сфере, и в целом БПЛА могут выполнять ряд задач и миссий, таких как исследование океана, научные исследования, мониторинг морской среды, сбор разведданных, наблюдение и оборона, силовое противостояние, противолодочная и минно-тральная деятельность, а также аварийно-спасательные работы.

Чтобы решить проблему недостаточного запаса хода автономных подводных аппаратов, подводные док-станции, размещённые на морском дне, могут осуществлять беспроводную зарядку автономных подводных аппаратов с помощью рециркуляторов. По сравнению с традиционной беспроводной зарядкой электромобилей, беспроводная зарядка на основе подводных док-станций имеет множество особых технических проблем, которые необходимо изучить и решить. Использование ретрансляторов стыковочной системы для беспроводной зарядки автономных подводных аппаратов может значительно увеличить время их использования, особенно при быстрой зарядке высокой мощности, что является существенным преимуществом с точки зрения экономии времени.

Материалы и исследования

После того как подводное транспортное средство будет захвачено приёмником на стыковочной станции, передающая катушка, закреплённая на стыковочной станции, приводится в действие высокочастотным переменным током, генерирующим переменное электромагнитное поле, с которым связана приёмная катушка, установленная на самом подводном транспортном средстве, индуцируя электрический потенциал для зарядки аккумулятора, таким образом осуществляя передачу энергии.

По сравнению с воздухом. Морская вода обладает высокой проводимостью и диэлектрической проницаемостью. Проводимость морской воды обычно составляет от 3 до 5 см/м, при этом стандартная морская вода имеет проводимость от 4,54 до 4,81 см/м при температуре 17 °С. При температуре 17 °С относительная диэлектрическая проницаемость низкочастотной морской воды составляет примерно 80,5 электромагнитные параметры док-станции для зарядки подводных аппаратов находится в сложной морской среде, и морская вода также имеет совершенно другие параметры: проницаемость сердечника благодаря высокочастотному электромагнитному полю; В-третьих, самоиндуктивность катушки системы беспроводной передачи энергии и другие присущие ей параметры при наличии среды с морской водой создают небольшой диапазон смещения; В-четвертых, на определенной глубине морская вода на ответвителе создает большое давление воды, ответвитель вихревые токи [1–3].

В результате среда с морской водой оказывает следующие четыре воздействия на беспроводную зарядку. система: Во-первых, поскольку стандартная диэлектрическая проницаемость морской воды примерно в 80,5 раз выше, чем у воздуха, между катушками ответвителя в морской воде создается значительная емкость; Во-вторых, при работе беспроводной системы передачи энергии создается высокочастотное электромагнитное поле, путь передачи и окружающая морская вода будут генерироваться из-за наличия давления и его изменения, то есть «магнитного эффекта давления».

Когда система IPT работает на подводной док-станции, магнитное поле создаёт вихревые токи в морской воде, и часть энергии расходуется на потери в вихревых токах, что снижает эффективность передачи энергии. В то же время магнитное поле, создаваемое вихревыми токами, и магнитное поле, создаваемое передающей катушкой, будут взаимодействовать друг с другом, поэтому, основываясь на модели трансформатора с вихревыми токами, можно приравнять морскую воду к кольцу вихревых токов с определённым внутренним сопротивлением. В качестве примера возьмём двустороннюю систему IPT типа LCC. На рис. 1 показана эквивалентная схема двусторонней системы IPT типа LCC с учётом потерь вихревых токов в морской воде.

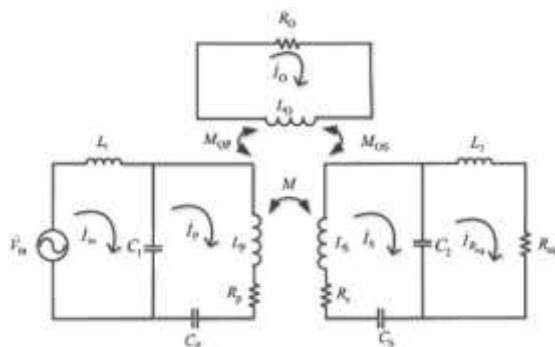


Рис. 1. Эквивалентная схема двусторонней системы LCC-IPT в морской воде

Поскольку влияние морской воды на параметры катушки фиксировано и не меняется в зависимости от режима работы цепи, первичную и вторичную стороны системы можно рассматривать по отдельности, а импеданс контура вихревых токов приравнивается к импедансу первичной и вторичной сторон соответственно в виде отражённого импеданса [3–5].

Для дальнейшего повышения общей производительности подводного электромагнитного соединителя предлагается новый тип подводного электромагнитного соединителя на основе существующих соединителей рис. 2.

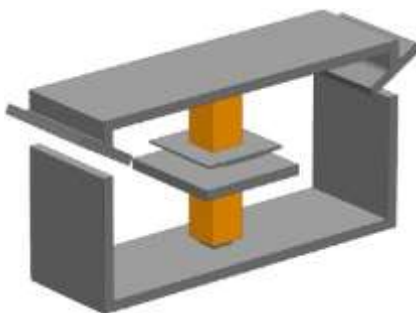


Рис. 2. Новый подводный электромагнитный ответвитель

В соединителе используется якорьобразный сердечник как на передающей, так и на принимающей сторонах, а обмотки намотаны на центральную колонку сердечника. Ширина центральной колонки сердечника на передающей стороне одинакова, с большей дугой в верхней части сердечника с обеих сторон; на принимающей стороне, напротив, в верхней части центральной колонки имеется большая дуга, а ширина сердечника с обеих сторон одинакова. Использование такого конструктивного подхода, дополняющего друг друга, гарантирует, что сопротивление воздушного зазора электромагнитного соединителя остается относительно стабильным при угловом и осевом смещении, что повышает устойчивость к смещению.

В этом типе соединения по мере увеличения угла смещения коэффициент связи k , взаимная индуктивность M , самоиндуктивность передающей катушки L_P и самоиндуктивности приемной катушки L_S всего постепенно становится меньше (L_S показывает нерегулярные и небольшие изменения в диапазоне дальности передачи 40 мм ~ 100 мм), что указывает на то, что

сцепляющая способность муфты постепенно ослабевает по мере увеличения угла смещения; при максимальном угле смещения 10° изменение k составляет 0,144 и изменение M это 6.57 μH , что указывает на то, что муфта обладает высокой устойчивостью к смещению под углом.

Заключение

Для решения проблемы потерь на вихревые токи в морской воде, вызванных высокочастотными электромагнитными полями, проанализированы преимущества и недостатки существующих методов расчёта потерь на вихревые токи. Для дальнейшего повышения уровня электромагнитных муфт предложен новый тип электромагнитной муфты, проанализированы конструктивные характеристики муфты, смоделированы и проверены основные параметры новой муфты. Результаты показывают, что новая электромагнитная муфта обладает высокой устойчивостью к прогибу.

Так же был проведен анализ влияния морской воды на беспроводную зарядку и рассмотрена эквивалентная схема для системы с учётом вихревых токов в морской воде и влияния ёмкости, подключённой параллельно.

Список литературы

1. Ин Ли. Проектирование ретронаправленных антенных решеток для беспроводной передачи энергии на короткие расстояния. – IEEE Trans Antennas and Propagation: 60. – 2012. – 206 с.
2. A Detection System with Spider Web Coil-Based Wireless Charging and an Active Battery Management System / J. Pokorny, P. Marcon, T. Kriz, J. Janousek // Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations. – 2021. – Vol. 64. – No. 3. – P. 219–227. – DOI 10.21122/1029-7448-2021-64-3-219-227. – EDN LXBOXE.
3. Лисов А.А. RFID идентификация как дополнение системы беспроводной зарядки электротранспортных средств / А. А. Лисов, С. А. Панишев // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2024. – Т. 10. – № 2. – С. 171–187. – DOI 10.17816/transsyst630045. – EDN EJKIFZ.
4. Дыбов Р.С. Метод электромагнитной индукции для беспроводной зарядки устройств / Р.С. Дыбов // Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: Сборник научных статей II международной научной конференции, Волгоград, 19 февраля 2021 года. – Волгоград: Общество с ограниченной ответственностью «КОНВЕРТ», 2021. – С. 24–26. – EDN OXHOJB.
5. Калугин В.В. Беспроводное зарядное устройство для электромобилей / В.В. Калугин, Д.С. Желнин, И.В. Калугина // Школа Науки. – 2021. – № 12(49). – С. 9–10. – EDN LJKFPS.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СМЕСЕВОГО БИОТОПЛИВА

Попрядухин В.С.¹, Курашкин С.Ф.², Ковалев А.В.³, Постникова М.В.⁴, Борохов И.В.⁵

¹ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», технический факультет,
кафедра электротехники и электромеханики, доцент,
e-mail: vadim05051988@gmail.com

²ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», технический факультет,
кафедра электротехники и электромеханики, доцент,
e-mail: serge.kuras@gmail.com

³ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», технический факультет,
кафедра электротехники и электромеханики, старший преподаватель,
e-mail: alekstady1979@gmail.com

⁴ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», технический факультет,
кафедра электротехники и электромеханики, старший преподаватель,
e-mail: postnikova070263@gmail.com

⁵ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», технический факультет,
кафедра электротехники и электромеханики, старший преподаватель,
e-mail: mailto:bivdom@rambler.ru

Методика проведения экспериментальных исследований заключалась в следующем: перед началом работы емкости, в которых готовились пробы промывались растворителем и просушивались на воздухе. В каждую из 5 емкостей заливали по 300 мл смесового топлива, состоящего из 30 мл МЭРМ и 270 мл дизельного топлива, 60 мл МЭРМ и 240 мл дизельного топлива, 90 мл МЭРМ и 210 мл дизельного топлива, 120 мл МЭРМ и 180 мл дизельного топлива и 150 мл МЭРМ и 150 мл дизельного топлива. Смеси перемешивали электрической лабораторной мешалкой в течение 2 минут.

Следующий этап включал в себя определение вязкости, плотности, прозрачности дизельного топлива, МЭРМ и приготовленных проб.

Для определения кинематической вязкости дизельного топлива, МЭРМ и их смесей применялся вискозиметр ВПЖ–4, в котором измерение вязкости основано на определении времени истечения через капилляр определенного количества жидкости из измерительного резервуара.

Кинематическая вязкость дизельного топлива, МЭРМ и их смесей определялась по формуле [1]:

$$V = \frac{g}{980,7} \cdot t \cdot k, \quad (1)$$

где V – кинематическая вязкость, мм²/с; g – ускорение силы тяжести в месте измерения, м/с²; t – время вытекания через капилляр определенного количества жидкости, с; k – постоянная вискозиметра, мм²/с².

Согласно техническому паспорту на вискозиметр капиллярный стеклянный ВПЖ–4 под № 1854, в котором диаметр капилляра составляет 0,62 мм, величина $k = 0,01052$.

Для определения кинематической вязкости вискозиметр промывали растворителем, просушивали и заливали в него контрольную пробу. Вискозиметр с жидкостью помещали в водяной термостат и термостатировали до температуры 20 °С в течение 15 мин. Плотность контрольной пробы определяли в ареометре. Для определения прозрачности дизельного топлива, МЭРМ и приготовленных смесевых проб использовался фотокалориметр КФК–2. В одну из кювет заливали дизельное топливо и определяли его прозрачность в процентах. Во вторую кювету заливали МЭРМ и приготовленные пробы и поочередно проводили измерение прозрачности жидкости в % относительно дизельного топлива с трехкратной повторностью.

Кинематическая вязкость является одной из важнейших характеристик дизельного топлива. Нами были произведены измерения кинематической вязкости дизельного топлива марки Л–0,2–62 и МЭРМ при температуре 20 °С с пятикратной повторностью в опытной точке, а также с трехкратной повторностью всего эксперимента с помощью вискозиметра и плотности – ареометром. При проведении эксперимента измерения рондоминизировались.

Так средняя вязкость в ДТ марки Л–0,2–62 составила 4,301 мм²/с, а у МЭРМ – 11,630 мм²/с. Средняя плотность ДТ составила 841 кг/м³, а в МЭРМ – 896 кг/м³. Затем были измерены вязкость, плотность и прозрачность в приготовленных пробах, которые представлены в таблице 1

Таблица 1

Измерение вязкости, плотности и прозрачности в смесевых пробах

Название и состав	10 % МЭРМ + + 90 % ДТ	20 % МЭРМ + + 80 % ДТ	30 % МЭРМ + + 70 % ДТ	40 % МЭРМ + + 60 % ДТ	50 % МЭРМ + + 50 % ДТ
Вязкость, мм ² /с;	4,664	5,047	5, 587	6,392	7,004
Плотность, кг/м ³	841	846	852	859	863
Прозрачность, %	90,5	91,0	91,5	92,0	92,5

Материалы данной статьи были использованы при проведение научно-исследовательской работы по теме: «Разработка электротехнологий и технических средств для получения смесового биотоплива и восстановления трансформаторного масла (FRRS-2023-0017)»

Список литературы

1. Кочетков М.Н. Разработка технических средств обеспечения энергоавтономности сельскохозяйственного предприятия при замещении дизельного топлива рапсовым маслом: дис. канд. тех. наук: 05.20.01. – М., 2010. – 177 с.
2. Громаков А.В. Оптимальный состав смесового топлива для тракторных двигателей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 8. – С. 24–25.
3. Топливо дизельное ЕВРО, межсезонное, сорта F, экологический класс K5 марки ДТ-Е-K5 ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) Паспорт № 11Л2310877. Технические условия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СМЕСЕВОГО БИОТОПЛИВА

Попрядухин В.С.¹, Кушлык Р.В.², Минаева Т.С.³

*¹ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», технический факультет,
кафедра электротехники и электромеханики, доцент,
e-mail: vadim05051988@gmail.com*

*²ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», технический факультет,
кафедра электротехники и электромеханики, доцент,
e-mail: kushlykroman@gmail.com*

*³ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», технический факультет,
кафедра электротехники и электромеханики, старший преподаватель,
e-mail: tanita19061985@gmail.com*

На сегодняшний день наиболее эффективным способом производства биодизеля для дизельных моторов является технология, основанная на переэтерификации (или алкоголизе) растительных масел и жиров с использованием метанола в присутствии щелочных катализаторов. В процессе этого превращения образуются метиловые эфиры растительных масел, которые получают название биодизель и обладают свойствами, сопоставимыми с современным дизельным топливом ДТ [1].

Сравнивая смешанное биотопливо и традиционное дизельное топливо для автотранспортной техники, можно отметить, что биотопливо МЭРМ обладает рядом преимуществ: оно не источает бензиновый запах благодаря тому, что производится из растительных масел. Это топливо характеризуется высоким циановым числом и является экологически безопасным. Кроме того, оно способствует снижению выбросов углекислого газа, а в выхлопах наблюдается уменьшенное содержание угарного газа, несгораемых углеводородов, оксидов азота, остаточных частиц и сажи, а также существенно меньше серы и высокая температура воспламенения.

Сравнивая с традиционным биотопливом, биодизель из рапсового масла имеет и свои недостатки: низкую теплоту сгорания и растворяющие свойства, что приводит к более быстрому разрушению резиносодержащих элементов в топливной системе и двигателе при использовании МЭРМ. Также следует учитывать высокую температуру помутнения и значительное содержание глицерина, которое может привести к образованию нагара и сажи [3].

Таким образом, разработка современных комплексных технологий для производства и очистки смешанных биотоплив с улучшенными свойствами, предназначенных для агрегатов на дизельном топливе, представляет собой важную и актуальную научную задачу [2].

Для исследования было выбрано товарное минеральное дизельное топливо ЕВРО, межсезонное, сорта F, экологический класс K5 марки ДТ-Е-K5 ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) Паспорт № 11J2310877 и биодизель «Светлый» (B100) ГОСТ 31665-2012.

На рис. 1 представлена экспериментальная установка для исследования биотопливных композиций.



Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования вязкости и плотности дизельного топлива, МЭРМ и смесового биотоплива различных концентраций:

- 1 – Гомогенизатор ГЛП-500 «САМИКС»;
- 2 – Пробирки со смесевым биотопливом в пропорциях 10 %, 20 %, 30 %, 40 % и 50 % биотоплива В-100 в дизельном топливе ДТ-Е-К5;
- 3 – Вискозиметр капиллярный стеклянный ВПЖ-4, диаметром капилляра 0,62 мм; 4 – Миксер;
- 5 – Ареометр АОН-4, от 700 до 1000 кг/м³, ГОСТ 18481-81; 6 – СВЧ установка Samsung;
- 7 – Гомогенизатор проб лопаточный ГЛ-П-300 5000/10000;
- 8 – Колбы со смесевым биотопливом в пропорциях 10 %, 20 %, 30 %, 40 % и 50 % биотоплива В-100 в дизельном топливе ДТ-Е-К5; 9 – Ноутбук ASUS Vivobook; 10 – Термостат жидкостный MLW UN8;
- 11 – Пьезоэлектрическая колебательная система в металлическом корпусе;
- 12 – Аппарат ультразвуковой проточный серии ВОЛНА-П, модель УЗАП-0,4/22-ОП

Анализ результатов исследований показывает, что с увеличением концентрации МЭРМ в ДТ вязкость увеличилась с 4,04 мм²/с до 7,17 мм²/с, а плотность с 825 кг/м³ до 860 кг/м³.

Недостатком практически всех существующих технологий приготовления смесового биотоплива является использование недостаточно очищенных МЭРМ, что приводит к существенному увеличению вязкости топлива.

Материалы данной статьи были использованы при проведение научно-исследовательской работы по теме: «Разработка электротехнологий и технических средств для получения смесового биотоплива и восстановления трансформаторного масла (FRRS-2023-0017)».

Список литературы

1. Кочетков М.Н. Разработка технических средств обеспечения энергоавтономности сельскохозяйственного предприятия при замещении дизельного топлива рапсовым маслом: дис. канд. тех. наук: 05.20.01. – М., 2010. – 177 с.
2. Громаков А.В. Оптимальный состав смесового топлива для тракторных двигателей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 8. – С. 24–25.
3. Топливо дизельное ЕВРО, межсезонное, сорта F, экологический класс К5 марки ДТ-Е-К5 ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) Паспорт № 11Л2310877. Технические условия.

ИЗОЛЯЦИЯ СУДОВЫХ КАБЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ БЕЗГАЛОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Душкин Ю.В.^{1,2}, М.Д. Жульмина², Леонов А.П.²

¹АО «СПО «Арктика», г. Северодвинск;

²НИИ Томский политехнический университет, г. Томск;
e-mail: mdz1@tpu.ru

Судовые кабели, являясь неотъемлемой составляющей любых систем передачи электрической энергии и сигналов, занимают важнейшее место в электроэнергетической системе кораблей. От надежности кабельных сетей и их работоспособности в аварийных ситуациях, таких, как затопление или пожар, напрямую зависит возможность выполнения поставленных задач и обеспечения безопасности личного состава на кораблях и подводных лодках. Также именно ресурсные показатели кабельных изделий во многом определяют продолжительность и стоимость жизненного цикла современных кораблей.

На основе анализа назначения и условий эксплуатации кабельных изделий необходимо, чтобы современные судовые кабели отвечали следующим требованиям:

- высокая пожаробезопасность, в том числе нераспространение горения при групповой прокладке (категория А по ГОСТ 31565–2012), пониженное дымообразование при горении и тлении (показатель ПД1), отсутствие галогенов в продуктах дымогазовыделения при горении и тлении (показатель ПКА1), пониженная токсичность продуктов горения (показатель ПТПМ2);
- увеличенный срок службы (не менее 40 лет);
- повышенная устойчивость к изгибающим нагрузкам и осевым кручениям;
- стойкость к внешним воздействующим факторам: разогретым маслам или парам масел, дизельному топливу, агрессивным средам (раствор щавелевой кислоты, окиси азота, серной кислоты и др.);
- стойкость к гидростатическому давлению в продольном (до 15 МПа) и радиальном (до 120 МПа) направлениях;
- сохранение работоспособности при воздействии открытого пламени (предел огнестойкости ПО1 по ГОСТ 31565–2012).

Разработка конструкторско-технологических решений и выбор материалов, обеспечивающих безотказность работы кабелей в течение всего срока эксплуатации, позволяют реализовать вышеуказанные требования.

В зависимости от места прокладки на корабле судовые кабели подразделяются на герметизированные и негерметизированные. Поскольку при повреждении негерметизированного кабеля по его конструкции распространяется вода, для повышения живучести подводного судна широко применяются герметизированные кабели.

Однако представленные на отечественном рынке традиционные, разработанные более 30 лет назад судовые герметизированные кабели (по типу КВДН, СМПВГ, КРНГ и др.) уже не соответствуют всем требованиям мировых стандартов кораблестроения. Также тот факт, что в конструкциях современных судовых кабелей используются импортные компаунды, создает ряд проблем при их серийном выпуске.

В связи с этим стоит актуальная задача создания конкурентоспособных кабельных изделий. В настоящее время отечественными производителями ведется разработка безгалогенных материалов для судовых кабелей. В ходе работы было разработано и апробировано более 20 рецептур новых материалов в соответствии с техническими требованиями. Для оценки качества созданы макетные образцы по типу судовых кабелей СМПВГ и КВДН, в которых для изоляции и оболочки использована безгалогенная полимерная композиция или из термоэластопласт (ТЭП).

На макетных образцах проведены испытания на соответствие современным требованиям по электрическим и механическим параметрам; требованиям к пожарной безопасности по ГОСТ 31565 (в том числе нераспространение горения в условиях прокладки в пучках по категории «А»); испытания на длительное воздействие высоких (до 100°C) и низких температур (минус 50 °C) среды, повышенной влажности воздуха, морской воды, солнечного излучения, раствора щавелевой кислоты, дизельного топлива и индустриального масла, продольного и радиального гидростатического давления; проверки целостности герметика при вертикальной прокладке.

Полученные результаты испытаний показали, что российские безгалогенные материалы являются конкурентоспособной заменой как устаревших материалов серийно-изготавливаемых судовых кабелей, так и зарубежных аналогов. Кабели, производимые на отечественных БГ и ТЭП, отвечают современным требованиям пожарной безопасности, имеют более высокое значение нагревостойкости, повышенную устойчивость к механическим изгибам, а также стойкость к продольному (15 МПа) и радиальному (65 МПа) гидростатическому давлению. ТЭП выступает более эластичным материалом, чем БГ, что является преимуществом при прокладке и монтаже кабелей.

Таким образом, применение российских безгалогенных полимерных материалов в качестве изоляции и оболочки судовых кабелей является перспективным решением для развития корабельной техники и судостроительной промышленности в целом. Необходима сертификация новых материалов и внедрение их в производство.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАРАБОТКИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Журиков Р.Н.¹, Невмывака А.Н.²

¹Томск, НИ Томский политехнический университет;

Инженерная школа энергетики, гр. 3-А1-27,

e-mail: rnz4@tpu.ru

²Северодвинск, АО «СПО «Арктика»

Согласно отраслевым стандартам в области надежности высоковольтных кабелей, применяется метод статистического прогнозирования тренда технических параметров изделий путем испытаний в форсированных условиях и режимах (прямой способ подтверждения надежности). При этом надежность представляет собой комплексное свойство, включающее безотказность, долговечность и сохраняемость. Для кабельных изделий одним из главных показателей надежности выступают безотказность и долговечность [1, 2].

Наработка до отказа изделий, предназначенных для работы в режиме непрерывного или периодического воздействия импульсного или переменного напряжения, подтверждаемая прямым способом, определяется проведением испытаний на подтверждение способности кабельного изделия непрерывно выполнять требуемые функции в течение некоторого времени в заданных режимах и условиях применения.

Согласно нормативным требованиям (например, ОСТ 16.800.438–77), минимальная наработка до отказа высоковольтных кабельных изделий подтверждается при трех значениях длительного прикладываемого испытательного электрического напряжения, превышающего номинальное рабочее напряжение на значения повышающих коэффициентов, устанавливаемых как правило в технических условиях на изделия [3]. Для каждого значения испытательного электрического напряжения комплектуются выборки по десять образцов в каждой. Все образцы испытываются при максимальной температуре при эксплуатации до пробоя изоляции. В пределах каждой выборки образцы нумеруются в порядке возрастания времени воздействия электрического напряжения до пробоя изоляции. Полученные результаты отображаются на графике в системе координат в логарифмическом масштабе. Значения подтвержденной наработки до отказа устанавливается посредством экстраполяции полученной «кривой жизни» в область рабочих напряжений.

Необходимо отметить, что при проведении ряда измерений одной и той же величины неизбежен некоторый разброс значений. При этом могут встретиться измерения с так называемыми «грубыми» ошибками, являющимися результатом естественного статистического отклонения. Их включение в результаты измерений может приводить к нарушению достоверности всей серии измерений.

Для исключения «грубых» ошибок применяют способ, основанный на «правиле трех сигм», которое определяет, что вероятность появления значения, отклоняющегося от среднего арифметического более чем на три значения эмпирического стандарта, равна 0,003, и поэтому результаты, вероятность получения которых меньше 0,003, допустимо считать «промахами» [4, 5].

С целью первичного определения оценки результатов испытаний на наличие значений с большими случайными ошибками может быть использован метод корреляционного анализа, который изучает поведение каждой из величин в зависимости от значений другой величины, а также меру зависимости между рассматриваемыми величинами. Сопоставляя каждому значению одной величины среднее из соответствующих значений другой величины, получают функцию эмпирической регрессии.

Корреляция между величинами называется линейной, если обе функции регрессии линейны. Угловые коэффициенты прямых выражаются через коэффициент корреляции (ρ).

Отсутствие линейной зависимости означает равенство коэффициента корреляции нулю. Чем ближе коэффициент к 1, тем теснее линейная зависимость между величинами, т. е. тем меньше средняя квадратическая ошибка представления каждой из величин с помощью линейной функции другой величины. Таким образом, значение коэффициента корреляции служит также мерой (критерием оценки) линейной зависимости между величинами [6].

Основные выводы по работе:

- долговечность высоковольтных кабелей, подтверждаемая при трех значениях длительного прикладываемого испытательного электрического напряжения до пробоя, превышающего номинальное рабочее напряжение, с последующей экстраполяцией полученной «кривой жизни» в область рабочих напряжений, с необходимой точностью определяется статистически адекватной графической интерполяцией полученных результатов испытаний;
- построение «кривой жизни» для определения минимальной наработки без исключения «грубых» ошибок может нарушать достоверность подтверждения способности кабельного непрерывно сохранять работоспособное состояние в заданных режимах и условиях использования, до достижения предельного состояния в течение минимальной наработки, заданной в технических условиях на изделие;
- при первичном анализе результатов испытаний наличие значений с большими случайными ошибками подтверждается при величине эмпирического коэффициента корреляции менее 0,9; при этом построение «кривой жизни» для определения минимальной наработки должно выполняться при условии обязательного исключения «грубых» ошибок.

Список литературы

1. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное руководство. – М.: издательство «Наука». – 1971 г. – 192 с.
2. ГОСТ Р 27.102–2021. Надежность в технике надежность объекта. Термины и определения. Москва: Российский институт стандартизации, 2021. – 35 с.
3. ОСТ 16 0.800.305–84 Отраслевой стандарт. Кабели провода и шнуры. Общие технические требования по надёжности. Методы оценки соответствия требованиям надёжности.
4. ОСТ 16 0.800.438–84 Отраслевой стандарт. Провода высоковольтные монтажные. Общие технические условия.
5. Харьков О.А., Соловьев А.Г. Статистические методы и математическое моделирование: учебное пособие. – М: изд-во СГМУ. – 2017 г. – 164 с.
6. Цыбрий И.К., Мороз К.А., Игнатенко В.И., Вяликов И.Л. Статистическая обработка результатов измерений, издательство «Ростов-на-Дону», ДГТУ, 2021 г., 129 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХЗОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕКТОРА ТЯГИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Филипас А.А.¹, Пластунова С.Н.²

¹НИ ТПУ, ИШИТР, доцент ВАК,

e-mail: filipas@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИШИТР, аспирант,

e-mail: snp4@tpu.ru

При прогнозировании энергетических показателей движителей мобильных роботов при движении по заданной траектории по разным типам поверхностей с учетом неизменности траектории, типов движителей и их режимов работы, топологии робота выполняемая им полезная работа теоретически может быть рассчитана как:

$$A_{\text{теор}} = F \cdot S, \quad (1)$$

где F – сила, затраченная на преодоление пути роботом, а S – путь, который необходимо преодолеть.

В виду вязкости, коэффициента трения и других характеристик поверхности перемещение робота на отдельных участках траектории может быть затруднено, и фактически выполненная роботом работа отличается от рассчитанной по формуле (1). Она зависит от трудоемкости перемещения робота, иными словами, от электрической мощности движителей робота и может быть вычислена по формуле:

$$A_{\text{факт}} = U \cdot I \cdot t, \quad (2)$$

где U – напряжение движителя, I – ток движителя, затрачиваемые на преодоление пути.

Тогда отношение теоретической работы к практической будет представлять из себя коэффициент, который будет характеризовать поверхность, по которой выполняет передвижение робот. Знание данного коэффициента поверхности позволяет выполнять прогноз энергетических затрат робота и времени прибытия в конечную точку с большей точностью. Изменение коэффициента поверхности в процессе работы влечет за собой перегрев механических и электрических частей движителей робота, что увеличивает их износ. Для решения данной проблемы следует поддерживать на уровне номинального значения мощность движителей, что позволит эффективно использовать энергетические ресурсы мобильного робота и избежать быстрого выхода из строя его частей.

Выделяют два режима работы движителей, приведенные на рис. 1: первая зона регулирования характеризуется постоянством момента при увеличении потребляемой мощности, и соответственно скорости до номинальных значений. Эта зона – наиболее широко применима различного рода системах. Здесь выполняются оптимальные критерии для электрической и механической частей электропривода: минимальный износ электродвигателя, допустимый нагрев обмоток двигателя, оптимальные значения токов в силовой части привода и т. д.

Вторая зона – зона поддержания постоянной мощности. В ней для увеличения скорости выше номинальной следует соблюдать пропорции тока и напряжения питания для сохранения номинального значения мощности, значит, при увеличении скорости поддерживаемая приводом нагрузка уменьшается при этом в нелинейной зависимости [1].

Вторая зона регулирования скоростью применяется в двух случаях:

1. Увеличение скорости двигателя при уменьшении нагрузки на его валу, что позволяет уменьшить время выполнения технологического процесса и позволяет эффективно использовать ресурсы электропривода.

2. Увеличение нагрузки на валу двигателя при уменьшении скорости двигателя, что позволяет защитить от перегревов обмотки двигателя и силовую часть системы управления при переменных нагрузках.

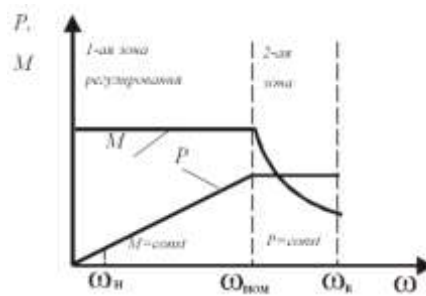


Рис. 1. Зоны регулирования ЭП

Для решения задачи перемещения мобильного робота применим режим сохранения мощности как с целью защиты частей робота от перегрева, так и для эффективного использования мощности входящих в него двигателей. Каждый движитель робота состоит из электропривода на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) и вращаемого им колеса. Система управления, СДПМ реализована с использованием векторного управления, состоящего из двух регуляторов тока и регулятора скорости.

Данная система управления отличается от системы управления асинхронным двигателем отсутствием задания в ось потокоцепления. Эта особенность обусловлена наличием постоянных магнитов, которые создают постоянный магнитный поток.

Математическое моделирование векторной системы управления СДПМ выполнено в MatlabSimulink. Результат моделирования системы управления СДПМ приведен на рис. 2 [2].

А также реализована система управления на преобразователе частоты мощностью 7 кВт. Результат приведен на рис. 3.

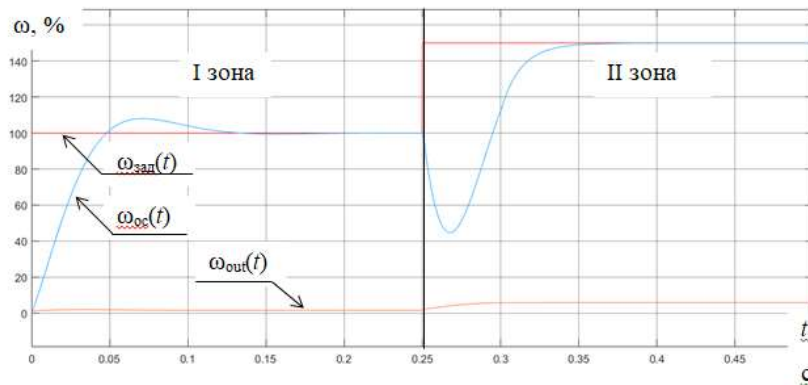


Рис. 2. Переходные процессы разгона СДПМ до ω_n и $1,5 \cdot \omega_n$ в Matlab Simulink

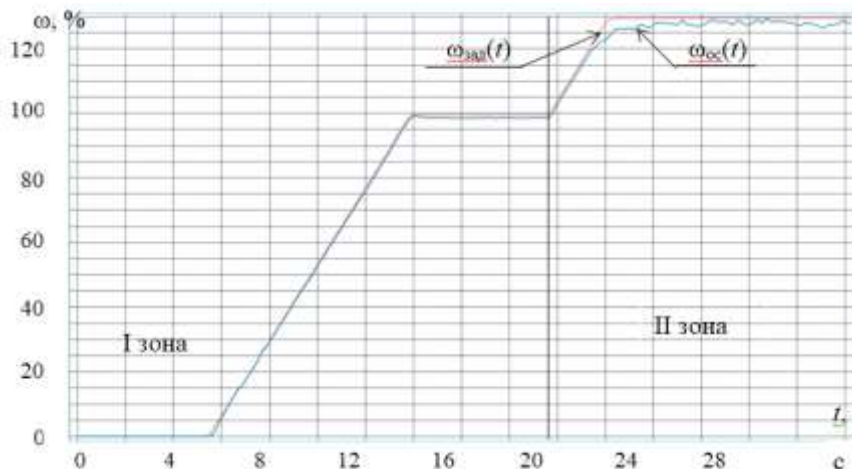


Рис. 3. Переходные процессы разгона СДПМ до ω_n и $1,5 \cdot \omega_n$ на двигателе МВЭДВ 5,5 кВт

При разгоне СДПМ до номинальной скорости регулирование осуществляется в первой зоне работы. При повышении задания скорости выше 100 % от ω_n происходит бесконтрольный рост тока двигателя до номинального значения, однако двигатель не выходит на заданную скорость. Для дальнейшего увеличения скорости следует ослабить поле постоянных магнитов, чего можно добиться вводом задания по току в ось потокосцепления двигателя [3].

Таким образом, применение двухзонного регулирования движителями мобильного робота на основе СДПМ позволит оптимально регулировать скорость движения мобильного робота в зависимости от типа поверхности, оказывающей нагрузку на движители, сохраняя постоянной мощность двигателя. Результаты математического моделирования системы управления СДПМ и реального управления двигателем аналогичны. Максимальная возможная скорость привода индивидуальна для каждого случая и ограничена механической прочностью конструкции.

Список литературы

1. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373 с.
2. Глазырин А.С. Математическое моделирование электромеханических систем. Аналитические методы: учебное пособие для вузов / А.С. Глазырин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ. – 2011. – 205 с.: ил. – Библиогр.: с. 194.
3. Мальцева О.П. Системы управления электроприводов: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин; ТПУ, ИДО. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 53. с.

СЕКЦИЯ 3
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПО КРИТЕРИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ РОТАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ МНОГОГРАННЫМИ РЕЗЦАМИ

Гопанцов Д.Н.¹, Бинчуров А.С.², Гордеев Ю.И.², Колбасина Н.А.²

¹*Место учебы, Политехнический институт Сибирский федеральный университет,
Красноярск, Россия,*

e-mail: Gorancov2001@gmail.com

²*Место работы, Политехнический институт Сибирский федеральный университет,
Красноярск, доцент каф. КТОМСП*

e-mail: mexanix@mail.ru

В качестве основного критерия оптимальности при ротационном точении многогранными резцами (РТМР) принимают, как правило, основное технологическое время обработки, которое должно быть минимальным. При этом, с учетом известных физических связей между отдельными параметрами режимов, заданных ограничений, определяемых технологическим оборудованием, требованиями к точности обработки проводилась оптимизация режимов резания. В процессе оптимизации необходимо перенести все неотрицательные значения переменных, которые будут удовлетворять условиям, при которых параметр достигает минимума и максимума (метод линейного программирования).

Для проведения оптимизационных исследований по критерию повышения производительности основное технологическое время $T_0 = L/ns$ задается минимальным, необходимо чтобы произведение частоты вращения и подачи резца на оборот заготовки ns было максимальным при неизменной длине обработки. Поэтому в качестве оценочной функции может быть принята функция $f = nst = \max$. Однако, как установлено в проводимых ранее исследованиях [1, 2], глубина резания не оказывает существенного влияния на качество обработанной поверхности, но влияет на температурно-силовые характеристики.

При решении задачи с помощью программы [3] прежде всего определяют координаты x_1 ; и x_2 . всех точек пересечения прямых по формулам для корней системы уравнений. Далее выясняется, какие из значений x_1 , и x_2 удовлетворяют всем уравнениям ограничений системы. В заключение определяют координаты вершины многоугольника, у которых сумма имеет максимальную величину:

Для того чтобы систему ограничений и оценочную функцию привести к линейной форме, прологарифмируем полученные выражения, предварительно умножив для удобства вычисления подачу на 100.

Обозначив $\ln(n) = x_1$ и $\ln(100s) = x_2$, а ограничения b_i , полученные из однофакторных и многофакторных экспериментов с соответствующими индексами [1, 2], сформулируем математическую модель оптимальных режимов резания:

Ограничения по оборудованию: подача $1,2 \text{ мм/об} \geq s \geq 0,1 \text{ мм/об}$, обороты $1000 \text{ об/мин} \geq n \geq 0 \text{ об/мин}$. Необходимо обеспечить обработку изделия с качеством обработки $3,2 \text{ мкм} \geq Ra \geq 1,25 \text{ мкм}$, и сохранять температуру в точке резания $120^\circ\text{C} \geq T \geq 21^\circ\text{C}$. Сила, допускаемая более слабым звеном механизма подачи станка, равна 1000 Н.

Взаимосвязи были установлены при проведении однофакторных и многофакторных экспериментов. По результатам обработки экспериментальных данных были получены следующие полуэмпирические зависимости.

$$\left\{ \begin{array}{l}
6,908 = \ln(n_{max}) = b_1 \geq x_1 \geq b_2 = \ln(n_{min}) \rightarrow -\infty \\
4,787 = \ln(100 \cdot s_{max}) = b_3 \geq x_2 \geq b_4 = \ln(100 \cdot s_{min}) = 2,303 \\
3,11 = \ln\left(\frac{1000}{\pi D} \left(\frac{Ra_{max}}{0,694}\right)^{\frac{1}{0,468}}\right) = b_5 \geq x_1 \geq b_6 = \ln\left(\frac{1000}{\pi D} \left(\frac{Ra_{min}}{0,694}\right)^{\frac{1}{0,468}}\right) = 5,119 \\
6,097 = \ln\left(100 \left(\frac{Ra_{max}}{2,139}\right)^{\frac{1}{0,27}}\right) = b_7 \geq x_2 \geq b_8 = \ln\left(100 \left(\frac{Ra_{min}}{2,139}\right)^{\frac{1}{0,27}}\right) = 2,616 \\
21,295 = \ln\left(\frac{1000}{\pi D} \left(\frac{\theta_{max}}{43,155}\right)^{\frac{1}{0,052}}\right) = b_9 \geq x_1 \geq b_{10} = \ln\left(\frac{1000}{\pi D} \left(\frac{\theta_{min}}{43,155}\right)^{\frac{1}{0,052}}\right) = -12,154 \\
9,796 = \ln\left(100 \left(\frac{\theta_{max}}{58,633}\right)^{\frac{1}{0,138}}\right) = b_{11} \geq x_2 \geq b_{12} = \ln\left(100 \left(\frac{\theta_{min}}{58,633}\right)^{\frac{1}{0,138}}\right) = -2,837 \\
7,484 = \ln\left(\frac{1000}{\pi D} \left(\frac{P_{zmax}}{102,345}\right)^{\frac{1}{0,405}}\right) = b_{13} \geq x_1 \geq b_{14} = \ln\left(\frac{1000}{\pi D} \left(\frac{P_{zmin}}{102,345}\right)^{\frac{1}{0,405}}\right) \rightarrow -\infty \\
7,641 = \ln\left(100 \left(\frac{P_{zmax}}{629,833}\right)^{\frac{1}{0,152}}\right) = b_{15} \geq x_2 \geq b_{16} = \ln\left(100 \left(\frac{P_{zmin}}{629,833}\right)^{\frac{1}{0,152}}\right) \rightarrow -\infty \\
3,396 = b_{17} \geq 0,468x_1 + 0,27x_2 \geq b_{18} = 2,455 \\
1,688 = b_{19} \geq 0,052x_1 + 0,138x_2 \geq b_{20} = -0,055 \\
3,306 = b_{21} \geq 0,405x_1 + 0,152x_2 \geq b_{21} = -3,306
\end{array} \right. \quad (1)$$

Замыкающий контур для x_1, x_2 приведен на рис. 1, координаты точек граней представлены в табл. 1, Точкой максимума является точка В, точкой минимума является точка Е.

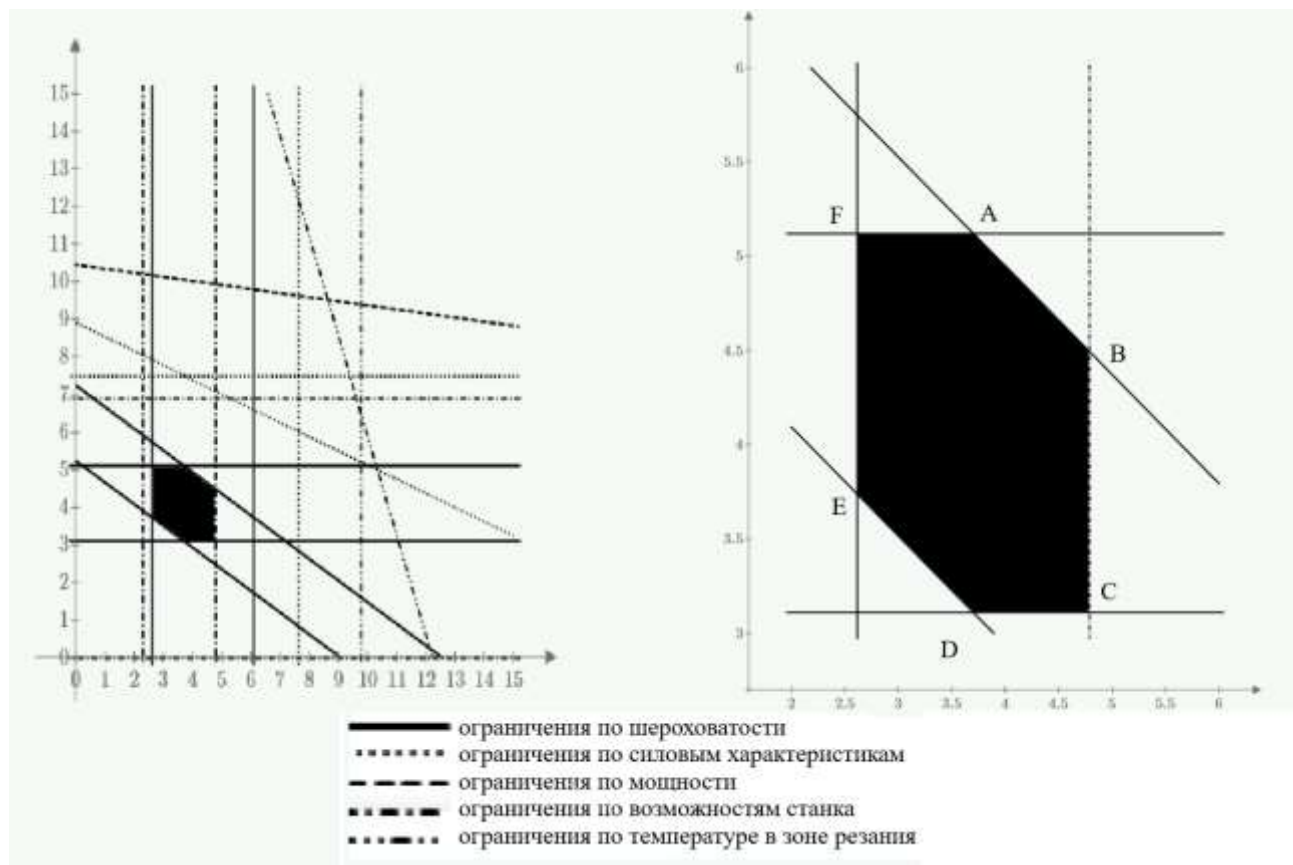


Рис. 4. Замыкающий контур

В итоге оптимальное решение по критерию производительности при РТМР можно описать виде системы для замыкающего контура.

$$\left\{ \begin{array}{l} 1,2 \frac{\text{мм}}{\text{об}} \geq s \geq 0,406 \frac{\text{мм}}{\text{об}} \\ 167,09 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \geq n \geq 22,412 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \\ 0,01 \cdot e^{\frac{3,396-0,468 \cdot \ln(n)}{0,27}} \geq s \geq 0,01 \cdot e^{\frac{2,455-0,468 \cdot \ln(n)}{0,27}} \end{array} \right. \quad (2)$$

Таблица 1

Точки замыкающего контура

точка	A	B	C	D	E	F
x_1	5,119	4,493	3,11	3,11	3,738	5,119
x_2	3,704	4,787	4,787	3,704	2,616	2,616
$n = e^{x_1}, \frac{\text{об}}{\text{мин}}$	167,09	88,419	22,412	22,412	41,999	167,09
$s = 0,01e^{x_2}, \frac{\text{мм}}{\text{об}}$	0,406	1,2	1,2	0,406	0,137	0,137
		max			min	

На основании анализа определена зона оптимальных (рациональных) решений, были выбраны уровни варьирования независимых переменных для дальнейших экспериментальных исследований по плану ПФЭ (полнофакторный эксперимент).

Список литературы

1. Индаков Н.С., Бинчуров А.С., Гордеев Ю.И. Влияние кинематических и технологических параметров ротационного точения многогранными резцами на формирование стружки и шероховатость поверхности // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2017. – Т. 18, № 2. – С. 379–386.
2. Бинчуров А.С., Гордеев Ю.И., Ясинский В.Б. Влияние режима резания при ротационном точении многогранными резцами на температурно-силовые характеристики формообразования // Вестник машиностроения. – 2022. – № 2. – С. 74–79.
3. Свид. 2024613532 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Автоматизированный расчёт шероховатости поверхности в зависимости от технологических параметров обрабатываемой детали и режимов резания при ротационном точении многогранными резцами / А.С. Бинчуров, Ю.И. Гордеев, Д.Н. Гопанцов; заявитель и правообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (RU). – № 2024613532; заявл. 14.02.2024; опубл. 14.02.2024, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА 3D-ПЕЧАТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ МАРКИ 316L

*Рюмин Е.Е., Криницын М.Г., Торонков Н.Е., Лернер М.И.
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
e-mail: ryuminee@ispms.ru*

Аддитивное производство (АП) – процесс изготовления деталей, основанный на создании физического объекта по электронной модели путем добавления материала «слой за слоем». Первые аддитивные системы производства работали главным образом с полимерными материалами, но на сегодняшний день номенклатура используемых материалов значительно увеличилась (композитные порошки с различными типами металлов и керамикой).

В настоящее время, разработаны десятки технологий АП, но одним из перспективных направлений является экструзионная аддитивная технология.

Следует помнить, что при печати изделий из металла, оператор неизбежно столкнется с выбором значений параметров печати. Этот выбор напрямую отражается на механические характеристики готового изделия, поэтому одним из важнейших параметров такого изделия, является его плотность. Поскольку технология 3D-печати подразумевает послойное выкладывание материала, между линиями заполнения неизбежно появляются несплошности, рис. 1. Целью данного исследования является уменьшение таких дефектов, путем подбора параметров печати.



Рис. 1. Микрофотография разлома изделия

Существует ряд эмпирических подходов к определению оптимальных параметров экструзионной печати. В основном параметры задаются в специализированном ПО – слайсере. В настоящей работе использовался наиболее современный на сегодняшний момент слайсер – Orcaslicer, который позволяет провести ряд калибровочных сеансов печати, позволяющих выявить и оптимизировать параметры печати [1]. В работе рассматривался материал для экструзионной печати на основе стали 316L [2, 3].

В данной работе были выбраны базовые параметры печати, такие как: температура печати, процент перекрытия, обдув модели, ширина экструзии и тип рисунка сплошного заполнения, табл. 1. Значения базовых параметров были определены путем подбора – критерием служило визуальное качество, отсутствие трещин и несплошностей.

Таблица 1

Базовые параметры печати

<i>Параметр</i>	<i>Базовое значение</i>
Температура печати, °С	140
Перекрытие, %	35
Обдув модели	Да
Ширина экструзии, мм	0,5
Тип рисунка заполнения	Монотонный

Чтобы проверить влияние параметров печати на механические характеристики были произведены испытания на изгиб (рис. 2) распечатанных образцов с последовательной сменой парамет-

ров (табл. 2), а также эксперимент по выявлению зависимости объемного потока от температуры печати, по результатам которых, стало понятно, что необходимы дополнительные реологические исследования, которые помогут определить оптимальные температуру и скорость печати.

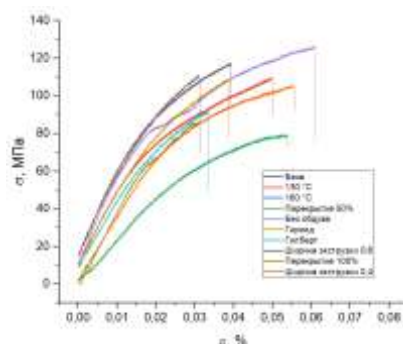


Рис. 2. Кривые нагружения образцов при испытании на изгиб

Таблица 2

Изменение базовых параметров

Параметр	—	+
Температура печати, °C	130	160
Перекрытие, %	50	100
Обдув модели	Нет	
Ширина экструзии, мм	0,6	0,4
Тип рисунка заполнения	Гироид	Кривая Гильберта

Проведенное исследование по выявлению зависимости объемного потока от температуры печати (рис. 3), показало, что:

- от 140 °C до 160 °C значения объемного потока Q выходят на плато, после чего, происходит его снижение. Это связано с деструкцией полимера из-за высокой температуры;
- расчетная скорость сдвига находится в пределах 200 1/с;
- необходимы дополнительные исследования реологии.

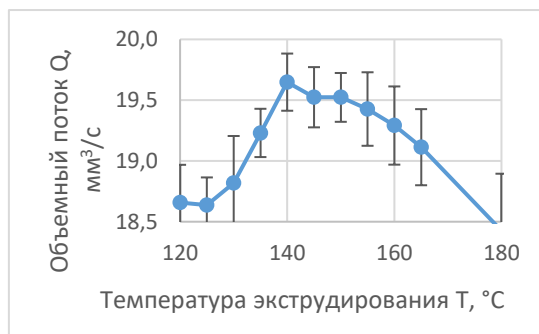


Рис. 3. График зависимости температуры экструдирования от объемного потока

Работа выполнена по Государственному заданию ИФПМ СО РАН, проект FWRW-2021-0007.

Список литературы

1. Bhagat V. Experimental Investigations on Biodegradable Polymer Fabricated Using Extrusion-Based Additive Manufacturing // Int. Conf. on Prod. and Ind. Eng. – Singapore, 2023. – С. 137–145.
2. Quarto M., Carminati M., D'Urso G. Density and shrinkage evaluation of AISI 316L parts printed via FDM process // Mat. and Man. Proc. – 2021. – Т. 36, № 13. – С. 1535–1543.
3. Carminati M. A comprehensive analysis of AISI 316L samples printed via FDM: structural and mechanical characterization // Key Eng. Mat. – 2022. – Т. 926. – С. 46–55.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Синюков М.С.¹

¹Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
e-mail: sms-0305@yandex.ru

В современных теплообменных системах надежность и эффективность работы во многом зависят от качества соединений между деталями [1, 2]. Одним из ключевых соединений таких систем является соединение плоскоовальных труб с оребрением. Предлагается инновационный подход к обеспечению высокого качества этих соединений посредством применения магнитно-абразивной обработки. Данный метод позволяет значительно улучшить адгезию и прочность соединения за счет обработки, как плоскости трубы, так и торцевой поверхности пластин, что открывает новые перспективы для повышения долговечности и эффективности теплообменников [3, 4].

По результатам литературного обзора проведен анализ международного и отечественного опыта в области магнитно-абразивной обработки. Установлено, что в настоящее время разработаны основные принципы магнитно-абразивной обработки, однако в достаточной степени не исследованы сочетания параметров магнитно-абразивной обработки, не определены ключевые технологические параметры и диапазоны их варьирования [5, 6, 7].

Для обработки плоских поверхностей предложено устройство, содержащее постоянные магниты, и представляющее собой торцевую фрезу, где вместо режущих пластинок расположены постоянные магниты. Компьютерное моделирование, необходимое для рассмотрения возможности применения предлагаемого способа и устройства, проведено в программном обеспечении *ANSYS Maxwell*. В частности, исследовано распределение магнитного поля в рабочем зазоре.

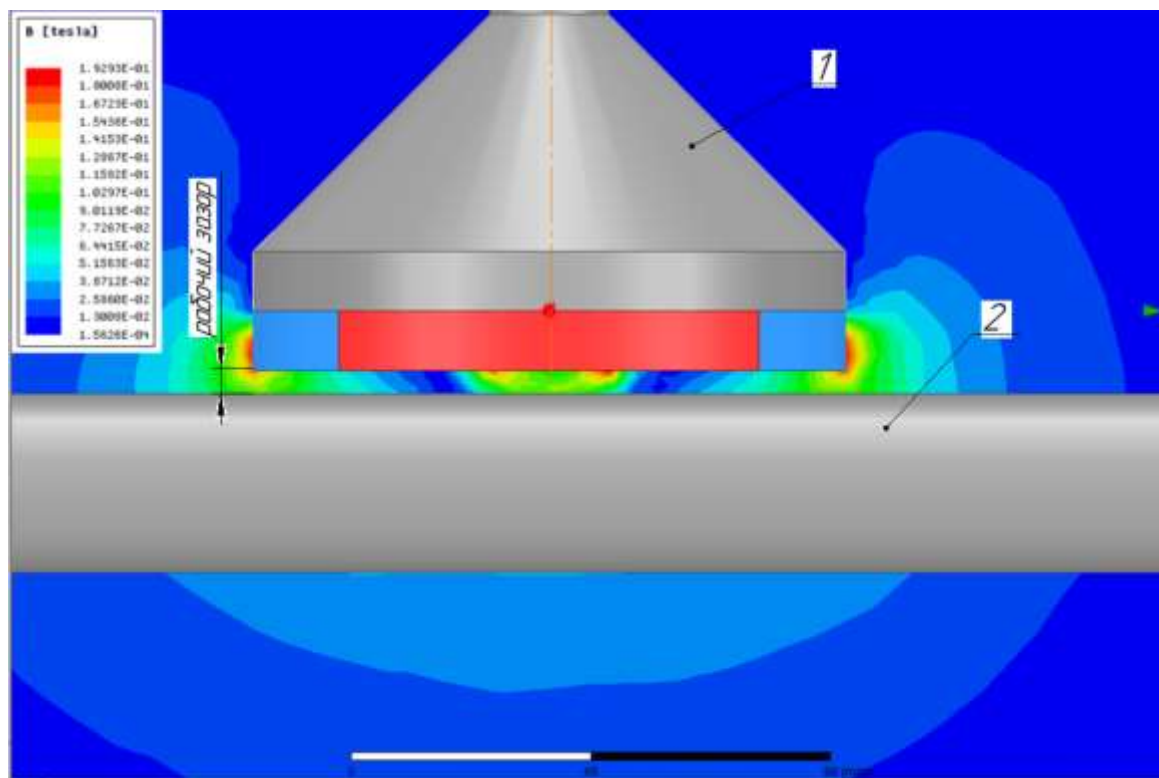


Рис. 1. Распределение магнитного поля предлагаемого устройства:
1 – корпус устройства; 2 – плоскоовальная труба

Граничными условиями моделирования распределения магнитного поля в рабочем зазоре предлагаемого устройства приняты следующие параметры: материал заготовки – алюминиевый сплав АМц; материал полюсных наконечников – сталь Ст 3; материал магнитов – неодимовый магнит марки NdFe30; величина рабочего зазора – 4 мм.

В данном случае оценивалась возможность обеспечить равномерное распределение магнитного поля, для неодимовых магнитов марки NdFe30 величина индукции B достигла лишь 0,1 Тл. Однако с учетом вращения устройства порядка 200–300 мин⁻¹ предполагается, что распределение магнитного поля будет равномерным, а устройство обеспечит магнитно-абразивную обработку всей поверхности плоскоооальной трубы, на которую будет установлено оребрение.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Максаров Вячеслав Викторович.

Список литературы

1. Акулович Л.М., Сергеев Л.Е. Технология и оборудование магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей различного профиля. – Минск: БГАТУ, 2013. – 372 с.
2. Акулович Л.М., Сергеев Л.Е., Бабич В.Е. Ферроабразивный порошок для магнитно-абразивной обработки на основе аморфных металлических сплавов. – Вестник Полоцкого Государственного Университета. Серия В: Прикладные Науки, 2006. – № 12. – С. 89–92.
3. Максаров В.В., Ефимова М.В., Филипенко И.А. Выбор параметров процесса магнитно-абразивного полирования для обработки кромок корпусных деталей летательных аппаратов из алюминиевых сплавов. – Цветные металлы. – 2024. – № 3. – С. 78–84. – DOI 10.17580/tsm.2024.03.11.
4. Chawla G. Experimental Investigation of Process Parameters of Al-SiC-B4C MMCs Finished by a Novel Magnetic Abrasive Flow Machining Setup / G. Chawla, V.K. Mittal, S. Mittal // Walailak Journal of Science and Technology (WJST). – 2021. – № 18 (18).
5. Marczak M. Finite element analysis of the magnetic field distribution in a magnetic abrasive finishing station and its impact on the effects of finishing stainless steel AISI 304l / M. Marczak, J. Zawora // Metals. – 2021. – № 2 (11). – С. 1–24.
6. Nahy A.M., Kadhum A.H. Optimizing the micro-hardness of a surface by magnetic abrasive finishing / A.M. Nahy, A.H. Kadhum // Institute of Physics Publishing. – 2020. – № 1 (870).
7. Nam S.S., Kim J.S., Mun S.D. Magnetic abrasive finishing of beta-titanium wire using multiple transfer movement method / S.S. Nam, J.S. Kim, S.D. Mun // Applied Sciences (Switzerland). – 2020. – № 19 (10). – С. 1–13.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ СЕГМЕНТИРОВАНИЯ СТРУЖКИ ПРИ ТОЧЕНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СТАЛЕЙ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА

Сергеева В.М.¹, студентка гр. ТОА-21

Гильвитинов М.О.², студент гр. ТОА-21

*^{1,2}Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия,*

e-mail: ¹s210479@stud.spmi.ru, ²s210468@stud.spmi.ru

На сегодняшний день в машиностроении все большую популярность получают стали аустенитного класса, например, 08X18H10, 12X18H10Т и т. п. При чем большинство из них относятся к труднообрабатываемым материалам, при точении которых образуется сливная стружка.

У сливной стружки есть недостатки. В первую очередь она замедляет процесс обработки, так как рабочий вынужден очищать рабочую зону от стружки, из-за чего возникает проблема невозможности многостаночного обслуживания, что влечет за собой снижение производительности труда. Во-вторых, при чистовой обработке, стружка, попадая на ранее обработанную поверхность, ухудшает ее качество. В-третьих, такую стружку требуется перерабатывать с помощью различных прессов и дробилок, так как при переплавке такой стружки половина объема стружки просто сгорает [1].

Однако и мелкодробленая стружка не будет лучшим вариантом сегментирования, так как ее мелкие частицы, попадая на базовые поверхности приспособлений, будут приводить к снижению точности обработки, в следствие чего увеличиваются затраты времени и ресурсов на очистку подобных поверхностей.

В этой связи можно сделать вывод, что стружка должна быть не просто дробленой, а иметь определенные форму и размеры, которые не будут мешать процессу резания, при этом будут удобны при транспортировке и переработке. Поэтому подбор правильного сегментирования стружки при обработке сталей аустенитного класса является актуальной и важной инженерной задачей. Для решения данной проблемы рассмотрены несколько современных методов комбинированной обработки.

Первый способ заключается в использовании стружколомающих сменных режущих пластинках совместно с предварительным высокотемпературным охрупчиванием. «Аустенитные стали подвержены высокотемпературному охрупчиванию, который приводит к снижению значений составляющей силы резания, минимальным износам режущего инструмента, что ведет к повышению обрабатываемости материалов и изменению стружкообразования от сливной к элементной» [2]. В этом методе применяется сразу несколько важных факторов: правильная форма стружколома на пластинке отводит стружку из зоны резания; повышенная скорость резания и температура создают условия, при которых образуется стружка нужного вида, которая при этом не попадает на обработанную поверхность заготовки.

Вторым способом для обработки сталей аустенитного класса является предварительное локальное криогенное воздействие (ЛКВ) на внешней поверхности срезаемого слоя. Горбунов О.И. описывает этот метод так: «...вдоль всей заготовки на определенную глубину происходит криогенное воздействие, в результате которого происходит переход остаточного аустенита в мартенсит. Это приводит к изменению кристаллической решетки, структуры металла, повышению поверхностной твердости и появлению внутренних напряжений» [3]. Во время лезвийной обработки инструмент проходит через участки ЛКВ, где создается мгновенное изменение напряжений и в результате стружка в виде элементов отделяется от заготовки (рис. 1).

В третьем способе рассмотрен патент RU2764449C1. Он описывает обработку металла с помощью локального лазерного луча лазерной головки локальной метастабильной зоны на поверхности заготовки по винтовой линии (рис. 2). Суть метода заключается в следующем: «...лазерный луч, фокусное расстояние которого обеспечивает формирование переменной по

глубине локальной метастабильной структуры, работает совместно с режущим инструментом с отрицательным передним углом» [4]. С помощью отрицательного переднего угла γ инструмента и метастабильной структуры создаются дополнительные напряжения, способствующие сегментированию сливной стружки. В результате инструмент проходит через зону метастабильности, в которой резко возрастают напряжения, благодаря чему и происходит сегментирование стружки.

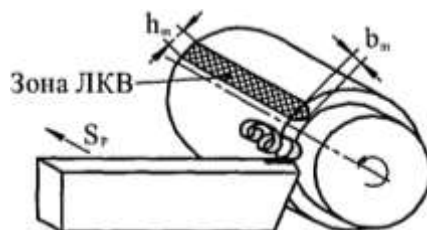


Рис. 1. Схема расположения зоны локальной метастабильности в обрабатываемом материале относительно движения режущего инструмента [3]

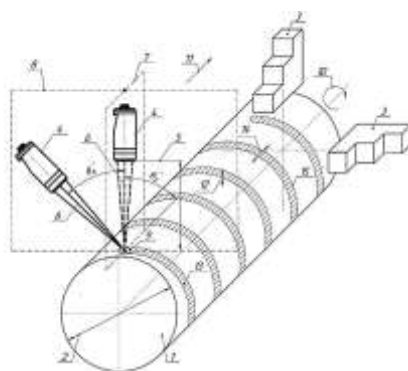


Рис. 2. Схема ориентирования локального лазерного луча на поверхности стальной заготовки [4]

Подводя итог можно сказать, что все три метода решают проблему стружкообразования при обработке труднообрабатываемых сталей аустенитного класса. Авторы рекомендуют их использование для обработки деталей повышенной точности. Для установления наиболее эффективного метода необходимы дополнительные исследования.

Список литературы

1. Боткин И.В., Фирсов А.М. Стружкодробление как фактор, обеспечивающий повышение производительности токарной обработки вязких сталей // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2004. – № 2 (23). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/struzhkodroblenie-kak-faktor-obespechivayuschiy-povyshenie-proizvoditelnosti-tokarnoy-obrabotki-vyazkih-staley>.
2. Артамонов Е.В., Васильев Д.В., Чернышов М.О. Стружкодробление при автоматизированной обработке резанием труднообрабатываемых сталей путем комплексного применения стружколомающего инструмента и высокотемпературного охрупчивания // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2020. – 24(1): 8–22. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-1-8-22>.
3. Горбунов О.И. Повышение эффективности процесса резания сталей аустенитного класса с предварительным локальным криогенным воздействием: дис. ... канд. тех. Наук 05.02.07 / О.И. Горбунов – СПб., 2012. – 212 с.
4. Максаров В.В., Ефимов А.Е. Способ механической обработки стальной заготовки с дроблением стружки: пат. 2764449 Рос. Федерация. № 2764449; заявл. 19.07.2021; опубл. 17.01.2022, Бюл. № 2. 14 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ФРЕЗЕРНОЙ ОПЕРАЦИИ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОКИ МАТЕРИАЛА НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕМ ОБОРУДОВАНИИ С ЧПУ

*Морев Д.А., аспирант гр. 4А20,
Ефременков Е.А. ч, к.т.н., доцент ОМШ
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
тел. (3822)-444-555
e-mail: dam40@tpu.ru*

Применение лезвийной обработки материалов для получения изделий носит массовый характер, так как путём резания металла можно получать детали практически любой конфигурации с необходимой эксплуатационной точностью и в то же время имея экономическую выгоду. В процессе развития данной области машиностроения появилось оборудование с ЧПУ, что позволило обрабатывать поверхности, имеющие сложную геометрию в автоматическом режиме, при этом выигрывая по времени обработки у универсальных станков.

Вторым шагом при оптимизации процессов резания стало широкое распространение твердосплавного инструмента, что позволило повысить скорость резания, а также увеличить стойкость инструмента. Однако оптимизация процессов резания на этом не остановилась, вследствие чего появились новые стратегии обработки материалов.

Базой для этого стало развитие САМ систем позволяющим производить подготовку управляющих программ для оборудования с ЧПУ имеющих возможность оценить возникновение коллизий в процессе обработки, а также просчитать трудоёмкие и объёмные траектории в короткие сроки.

Сумма вышеперечисленных факторов привела к возникновению методов высокопроизводительной обработки материалов, одним из таких методов является высокоскоростное фрезерование.

В основе метода лежат несколько ключевых аспектов, таких как жесткость системы СПИД, определённые режимы резания, а также сама траектория обработки.

В нашем случае обрабатываемым материалом являлась хромоникелевая сталь, имеющая следующие типовые характеристики:

Предел текучести: 770–826 МПа;

Временное сопротивление разрыву: 900–930 МПа;

Относительное удлинение: 25 %;

Твёрдость HB > 277 $\approx$ HRC 30.2.

Заготовка в оправке была закреплена в трехкулачковом патроне, схема закрепления изображена на рис. 1.

В качестве режущего инструмента была выбрана четырёхзубая твердосплавная фреза диаметром 12 мм с PWD покрытием AlTiN и углом спирали в 38 градусов. Инструмент был закреплён в термopatроне HSK63A-SF12-120 имеющим балансировку G2.5 / 25000 об/мин.

Первоначальным вариантом обработки была выбрана послойная обработка с несколькими боковыми проходами при этом глубина за проход равнялась 1,5 мм, а боковое перекрытие порядка 50 % от диаметра фрезы, схема обработки изображена на рис. 2.

Для данного типа обработки были заданы следующие режимы резания:

Число оборотов шпинделя $n = 1330$ об/мин;

Подача минутная $F = 240$ мм/мин;

Полное время обработки составило 43 минуты, при этом размеры получены в пределах допусков.

После оптимизации траектории она приняла вид, изображённый на рис. 3, в данном случае глубина обработки была увеличена до 16 мм, то есть на всю глубину обрабатываемой поверхности, при этом шаг за один проход был сокращён до 0,5 мм.

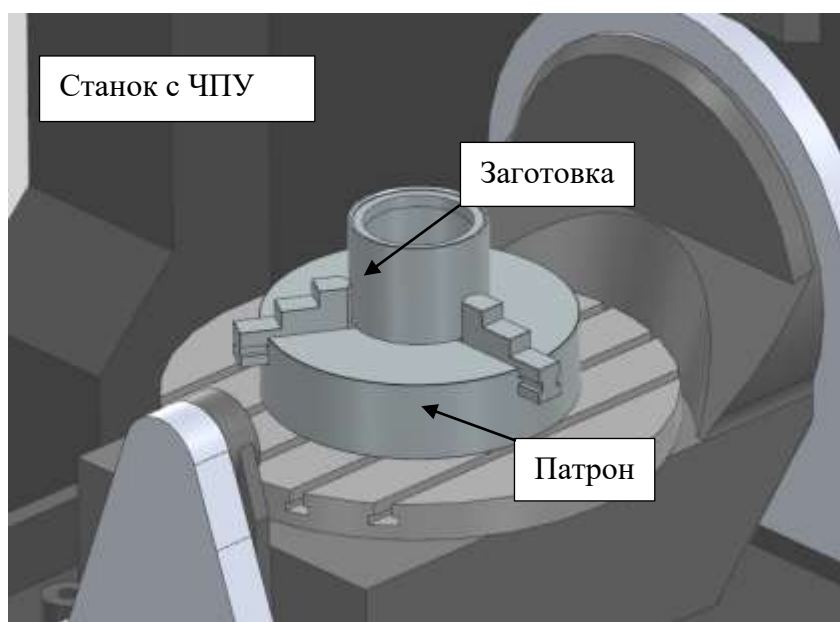


Рис. 1. Схема закрепления заготовки

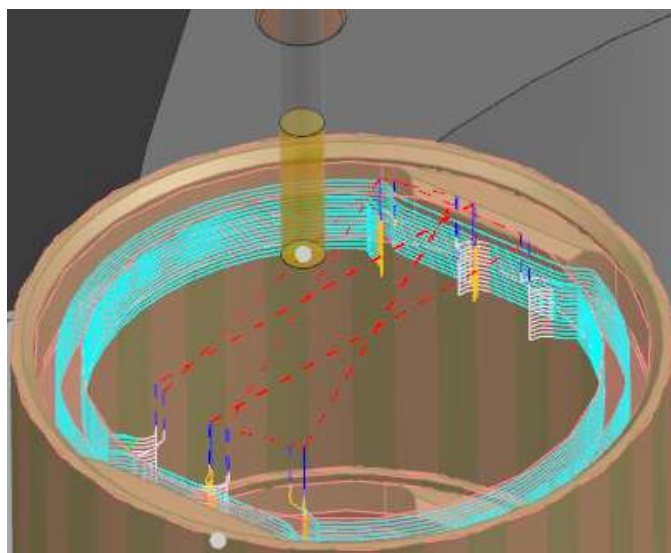


Рис. 2. Схема первого варианта обработки

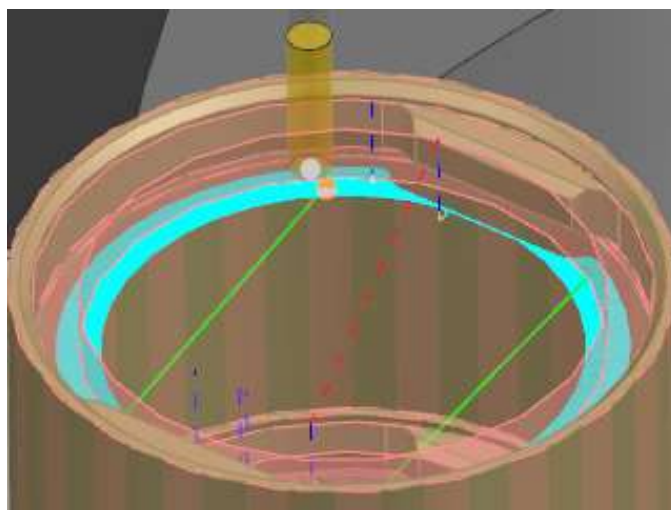


Рис. 3. Схема второго варианта обработки

Корректировку претерпели и режимы резания, в представленном варианте они имели следующие значения:

Число оборотов шпинделя $n = 4375$ об/мин;

Подача минутная $F = 1500$ мм/мин;

При этом время обработки составило 11 минут, размеры были также выдержаны в пределах допусков.

Также стоит сказать, что в обоих методах применялось охлаждения при помощи СОЖ, и вариант без быстрого отвода тепла из зоны резания не применим для высокоскоростной обработки априори.

Как итог имеется четырёхкратный прирост производительности при небольшой потере стойкости инструмента. Однако доступность твердосплавного инструмента и его цена нивелируют данный недостаток и дает возможность для масштабируемости данного метода обработки в рамках всего производства, за исключением особых случаев.

Список литературы

1. Локтев А.Д., Гущин И.Д., Батуев В.А. и др. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник в 2-х томах. – М.: Машиностроение, 1991.
2. Режимы резания металлов. Справочник. Под ред. Ю.В. Барановского. Изд. 3-е, переработанное и дополненное. – М., «Машиностроение», 1972.
3. Резание материалов и режущий инструмент Методические пособие по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент» для студентов, обучающихся по направлению 150700 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» – Томск: изд.-во ТПУ, 2014. – 131 с.
4. Ведмидь П.А., Сулинов А.В. Программирование обработки в NX CAM. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 304 с. ил.
5. Высокопроизводительная обработка металлов резанием. – М.: Изд-во «Полиграфия», 2003. – 301 с. ил.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЗАМКОВЫХ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПУТЕМ ФИНИШНОЙ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

*Каренина Р.А., аспирант 4 курса,
e-mail: radmila8609@mail.ru*

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

Резьбовые замковые соединения бурильных труб должны выполнять ряд важных функций, которые направлены на быстрое и надежное соединение (завинчивание) труб между собой, способность при высоких значениях осевых растягивающих и сжимающих нагрузок передавать крутящий момент на бурильную трубу и породоразрушающий инструмент, обеспечение надежной герметизации бурильных труб, трубы под высоким давлением промывочной жидкости. Однако практическое применение бурильных труб при бурении показало, что резьбовые соединения, допускающие сложное чередование нагрузки на изгиб и растяжение остаются наиболее уязвимым элементом бурильной колонны [4]. При многократных операциях завинчивания и отвинчивания профиль резьбы изнашивается и деформируется, снижается герметичность и механическая прочность, повышается риск обрыва резьбы. В связи с этим задача повышения эксплуатационных показателей, снижения аварийности и срока службы резьбового замкового соединения при сложных циклических нагрузках является актуальной и должна рассматриваться с учетом разработанных инновационных технических и технологических решений.

Одним из способов обеспечения эксплуатационных свойств является применение операций по формированию микрогеометрии поверхностного слоя деталей [3, 11].

Обработка материалов традиционными методами, такими как шлифование, притирка и хонингование, является сложной задачей из-за их сложного профиля, что приводит к низкой эффективности подготовки поверхностей деталей [10]. Таким образом, приходится прибегать к поиску новых способов финишной обработки поверхностей.

Магнитно-абразивная обработка (МАО) позволяет добиться чистовой обработки поверхности, управляя силой и движением магнитных абразивных частиц с помощью внешних магнитных полей [1, 12]. В процессе МАО образуется гибкая щетка, состоящая из ферромагнитных и абразивных частиц. МАО стал популярным благодаря лучшей управляемости процесса, гибкости инструментов и способности к самозатачиванию [5, 8].

Для проведения исследований по равномерной обработке резьбовых поверхностей замкового соединения с применением магнитно-абразивного полирования подготовлены образцы, коническая замковая резьба которых изготовлена согласно ГОСТ Р 50864-96. Полирование осуществлялось на специально разработанном устройстве, базирующемся на фрезерном станке с ЧПУ (рис. 1).

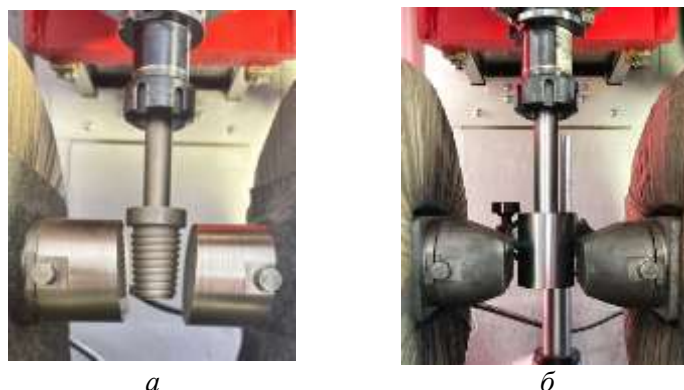


Рис. 1. Установленные в устройство для МАП образцы: а – с наружной резьбой; б – с внутренней резьбой

Наружные резьбовые поверхности обрабатывались с одновременными вращательным, возвратно-поступательным и осцилляционным движениями образцов в магнитно-абразивной массе в межполюсном пространстве установки, внутренние резьбовые поверхности – с одновременным вращательным и осцилляционным движениями образцов.

По результатам проведенных серий экспериментов значение шероховатости резьбовых наружных и внутренних поверхностей снижалось в диапазоне $Ra = 2,552...0,351$ мкм, что свидетельствует о повышении надежности, коррозионной стойкости резьбового замкового соединения [7, 9].

Список литературы

1. Акулович Л.М., Сергеев Л.Е. Технология и оборудование магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей различного профиля. Мн: БГАТУ, 2013. – 372 с.
2. Болобов В.И., Попов Г.Г. Методика испытаний трубопроводных сталей на устойчивость к коррозии в канавках. Журнал горного института 252(6) 854-860. 2021. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.6.7>.
3. Макаров В.Ф. Применение различных методов упрочняющей обработки деталей с целью повышения сопротивления усталостному разрушению / В.Ф. Макаров, С.П. Никитин, М.В. Песин, А.С. Горбунов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2017. – № 9(204): Серия Прогрессивные технологии в машиностроении. – С. 28–31.
4. Песин М.В. Технологическое обеспечение, повышение качества и долговечности деталей нефтепромыслового и бурового оборудования / Песин М.В., Е.Д. Мокроносов // Экспозиция Нефть Газ. – 2010. – № 6.
5. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки / Ф.Ю. Сакулевич // Мн.: Наука и техника. – 1981. – 328 с.
6. Халтурин О.А. Моделирование формообразования поверхности замковой резьбы / О.А. Халтурин, В.А. Иванов, М.М. Базуев // Advanced science: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. Пенза: «Наука и Просвещение», 2019. – С. 93–96.
7. Хомич Н.С. Магнитно-абразивная обработка изделий. – Минск: БНТУ, 2006. – 200 с.
8. Anjaneyulu K., & Venkatesh G. Surface texture improvement of magnetic and nonmagnetic materials using magnetic abrasive finishing process. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2021, 235(19), 4084–4096. <https://doi.org/10.1177/0954406220970590>.
9. Jing, G., Hu, F., & Chen, Y. (2020). Failure analysis and revamping methods for loading threaded joints of raiseboring machine. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 546, 052064. DOI:10.1088/1755-1315/546/5/052064.
10. Kumar R. Recent advancements in magnetic abrasive finishing: a critical review. / R. Kumar, V. Rao Komma // Engineering Research Express, Exp.6, 012504. 2024. DOI: 10.1088/2631-8695/ad2ef7.
11. Maksarov V.V., Efimova M.V., Filipenko I.A. Choosing parameters of a magnetic abrasive polishing for machining of edges of aircraft body parts from aluminum alloys Tsvetnye Metally, 2024(3), pp. 78–84. DOI: 10.17580/tsm.2024.03.11.
12. Maksarov V.V., Popov M.A., Zakharova V.P. Influence of magnetic abrasive machining parameters on ceramic cutting tools for technological quality assurance of precision products from cold-resistant steels Chernye Metally. – 2023. – № 1. – PP. 67–73. <https://doi.org/10.17580/chm.2023.01.10>.

МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ОДНОИМПУЛЬСНОЙ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКОЙ

Каргин А.М.

*Томский политехнический университет, ИШНKB, АЗ-22, аспирант,
e-mail: amk20@tpu.ru*

Аннотация

Рассмотрены современные подходы к управлению структурой металла шва, получаемых методом одноимпульсной аргонодуговой сварки. Проанализированы различные способы и приемы, применяемые для получения оптимальной структуры и свойств сварных соединений. В данном обзоре рассматриваются возможности и эффективность управления структурой и свойствами сварных соединений, выполненных одноимпульсной аргонодуговой сваркой.

Введение

Развитие промышленного производства требует разработки и применения эффективных методов обработки и сварки, которые обеспечивали бы высокое качество изделий и конструкций. Актуальность применения одноимпульсной аргонодуговой сварки обусловлена необходимостью получения стабильной формы и свойств сварных соединений. Современные сварочные источники расширяют возможности управления структурой сварных соединений путем регулирования тепловложения, а свойства расходных материалов позволяют управлять химическим составом сварных соединений.

Целью работы являлся анализ методов управления структурой сварных соединений сталей при сварке неплавящимся электродом.

В настоящее время вопрос управления структурой металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ) при сварке неплавящимся электродом изучен недостаточно, что может приводить к дефектам не только при выполнении сварочных работ, но и при эксплуатации деталей. В связи с этим обеспечение оптимальной структуры сварных соединений независимо от исходного состояния материала является актуальной задачей.

Для процесса сварки свойственны некоторые особенности, которые связаны с повторным расплавлением используемого для создания металлоконструкций материала, и его повторной кристаллизацией. Благодаря высокой скорости охлаждения и повышенному содержанию примесей, в металле шва часто появляются выделения избыточных фаз, вследствие чего металл шва и зоны термического влияния (ЗТВ) обладает пониженными пластическими характеристиками, особенно, при эксплуатации в условиях низких температур. Поэтому одной из основных задач при сварке является получение оптимальной структуры, обеспечивающей получение требуемых свойств металла.

Регулирование структуры металла ставит целью уменьшение содержания закалочных составляющих (мартенсита и нижнего бейнита), повышения температуры их образования и получения наиболее благоприятной внутренней тонкой структуры, уменьшения размера действительного зерна.

Регулирование структуры ЗТВ и шва возможно путем выбора рациональной системы легирования и состава стали, осуществляемого на этапах конструкторско-технологической проработки сварных узлов или разработки сталей для вновь создаваемых конструкций. Из высокопрочных сталей (σ_b до 1500...2000 МПа) предпочтительно применение комплекснолегированных сталей с минимально возможным содержанием углерода, одновременно легированных карбидообразующими элементами Mo и W. Из сталей повышенной прочности (σ_b до 800 МПа) рекомендуется применение так называемых микролегированных сталей, содержащих до 0,1 % углерода и группу дисперсионно упрочняющих элементов Nb–V и Mo–Nb–V (в сумме до 0,5 %).

Управление структурой сварного шва возможно двумя группами методов, которые можно разделить на металлургические и технологические.

Металлургические методы

В процессе сварки неплавящимся электродом наиболее просто металлургическое воздействие на металл шва можно осуществить путем легирования с помощью присадочной проволоки соответствующего состава. Для легированных сталей наиболее рациональным является применение сварочной проволоки с составом, близким к основному металлу [1]. Проведенный анализ показывает, что для обеспечения мелкодисперсной структуры сварных швов низкоуглеродистой стали 09Г2С, выполненных дуговой сваркой неплавящимся электродом, может быть эффективно использована проволока Св-08Г2С. Присутствие марганца способствует большему содержанию в сварном шве игольчатого феррита, что является достоинством использования марганца как элемента-раскислителя, а также улучшает структуру швов. Введение никеля в состав стали способствует измельчению структуры стали и в целом улучшает механические свойства сварных швов. Происходит не только измельчение структуры, но и более равномерное распределение карбидной смеси. Кремний используется, в первую очередь, как раскислитель, способствуя выведению оксида марганца из стали, и поэтому используется совместно с марганцем для легирования. Уменьшение содержания кислорода в металле шва ведет к повышению ударной вязкости.

Другим металлургическим методом воздействия на металл сварного шва является применение модифицирования. В качестве модификаторов могут использоваться различные карбидообразователи. Наиболее эффективными элементами являются вольфрам, молибден и ниобий, а наиболее доступным – ванадий. Так, введение ниобия в количестве 0,02 % способствует образованию термически стойких карбидов, которые препятствуют росту зерна и способствуют измельчению структуры, поэтому модифицирование ниобием может рекомендоваться для управления структурой сварных швов.

Технологические методы

Важным преимуществом технологических методов является возможность воздействия на структуру металла в ЗТВ. Основные технологические приемы управления структурой представлены на рис. 1.



Рис. 1. Технологические приемы воздействия на структуру сварных швов при сварке неплавящимся электродом

Предварительная холодная деформация позволяет измельчить структуру зерна за счет образования зародышей новых зерен. В связи со сложностью реализации при сварке этот технологический прием не получил распространения.

Термообработка по режиму нормализации наиболее эффективно воздействует на структуру сварных соединений, однако практическая реализация термообработки в условиях монтажа является затратной.

Использование медных накладок и (или) подкладок-холодильников является достаточно доступным приемом и зачастую используется не только для управления структурой, но и формой сварного шва. Ограничения в использовании холодильников относятся в первую очередь к сталям, склонным к закалке.

Импульсное тепловложение при сварке является распространенным технологическим приемом, который облегчает формирование швов при сварке в различных пространственных положениях и сварке тонкого металла, при этом из-за изменения временной интенсивности введения теплоты этот прием воздействует на процессы образования структуры как сварного шва, так и ЗТВ. Многопроходная сварка оказывает благоприятное воздействие на структуру ЗТВ и металла шва. Для литого металла сварных швов, полученного многопроходной сваркой, характерна более мелкая и более разориентированная структура. Увеличение числа проходов при сварке является благоприятным технологическим приемом для формирования структуры соединения в целом.

С помощью технологических приемов также возможно изменение направления кристаллизации металла шва. Известен способ использования переменного электромагнитного поля для измельчения структуры металла шва.

Направление кристаллизации может быть изменено за счет коэффициента формы шва (глубины проплавления), например, при использовании активирующих флюсов [2].

Наиболее доступными и универсальными технологическими методами воздействия являются использование импульсных или шаго-импульсных режимов сварки, а также многопроходной технологии сварки [3].

Импульсные способы управления процессом сварки

За последнее десятилетие также нашли применение следующие импульсные способы управления процессом сварки [4]:

- наложение внешнего магнитного поля;
- программирование скорости подачи электрода;
- импульсная подача газа(ов);
- импульсное изменение тока.

В работе [5] выявлено, что электромагнитное поле оказывает наиболее важное влияние на процесс переноса электродного металла, так как тип переноса металла меняется с крупнокапельного на струйный. Применение ЭМВ на основе аксиальных импульсных магнитных полей позволяет увеличить частоту переноса капель и соответственно уменьшить их размеры.

В работе [6] показано, что при сварке с импульсной подачей электродной проволоки происходит снижение тепловложения и образование более благоприятной структуры металла шва и ОШЗ, что способствует повышению механических характеристик.

Разработана новая технология дуговой сварки в защитных газах на основе применения пульсаций газовых потоков и пульсаций потенциалов ионизации, когда впервые в сварочной технологии использованы раздельно положительные свойства гелия и аргона. Гелий, обладая высокой текучестью, проникает в стык между кромками и обеспечивает защиту и подогрев обратной стороны шва. По сравнению с традиционной технологией дуговой сварки в защитных газах без пульсаций новая технология более эффективна для получения бездефектных швов [7]. Применение при дуговой сварке в защитных газах попеременной импульсной подачи разнородных газов (гелия и аргона) позволило создать принципиально новый технологический процесс, сочетающий достоинство аргонодуговой (АДС) и гелиеводуговой (ГДС)

сварки [8]. Благодаря пульсирующему изменению давления в столбе дуги, вызванному различием плотности и потенциалов ионизации аргона и гелия, возникает эффект периодического ударного воздействия на сварочную ванну, обеспечивающий получение металла сварного шва с мелкозернистой структурой, высокими пластичностью и прочностью металла.

Заключение

Показана возможность и необходимость управления структурой и свойствами сварных соединений, выполняемых одноимпульсной аргонодуговой сваркой.

В качестве металлургических методов управления структурой металла сварного шва целесообразно применение легирования с помощью сварочной проволоки, а также модифицирования.

Показана эффективность и доступность технологического приема улучшения структуры сварных швов сталей путем использования импульсной или шаго-импульсной технологии и многопроходной сварки.

Таким образом, регулирование структуры ЗТВ и шва возможно путем выбора рациональной системы легирования состава стали и сварочных проволок, применение оптимальных режимов и технологии сварки, металлургических и технологических приемов.

Список литературы

1. Шипилов А.В., Коновалов А.В., Бровко В.В., Полосков С.И. (2011). Управление структурой сварных соединений при орбитальной TIG-сварке технологических трубопроводов компрессорных станций // Известия вузов. Машиностроение. – 2011. – № 6. – 44–52.
2. Design of weld fillers for mitigation of residual stresses in ferritic and austenitic steel welds / R.J. Moat et all. // Science and Technology of Welding & Joining. – 2011. – Vol. 16, № 3. – P. 279–284.
3. Murugan N., Gunaraj V. Prediction and control of weld bead geometry and shape relationships in submerged arc welding of pipes // Journal of Materials Processing Technology. – 2005. – Vol. 168. – P. 478–487.
4. Крампит Н.Ю., Буракова Е.М., Крампит М.А. Краткий обзор способов управления процессом дуговой сварки в среде защитных газов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1.
5. Huang Jiankang, Han Rihong, Shi Yu, Fan Ding, Zhang Yuming // J. Mech. Eng. – 2012. – Vol. 48, № 8. – P. 44–48.
6. Крюков А.В., Павлов Н.В., Зеленковский А.А. Особенности сварки с импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство. – 2013. – № 5. – С. 37–39.
7. Новиков О.М., Радько Э.П., Иванов Е.Н. Разработка новой технологии дуговой сварки в защитных газах на основе применения пульсации газовых потоков и потенциалов ионизации // Сварщик – профессионал. – 2006. – № 6. – С. 10–13.
8. Тазетдинов Р.Г., Новиков О.М., Персидский А.С. Дуговая сварка в защитных газах ст попеременной импульсной подачей разнородных газов // Сварочное производство. – 2012. – № 1. – С. 38–42.

ПОСТРОЕНИЕ РАСПИСАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О РЮКЗАКЕ

Андреев Д.И., аспирант гр. АЗ-31, ИШИТР

e-mail: ad_tomsk@tpu.ru

Муравьев С.В., д.т.н., профессор, ОАР ИШИТР

e-mail: muravyov@tpu.ru

НИИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Введение

Эффективность осуществления инвестиционно-строительных проектов значительно зависит от качества календарно-сетевого планирования (КСП). Современные подходы к КСП предполагают постоянные изменения и улучшения на протяжении всего жизненного цикла проекта, что позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям и рискам. Анализ эффективности выполнения проектов в строительной отрасли [1–3] показывает, что, например, в США 75% таких проектов сталкиваются с задержкой сроков выполнения. Основная цель сетевого планирования состоит в **минимизации сроков реализации проекта**.

Повышение эффективности КСП позволяет сократить издержки производства и повысить конкурентную привлекательность компании. Организация КСП крупных инвестиционных строительных проектов требует использования программного обеспечения на основе алгоритмов, которые позволяли бы изменять параметры расписаний строительных работ в режиме реального времени.

Для достижения этой цели необходимо формально представить и оптимизировать последовательность и взаимозависимость работ, действий и/или мероприятий, обеспечивающих своевременное достижение ключевых этапов (вех) работ за счет эффективного управления технико-людскими ресурсами (ТЛР).

Постановка задачи

Одним из возможных подходов является применение комбинаторной оптимизационной задачи о рюкзаке (*knapsack problem*). Задача состоит в том, чтобы из заданного множества предметов, характеризующихся *стоимостью* и *весом* отобрать подмножество с максимальной стоимостью при ограничении на суммарный вес [4].

Пусть имеется n предметов; количество x_i копий каждого предмета определяется выбором между 0 или 1; для каждого i -го предмета заданы его вес $w_i > 0$ и стоимость $v_i > 0$, $i = 1, \dots, n$; задана также грузоподъемность W рюкзака. Тогда задача о рюкзаке формулируется следующим образом:

$$\text{найти} \quad \max \sum_{i=1}^n v_i x_i \quad \text{при ограничениях} \quad \sum_{i=1}^n w_i x_i \leq W \quad \text{и} \quad x_i \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (1)$$

По аналогии с задачей о рюкзаке *задача о расписании* может быть представлена как выбор и последовательное выполнение набора работ (заданий) с учетом временных ограничений и их важности в рамках проекта. Оптимальным будем считать **расписание, которое минимизирует количество запаздывающих работ**.

Роль предметов в задаче о расписании будут выполнять работы. Стоимость предметов будем трактовать как время выполнения работы p_i ; в каждый момент времени может только одна работа. Вес w_i предметов в задаче о расписании можно трактовать как доход, полученный от выполнения работы [5].

Пусть имеются n работ, $i = 1, \dots, n$, для каждой из которых заданы время выполнения p_i , срок начала r_i , срок выполнения d_i и вес (доход) w_i . Необходимо составить расписание работ для одного ТЛР так, чтобы **минимизировать сумму весов запаздывающих работ**. При этом прерывание любой работы не разрешено. Пусть также для работ выполняется условие $d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_n$.

Тогда задача о расписании состоит в нахождении допустимого множества работ с максимальным весом может быть сформулирована в форме задачи о рюкзаке [5]:

$$\max \sum_{j=1}^n w_j x_j \text{ при ограничениях } \sum_{j=1}^n p_j x_j \leq d, d = d_1 = \dots = d_n \text{ и } x_i \in \{0,1\}, j = 1, \dots, n. \quad (2)$$

Ясно, что работа j может начинаться не раньше срока r_j и должна завершиться не позже срока d_j . Кроме того, необходимо учитывать ограничения по времени: суммарные времена выполнения выбранных заданий не должны превышать доступного времени.

Методы решения

Трансформация перечня строительных работ в набор операций, выполняемых ТЛР, позволяет применить для организации этих работ описанную выше задачу построения оптимального расписания. Трансформация предполагает детальный анализ работ и выделение ключевых этапов их выполнения. Воспользуемся, например, информацией из справочника строительных работ, см. табл. 1. Трансформируя работу «Расчистка от лесорастительности 10 гектаров леса», получаем соответствующий перечень операций ТЛР, как показано на рис. 1.

Таблица 1

Требуемые технико-людские ресурсы для расчистки от лесорастительности 1 га из справочника

Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Нормы (час.)
Затраты труда рабочих-строителей	чел. ч		240,863
Вальщик леса	чел. ч	4	192,69
Подсобный рабочий	чел. ч	1	48,17
Эксплуатация машин и механизмов	маш. ч		58,653
Бульдозер среднего класса (массой 21–35 т)	маш. ч	1	13,56
Комбайн лесосечный	маш. ч	1	9,62
Трактор трелевочный	маш. ч	1	12,50
Экскаватор гусеничный среднего класса (массой 16–35 т)	маш. ч	1	22,972

```
"operation_name": "Расчистка от лесорастительности", "quantity_work": 10
{"type_tlr": "Вальщик леса", "quant_tlr": 4, "oper_rank": 0, "oper_id": 0, "value": 500, "rank_unl": 1, "total_time": 1926.9},
{"type_tlr": "Подсобный рабочий", "quant_tlr": 1, "oper_rank": 0, "oper_id": 0, "value": 500, "rank_unl": 1, "total_time": 481.7},
{"type_tlr": "Бульдозер", "quant_tlr": 1, "oper_rank": 0, "oper_id": 0, "value": 500, "rank_unl": 1, "total_time": 135.6},
{"type_tlr": "Комбайн", "quant_tlr": 1, "oper_rank": 0, "oper_id": 0, "value": 500, "rank_unl": 1, "total_time": 96.2},
{"type_tlr": "Трактор трелевочный", "quant_tlr": 1, "oper_rank": 0, "oper_id": 0, "value": 500, "rank_unl": 1, "total_time": 125.0},
{"type_tlr": "Экскаватор", "quant_tlr": 1, "oper_rank": 0, "oper_id": 0, "value": 500, "rank_unl": 1, "total_time": 229.72}
```

Рис. 1. Вид базы данных операций по расчистке 10 га лесорастительности

Для решения задачи (2) традиционно используются следующие методы [4, 5]:

- *динамическое программирование* (задача разбивается на подзадачи, результаты решения которых используются для построения решения полной задачи; может требовать значительных вычислительных ресурсов в худшем случае);
- *генетические и метаэвристические методы* (эволюционные алгоритмы, где набор решений рассматривается как популяция; способны находить близкие к оптимальным решения для высоко размерных задач, но не гарантируют оптимального решения);
- *метод ветвей и границ* (метод сокращенного перебора при поиске оптимального решения; обеспечивает более эффективный поиск решения, т. к. отсекающие уменьшают количество рассматриваемых подзадач; гарантирует нахождение оптимального решения, но может требовать значительных вычислительных ресурсов в худшем случае).

В ходе предварительных исследований, был применен метод ветвей и границ для решения задачи оптимального планирования работ для двух групп ТЛР – «комбайн» и «бульдозер», см. рис. 2. Применение метода позволило гарантировать нахождение *оптимального расписания*.

Планируем ресурс Бульдозер

Тип ТЛР = Бульдозер, Количество ТЛР = 3, Общая ценность: 1050, Общий вес: 135.92

Операция 1: Расчистка от лесорастительности, Кол-во единиц = 1, Ранг = 0, Вес = 135.6, Ценность = 500, Удельный вес = 3.68

Время начала: 01-10-2023 09:00:00, Время окончания: 13-10-2023 12:36:00

Операция 2: Разработка грунта, Кол-во единиц = 1, Ранг = 1, Вес = 0.07, Ценность = 300, Удельный вес = 4285.71

Время начала: 13-10-2023 12:36:00, Время окончания: 13-10-2023 12:40:12

Операция 3: обратная засыпка, Кол-во единиц = 1, Ранг = 2, Вес = 0.25, Ценность = 250, Удельный вес = 1000.0

Время начала: 13-10-2023 12:40:12, Время окончания: 13-10-2023 12:55:12

Планируем ресурс Комбайн

Тип ТЛР = Комбайн, Количество ТЛР = 2, Общая ценность: 520, Общий вес: 932.0

Операция 1: Расчистка от лесорастительности, Кол-во единиц = 1, Ранг = 0, Вес = 96.2, Ценность = 500, Удельный вес = 5.19

Время начала: 01-10-2023 09:00:00, Время окончания: 09-10-2023 17:12:00

Операция 2: Мульчирование, Кол-во единиц = 1, Ранг = 0, Вес = 835.8, Ценность = 20, Удельный вес = 0.02

Время начала: 09-10-2023 17:12:00, Время окончания: 24-12-2023 19:48:00

Рис. 2. Пример полученного расписания для технико-людских ресурсов

Заключение

В условиях постоянно растущих требований к эффективности и срокам выполнения строительных проектов применение современных методов КСП стало особенно актуальным. Использование строго обоснованных формальных моделей построения оптимальных расписаний и эффективных методов их реализации должен позволить более эффективно управлять временными и ресурсными ограничениями в режиме реального времени, что приведет к повышению успешности проектов. В данном исследовании удалось реализовать механизм оптимального планирования работ для групп ТЛР последовательно в один поток, в дальнейших исследованиях планируется распространение подхода на случай многопоточного режима для группы ТЛР. В дальнейшем предполагается реализовать: агрегирование индивидуальных расписаний [6] с учетом предпочтений и находить оптимальное групповое расписание как ранжирование консенсуса индивидуальных расписаний [7]; учет наличия материальных ресурсов при оценивании возможности выполнения работ; вычисление ценности работы с учетом внешних факторов и неопределенностей. Результаты этих исследований позволят построить программную модель для оценки качества стратегий управления проектами.

Список литературы

1. Kukhnavets P. What Causes Construction Project Delays: 9 Reasons that Make Work Fall Behind Schedule. – URL: <https://blog.ganttpro.com/en/reasons-for-construction-project-delays> (дата обращения: 05.11.2024).
2. Five Challenges in Meeting Construction Deadlines. – URL: <https://blog.constructionmarketingassociation.org/5-challenges-meeting-construction-deadlines-solve> (дата обращения: 05.11.2024).
3. 75 % of US Construction Firms Encounter Rework Twice a Week. – URL: <https://www.xyzreality.com/resources/construction-nightmares-report-reveals-75-of-us-companies-encounter-rework-at-least-twice-a-week> (дата обращения: 05.11.2024).
4. Martello S., Toth P. Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementation. – Chichester, John Wiley & Sons, 1990. – 296 p.
5. Lawler E.L. Knapsack-like scheduling problems, the Moore-Hodgson algorithm and the «tower of sets» property // Mathematical and Computer Modelling. – 1994. – V. 20, № 2. – P. 91–106.
6. Сидоренко А.М., Хоботов Е.Н. Агрегирование при планировании работ на машиностроительных предприятиях // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2013. – № 5. – С. 132–144.
7. Муравьев С.В., Борисова М.А. Агрегирование предпочтений в интерпретации данных энергетических обследований // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 12. – С. 155–163.

ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ «MES» В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

Малеев Л.А.¹, Шаповалов Д.С.²

^{1,2}студент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II,

Санкт-Петербург, Россия,

e-mail: lenyamaleev@yandex.ru; theveltonman1@gmail.com

MES – это система управления предприятием, использующая цифровое программное обеспечение. Она отвечает за планирование, контроль, мониторинг и оптимизацию производственных процессов на заводах – изготовителях в машиностроительной отрасли. Эта система также помогает улучшить эффективность производства и повысить качество продукции на предприятии [1].

MES обеспечивает контроль производственного процесса в режиме реального времени, позволяя всем сторонам, участвующим в процессе производства, контролировать операции, выявлять узкие места, минимизировать время простоя и принимать обоснованные решения. Использование MES для оптимизации планирования и управления производством способствует эффективному распределению ресурсов, распределению нагрузки, коммуникации и интегрированию внутрисистемных программ отдельного цикла производства внутри единого технологического программного обеспечения, своевременной доставке материалов (продукции) и повышению прибыльности компании (см. рис 1). Через MES данные из производственных систем по всему миру могут быть подключены к информационному потоку центральной системы ERP. Программное обеспечение MES обеспечивает эффективный сбор машинных и эксплуатационных данных. Благодаря их поддержке производственные задания могут быть оптимально спланированы. Цифровая документация заданий позволяет службе контроля качества собирать данные и функционировать независимо от таких программ, как Microsoft Excel или Word [3].

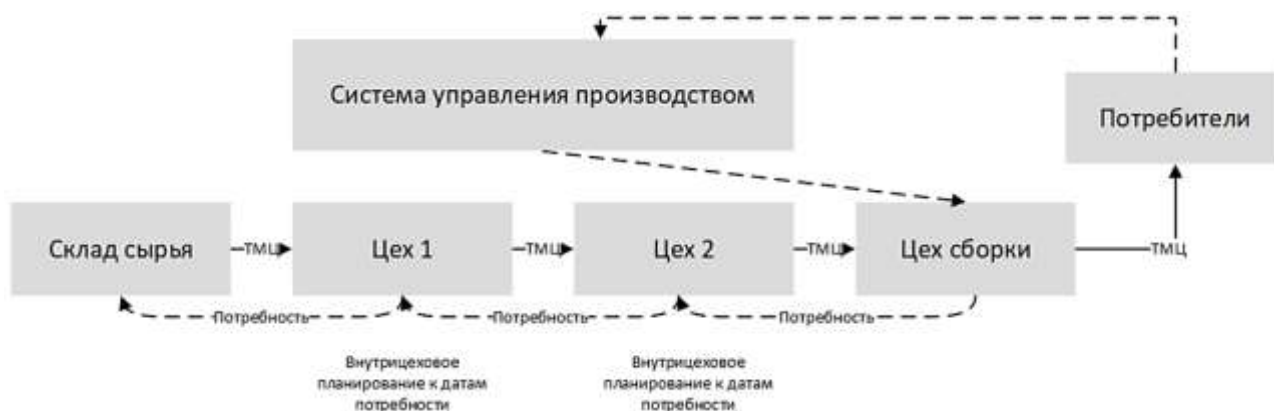


Рис. 1. Схема планирования и управления производственными процессами [2]

В машиностроительной области одной из снов производства являются сборочные линии. MES для сборочных линий предоставляет возможность удалённого управления производственными процессами. Система подходит для предприятий средних и больших мощностей с более чем 10 линиями, и они интегрируются со всеми производственными площадками, удовлетворяя разнообразные требования, присущие сборочным линиям.

В автомобильной промышленности средства управления MES играют решающую роль в координации сложных сборочных лент. Они отслеживают ход движения транспортных

средств на сборочной линии, контролируют доступность компонентов и синхронизируют операции на различных производственных станциях. MES в автомобильной промышленности часто ориентированы на обеспечение контроля качества, управление отзывами и соблюдение отраслевых стандартов, также система может контролировать и передавать на главный компьютер сведения о объёме выполненных работ сотрудника организации за конкретный период. Предприятия автомобильной отрасли, на которых используются исполнительные системы: автомобильный завод «Урал»; японская автомобильная компания «Mitsubishi Motors»; немецкий концерн «Volkswagen Group» и т. д. [4]

Предприятие трубного проката ПАО «Северсталь» разработала собственное программное обеспечение по технологическому управлению и составлению маршрутного процесса обработки и изготовления деталей. В программе уже встроены все операции, которые возможно выполнить в производственном цеху, а также оборудование, на которое выполняется та или иная операция, инженеру-технологу просто необходимо выбрать нужную операцию и оборудование, а система сама автоматически пропишет к каждому выбранному элементу технологические примечания в виде допусков, припусков, возможных деформаций и дефектах в процессе обработки детали на отдельном виде оборудования. Это позволяет должным образом сократить время на составление технологической документации, нарастить тем самым объёмы производства, и сократить себестоимость продукции.

Подводя итоги, можно отметить следующее:

- Исполнительная система MES позволяет увеличить объёмы производства практически любого машиностроительного предприятия, снизив тем самым себестоимость выпускаемой продукции, за счёт консолидации и цифровизации процессов производства в единое программное обеспечение.
- С помощью данной системы можно отслеживать и контролировать качество и объёмы выполненных работ каждого сотрудника, вносить свои изменения и поправки внутри самой программы.
- Также программное обеспечение MES позволяет установить взаимосвязь между производственными и бизнес-процессами компании, что в конечном итоге приводит к повышению её финансовых результатов.

Список литературы

1. Manufacturing Execution System // SOFTWARE URL: <https://www.wsw.de/lexikon/mes/> (дата обращения: 06.10.2024).
2. MES – Автоматизированная система управления производством // 2050 – Интегратор URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view> (дата обращения: 06.10.2024).
3. Асланова И.В. MES как основа разработки систем управления производственными процессами предприятия // Российское предпринимательство. – Новосибирск: Креативная экономика, 2021. – С. 1652–1656.
4. Белоусова Ю.Г. Управление производственными процессами современного предприятия // Воронеж: ВГТУ, 2012. – С. 242–245.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ФРЕЗАМИ-РОУТЕРАМИ

Салатов К.О.¹, Вакулин М.С.¹, Гордеев Ю.И.², Бинчуров А.С.²

¹Политехнический институт Сибирский федеральный университет,
Красноярск, Россия,
e-mail: zetauiii@mail.ru

²Политехнический институт Сибирский федеральный университет, Красноярск

Повышение эффективности прецизионной высокоскоростной обработки резанием сложнопрофильных изделий для аэрокосмической отрасли, получаемых из титановых и алюминиевых сплавов, требует комплексного подхода, сопряженного с решением нескольких взаимосвязанных задач: разработки и совершенствования новых конструкций инструмента, оптимизации режимов резания, создания полуэмпирических моделей и расчётных формул для определения рациональных режимов резания, прогнозирования качества обработки поверхности на стадии проектирования технологических процессов.

Цель работы – теоретическое и экспериментальное обоснование кинематических параметров и режимов высокоскоростного фрезерования для повышения производительности и качества обработки сложнопрофильных поверхностей деталей.

Экспериментальные исследования по фрезерованию изделий из алюминиевого сплава АМг6М проводились на фрезерном обрабатывающем центре Mikron VCE 800 PRO. В качестве инструментов использовались оригинальные конструкции многолезвийных фрез, разработанных ранее [1, 2] – рис. 1. Отличительной особенностью этих фрез-роутеров является увеличенное количество режущих кромок и профиля зубьев в виде усеченных трапеций – рис. 1, *а* (образованных пересечением двух винтовых канавок – рис. 1, *б*), что способствует увеличению производительности и повышению качества обработки поверхностей (по показателям шероховатости).

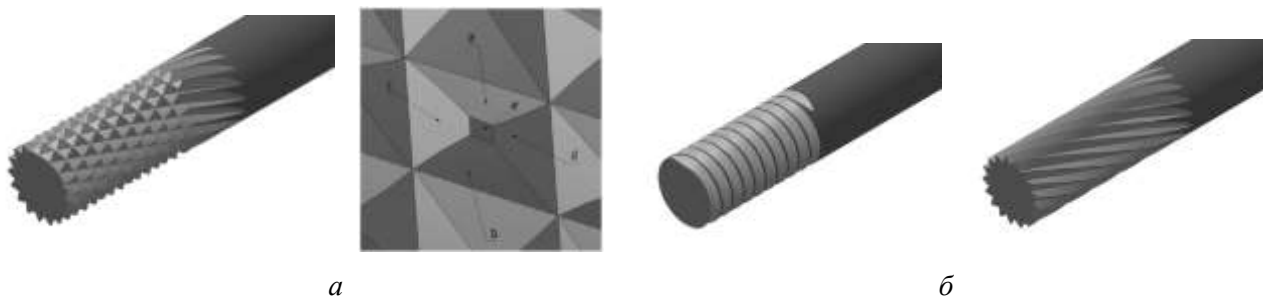
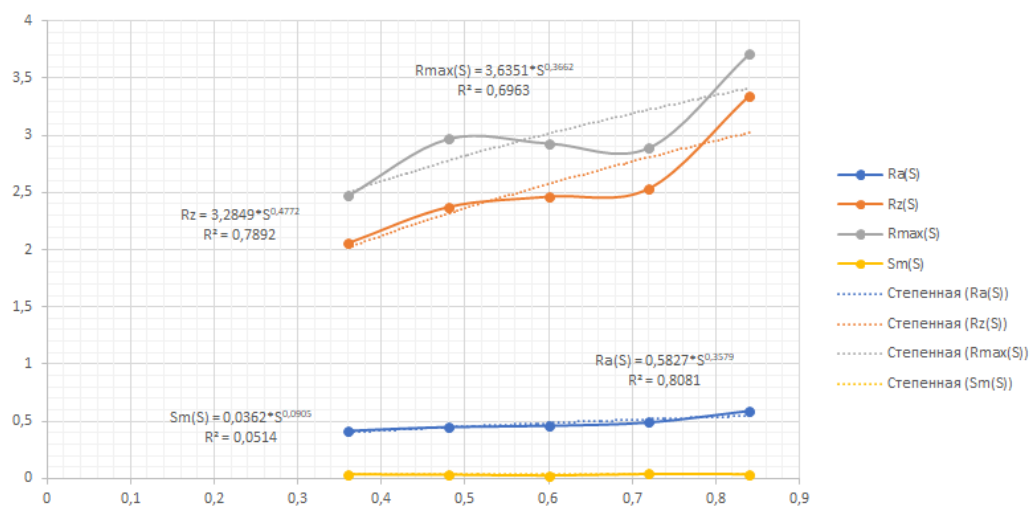
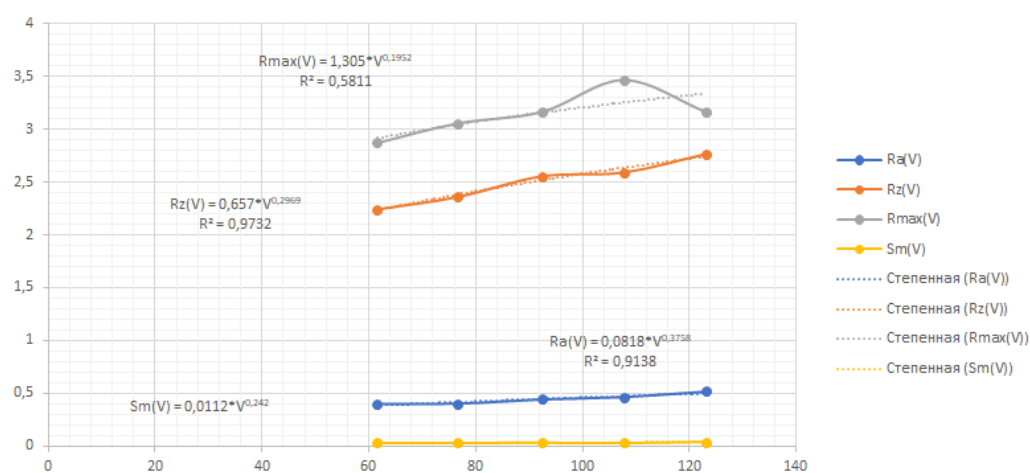


Рис. 1. Геометрия режущей части фрез-роутеров

При экспериментальном изучении качества поверхностей при высокоскоростном фрезеровании контролировались высотные параметры R_a , R_z , которые зависят от условий и режимов резания. Определение параметров шероховатости поверхностей образцов производилось измерением на профилометре-профилографе модели MarSurf M300 (диапазон измерений от -200 до $+150$ мкм), которые оценивались в соответствии с ГОСТ 2789-73. По результатам обработки экспериментальных данных при проведении однофакторных и многофакторных экспериментов были получены зависимости параметров шероховатости от режимов резания – рис. 2 и полуэмпирические расчётные формулы для прогнозирования этих параметров. Необходимо отметить, что величина глубины резания не оказывает существенного влияния на качество обработки, поскольку она лимитируется геометрическими размерами режущей части фрезы.



a



b

Рис. 2. Влияние подачи (а) и скорости резания (б) на параметры шероховатости обработанной поверхности

Типичные изображения профилей поверхности на профилометре (рис. 3) показывают хорошее совпадение с данными комплексных экспериментальных измерений шероховатости.

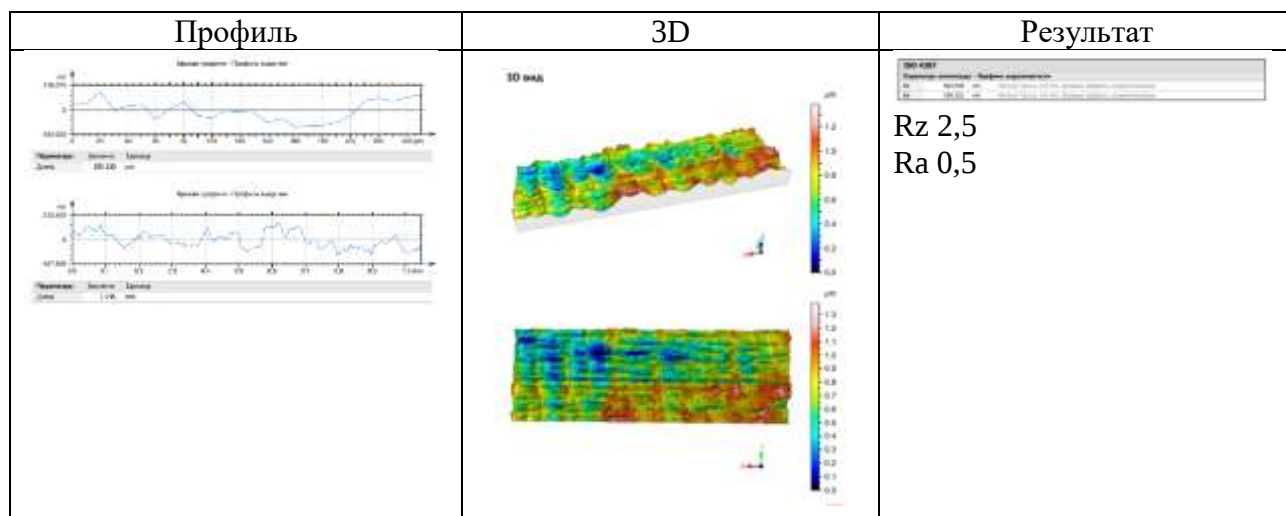


Рис. 3. Профилограммы поверхностей, обработанных фрезой-роутером

Результаты проведенных комплексных параметрических исследований показывают возможности повышения качества обработки поверхностей многолезвийными твердосплавными фрезами-роутерами при одновременном повышении производительности (за счёт увеличения интенсивности формообразования). Полученные полуэмпирические расчётные формулы позволяют определять рациональные режимы резания и прогнозировать параметры шероховатости поверхностного слоя на стадии разработки технологических процессов.

Список литературы

1. Патраев Е.В., Вакулин М.С., Гордеев Ю.И., Ясинский В.Б. Высокоскоростное микрофрезерование деталей из композиционных материалов и алюминиевых сплавов. Известия вузов. Машиностроение. – № 12(741)/2021. – С. 62–72.
2. Vakulin M.S., Gordeev Y.I., Yasinsky V.B. Design of tools with the cutting part of the original profile for high-speed milling // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – Т. 754. – № 1. – С. 012008.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НА ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ НАПЛАВКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ КОСВЕННОЙ ДУГОЙ

Безруких А.А.

Сибирский Федеральный Университет, аспирант.

e-mail: Bezrukich_andrey@mail.ru

Различные способы дуговой наплавки плавящимся электродом и аддитивные технологии на основе проволоочно-дугового выращивания (WAAM) позволяют обеспечить высокую производительность процессов, которая достигается за счет увеличения скорости подачи проволоки. При этом, они имеют существенный недостаток. Увеличение скорости подачи приводит к увеличению тепловой мощности [1–2] и чрезмерному проплавлению основного металла, что в конечном итоге, снижает энергетическую эффективность процесса. Обеспечить высокую производительность и минимальное проплавление, позволяют известные способы многоэлектродной наплавки [3]. Также, устранить этот недостаток позволяет технология наплавки дугой косвенного действия [4–5]. Однако, вопросы применения косвенной дуги, особенно при наплавке алюминиевых сплавов, мало освещены в литературе.

Цель работы: изучение характера переноса электродного металла при использовании дуги косвенного действия между плавящимися электродами из алюминиевого сплава.

Для проведения исследований была разработана и изготовлена специальная установка, показанная на рис. 1.



Рис. 1. Установка для проведения исследований: а – модель, б – лабораторный образец

Конструкция установки позволяет обеспечить подачу двух проволок в общую зону плавления. Для питания косвенной дуги использовался источник питания для механизированной сварки Янтарь МИГ 450. В качестве электродов использовали проволоку сплошного сечения марки АМг5 диаметром 1,2 мм. В качестве защитного газа использовали аргон. В ходе экспериментов фиксировали осциллограммы токов и напряжений с параллельной видеосъемкой процесса горения. Для определения особенностей переноса электродного металла при различных режимах горения косвенной дуги проводили эксперименты по изменению скоростей подачи проволок ($V_{п}$, м/мин) в процессе их плавления. В ходе экспериментов определяли ток дуги ($I_{д}$, А) и напряжение дуги ($U_{д}$, В).

На рис. 2 показаны видеокadres процесса горения дуги в диапазоне скоростей подачи проволок $V_{п} = 9...15$ м/мин. Установлен крупнокапельный перенос электродного металла, диаметр капель составляет 3...5 мм. При анализе видеокadres горения дуги выявлено отклонение капель от центральной оси плазменного факела. Процесс сопровождается редкими короткими замыканиями, которые, исходя из анализа видеозаписей не имеют цикличности по времени и носят случайный характер.

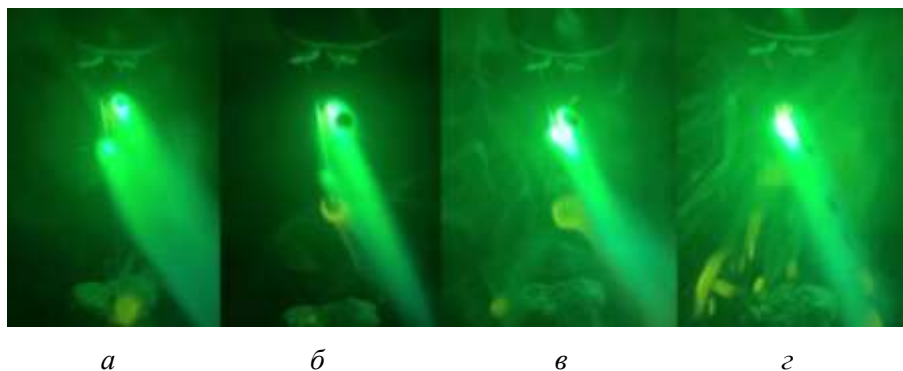


Рис. 2. Видеокадры горения косвенной дуги при различных скоростях подачи проволоки:
 а – $V_n = 9$ м/мин; б – $V_n = 11$ м/мин; в – $V_n = 14$ м/мин; г – $V_n = 15$ м/мин

На рис. 3 показаны видеокадры горения дуги в диапазоне $V_n = 16–20$ м/мин.

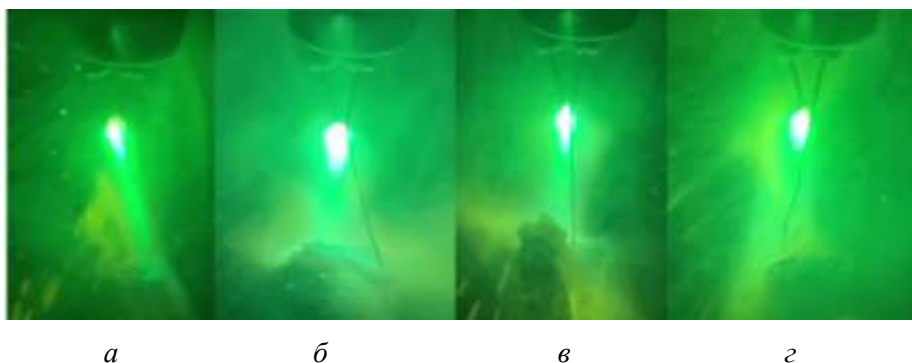


Рис. 3. Видеокадры горения косвенной дуги при различных скоростях подачи проволоки:
 а – $V_n = 17$ м/мин; б – $V_n = 18$ м/мин; в – $V_n = 19$ м/мин; г – $V_n = 20$ м/мин

Анализ видеокادров и осциллограмм горения косвенной дуги показал, что в диапазоне $V_n = 18–19$ м/мин ($I_d = 200–220$ А., $U_d = 24–25$ В.) существует область наиболее благоприятного переноса электродного металла (рис. 3 б, в) при котором наблюдается поток жидкого металла с катодной проволоки при отсутствии колебаний тока и напряжения косвенной дуги. Также установлено, что увеличение V_n свыше 19 м/мин (рис. 3, г) приводит к снижению стабильности процесса горения и увеличению разбрызгивания электродного металла.

Вывод: установлено влияние режимов горения косвенной дуги на особенности переноса электродного металла при использовании электродов из алюминиевого сплава и определена область наиболее благоприятного переноса с образованием потока жидкого металла с катодной проволоки.

Список литературы

1. Ленивкин В.А., Дюргеров Н.Г., Сагиров Х.Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
2. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. – М.: Машиностроение, 1974. – 240 с.
3. Безруких А.А. Сравнительный анализ наплавки различными способами плавящимися электродами для сварки нержавеющей сталей / А.А. Безруких, Р.А. Мейстер, М.А. Лубнин, С.А. Готовко // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2010. – № 4(30). – С. 145–148.
4. Zhang Y.M., M. Jiang, and W. Lu, Double electrodes improve GMAW heat input control. *Welding Journal*, 2004. – 83(11). – P. 39–41.
5. Li K.H. Consumable double-electrode GMAW. Part 1: The process / K.H. Li, Y.M. Zhang // *Welding Journal*, 2008. – Vol. 87, No. 1. – P. 11–17.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КРУГЛЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ СВЕРХТВЁРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО ОХЛАЖДЕНИЯ

*Кокорин И.Н.
Тюменский индустриальный университет,
e-mail: kokorin.i.n@yandex.ru*

Аннотация

В данной статье рассматривается влияние внутреннего охлаждения режущих пластин на термическое и механическое поведение инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов. Основное внимание уделяется анализу температурных полей и эквивалентных напряжений, полученных с использованием программного комплекса ANSYS. Исследования показали, что использование внутреннего охлаждения позволяет существенно снизить температурные нагрузки и связанные с ними деформации, что улучшает эксплуатационные характеристики инструмента.

Введение

Механическая обработка труднообрабатываемых материалов, таких как титановые и жаропрочные сплавы, сопровождается значительным тепловыделением в зоне резания. Это приводит к высоким уровням термических напряжений, ускоренному износу инструмента и ухудшению качества обработки. Применение резцедержателей с внутренним охлаждением представляет собой инновационное решение, направленное на управление тепловыми процессами и повышение эффективности обработки.

Целью данной работы является исследование термического и механического поведения режущей пластины при использовании внутреннего охлаждения и оценка его влияния на эксплуатационные характеристики инструмента.

Методика исследования

Расчёты выполнены с использованием программного обеспечения ANSYS 2020 R2. Основные этапы моделирования включали:

1. Построение геометрической модели круглой режущей пластины из СТМ.
2. Определение граничных условий, включая параметры теплового потока, контактное взаимодействие с заготовкой и условия внутреннего охлаждения.
3. Проведение термического анализа для двух сценариев:
 - без использования охлаждения;
 - с использованием внутреннего охлаждения.
4. Анализ результатов, включая распределение температурных полей и эквивалентных напряжений.

Результаты и обсуждение

Анализ температурных полей показал, что без внутреннего охлаждения максимальная температура достигает 750 °С, что превышает допустимые значения для большинства СТМ. При использовании внутреннего охлаждения температура снизилась до 442 °С, что свидетельствует о существенном улучшении условий работы инструмента.

Распределение эквивалентных напряжений также продемонстрировало положительное влияние охлаждения. Без охлаждения максимальные напряжения достигали 1148,735 МПа, тогда как при внутреннем охлаждении значения снизились до 1446,1 МПа. Это указывает на снижение термических нагрузок и повышение надёжности инструмента.

Практическое значение

Снижение температурных и механических нагрузок позволяет:

- увеличить срок службы инструмента;
- улучшить качество обработки поверхности;
- снизить затраты на инструментальную оснастку.

Эти результаты подтверждают целесообразность использования внутреннего охлаждения при обработке труднообрабатываемых материалов.

Заключение

Внутреннее охлаждение режущих пластин существенно улучшает их эксплуатационные характеристики, позволяя эффективно управлять тепловыми и механическими нагрузками. Проведённый анализ демонстрирует, что внедрение данной технологии способствует повышению производительности и качества обработки, снижая износ инструмента.

Список литературы

1. Ezugwu E.O., Wang Z.M. (1997). Titanium alloys and their machinability—a review. *Journal of Materials Processing Technology*, 68(3), 262–274. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(96\)00030-1](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(96)00030-1).
2. Denkena B., Lucas A. (2007). Biocompatible implants: machining of titanium alloys. *CIRP Annals*, 56(1), 113–136. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2007.05.028>.
3. Klocke F., Kuchle A. (2011). *Manufacturing Processes 1: Cutting*. Springer, 3rd Edition. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11979-8>.
4. Arrazola P.J., et al. (2013). Machinability of titanium alloys (Ti6Al4V and Ti555.3). *Journal of Manufacturing Processes*, 10(1), 10–25. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2012.11.003/>.
5. Sarikaya M., Gok K. (2021). A review on machinability of titanium alloys: advancements in cutting tools. *Journal of Manufacturing Processes*, 64, 170–208. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.02.021>.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И СОЗДАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СБОРОК В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Рагиня Д.В.¹, Бинчуров А.С.², Ясинский В.Б.³

*¹Сибирский федеральный университет, аспирант,
e-mail: denisraginya@yandex.ru*

*²Сибирский федеральный университет, Политехнический институт, доцент,
e-mail: mexanixs@mail.ru*

*³Сибирский федеральный университет, Политехнический институт, доцент,
e-mail: VYasinskiy@sfu-kras.ru*

Выбор режущего инструмента и инструментальных сборок является одним из важных этапов технологической подготовки производства при разработке технологического процесса.

Вопросы автоматизированного подбора оптимального режущего инструмента рассмотрены в работах [1, 2, 3].

Основные свойства и характеристики режущих инструментов могут быть описаны с помощью формальных математических моделей, обеспечивающих адекватность и сохраняющих наглядность и необходимую содержательность для пользователя.

Основные проблемы при использовании автоматизированных систем подготовки производства: появление нового инструмента или замена инструмента на «аналог» – это приводит к необходимости изменения и корректировке технологического процесса, управляющих программ; большое количество источников данных по инструменту, что требует на предприятии формировать гибкую базу данных по инструменту, которая показывает режущий инструмент и комплектацию инструментальных сборок имеющихся на инструментальном складе, у поставщиков, в сети интернет у других поставщиков и производителей. Это требует постоянно вносить новый инструмент, удалять не актуальный, проводить актуализацию технологических процессов; проблема стандартизации инструмента и его классификации в рамках базы данных предприятий, что позволит его однозначно идентифицировать, как наиболее актуальный.

Существует множество автоматизированных систем, включающих обработку и хранение информации о режущих инструментах, технологической оснастке и условиях их использования на производстве.

В настоящее время существует комплекс международных стандартов ИСО 13399, представляющий собой средство электронного представления данных по режущим инструментам с помощью информационной структуры, необходимой для их описания и компоновок, предназначен для облегчения использования, манипулирования и обмена этими данными в процессе производства, распределения и применения. В Российской Федерации введены в обращение стандарты ГОСТ 55341, ГОСТ 55342 и др., которые определяют представление и обмен данными по режущим инструментам.

Комплекс стандартов включает представление данных обо всех объектах, начиная с заготовок и заканчивая металлорежущим станком. Можно обмениваться информацией о вставках (сменные режущие пластины правильной и сложной конфигурации), твердотельных резцах (сплошное сверло и концевая фреза), сборных инструментах (расточные оправки, сверла и фрезы с многогранными режущими пластинами), об адаптерах (фрезерные оправки и зажимные патроны), о компонентах (регулируемые шайбы, винты и зажимы) или любых комбинациях указанных инструментов.

Комплекс стандартов предназначен для применения в производстве, устанавливает общую структуру обмена данными о режущих между изготовителями и поставщиками инструментов, а также разработчиками производственного программного обеспечения, которые рассматривают: представления общей совокупности определений для использования при

описании отдельных режущих инструментов и в сборе; интеграции и совместного применения этих данных между приложениями программного обеспечения; прямого импорта данных об инструментах поставщиков в базы данных заказчиков или прикладные программы; снижения усилий производителей в отношении представления правильной текущей информации о режущих инструментах из разных источников и для множественных применений. Настоящий стандарт не распространяется на: информационные модели режущих инструментов; классификации и определения элементов и типов элементов данных режущих инструментов; ассоциации между свойствами и элементами в заданной классификации.

Решение задачи формирования инструментальных сборок представляет собой структурный синтез, который заключается в преобразовании описаний проектируемого объекта, исходное описание содержит информацию о требованиях к свойствам объекта, об условиях его функционирования, ограничениях на элементный состав и т. п., а результирующее описание должно содержать сведения о структуре, т. е. о составе элементов и способах их соединения и взаимодействия.

В работе рассмотрена информационная модель конструкций режущего инструмента на основе морфологических таблиц, организованных на базе фасетной системы классификации, в которой описаны конструктивные параметры режущего инструмента и инструментальных сборок. Морфологическая таблица (F) представляет собой обобщенную структуру в виде множества признаков, которыми обладают синтезируемые объекты рассматриваемого класса конструкций токарного режущего инструмента, и подмножеств способов их реализации.

Формализованное описание конструкций инструментальных сборок (ИС) представляет характеристическую функцию F^{IC}_{ij} , которая отражает определенный i -й признак конструкции ИС, который в свою очередь принимает конкретное дискретное значение j ($j = 1, 2, \dots, m$) рассматриваемой K -ой ИС. Каждая K -ая ИС описывается характеристической формулой

$$F^{IC}_{ij} = \{F^{IC}_{1j}, F^{IC}_{2j}, \dots, F^{IC}_{mj}\}$$

Переменные данной формулы являются конструктивными характеристиками инструментальных сборок, которые описывают режущий элемент, отдельный инструмент, соединительные адаптеры, интерфейсную часть для соединения со стороны станка. В формуле каждая функция F^{PI}_{ij} соответствует определенному признаку классификации и принимает конкретное значение i, j .

Предлагаемая система выбора режущего инструмента для многофункционального технологического оборудования с ЧПУ позволяет сократить сроки технологической подготовки производства. Интегрированная база данных режущего инструмента, включает данные об инструментальных державках и сменных режущих пластинах. Предложено информационное, математическое алгоритмическое обеспечение процедуры выбора рационального режущего инструмента для точения на основе анализа 3D-модели и чертежа детали.

Список литературы

1. Аверченков А.В. Повышение эффективности виртуальной подготовки производства на основе выбора оптимального режущего инструмента и стратегий обработки // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17, № 3. – С. 767–774.
2. Иноземцев А.Н., Пасько Н.И., Анцев А.В. Информационная модель ситуационного управления ресурсом режущего инструмента // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2012. – Вып. 6. – С. 59–64.
3. Лукина С.В. Автоматизация процедур формирования и выбора структурных компонентов сборных режущих инструментов на этапе технической подготовки производства // Вестник СГТУ. – 2011. – № 1 (57).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ФАСКЕ ИЗНОСА РЕЗЦА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

Козлов В.Н.¹, Бабаев А.С.², Семёнов А.Р.³

¹НИИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОМШ,

e-mail: kozlov-viktor@bk.ru;

²Томский государственный университет, старший научный сотрудник,

e-mail: a.s.babaev@mail.tsu.ru;

³Томский государственный университет, аспирант,

e-mail: artems2102@yandex.ru

При обработке стали происходит износ режущих инструментов, что приводит к появлению округления режущей кромки радиусом ρ , лунки на передней поверхности шириной b_n и глубиной h_n , а также фаски на задней поверхности длиной h_{zn} (рис. 1). Наиболее опасным является износ по задней поверхности, т. к. при этом существенно увеличиваются составляющие силы резания P_{yh} , P_{xh} и P_{zh} на этой фаске, что приводит к выкрашиванию и даже сколу режущей пластины. При черновой обработке важно определить наибольшую допустимую длину фаски износа по задней поверхности h_{zn} , чтобы не допустить скола режущей пластины.

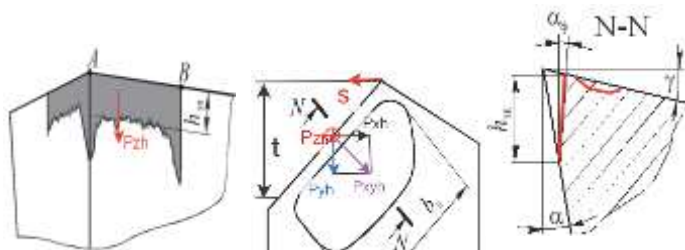


Рис. 1. Направление составляющих P_{yh} , P_{xh} и P_{zh} силы резания на фаске износа по задней поверхности

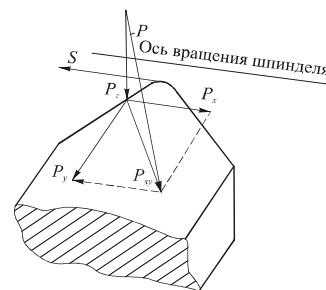


Рис. 2. Направление технологических составляющих P_y , P_x и P_z силы резания

Многочисленные ранние исследования [1–13] показали, что силы на задней поверхности режущего инструмента появляются в результате действия нескольких явлений (факторов): 1) упругого восстановления материала заготовки после прохождения режущей кромки, сжатого в процессе действия составляющей P_{xy} результирующей силы резания на передней поверхности R_n ; 2) подмятия (вдавливания) под заднюю поверхность части срезаемого слоя из-за наличия округления режущей кромки радиусом ρ .

При свободном прямоугольном резании, например, при строгании, при отсутствии фаски износа на задней поверхности на передней поверхности будут действовать радиальная составляющая P_{yn} и тангенциальная составляющая P_{zn} от передней поверхности резца на образующуюся стружку и область стружкообразования (рис. 3, а) [5].

Действие сосредоточенной силы P_{yn} необходимо заменить на напряжения, действующие на проекцию условной плоскости сдвига на плоскость резания длиной $2l$. Характер распределения этих напряжений достаточно сложен, поэтому для упрощения примем, что в этой области действуют равномерно распределённые нормальные напряжения (рис. 3, б) величиной $q = P_{yn}/(2l \cdot b)$, где $2l = a \cdot \text{ctg} \Phi$; b – ширина пластины с учётом малой величины уширения зоны стружкообразования; Φ – угол наклона условной плоскости сдвига ($^\circ$). В первом приближении этот угол можно рассчитать по уравнению $\Phi = \cos \gamma / (k_a \cdot \sin \gamma)$. k_a – это коэффициент утолщения стружки (chip ratio), который рассчитывается по формуле $k_a = a_1/a$, где a_1 – толщина стружки; a – толщина среза. При косоугольном резании с подачей s (мм/об) $a = s \cdot \sin \phi$, где ϕ – главный угол в плане.

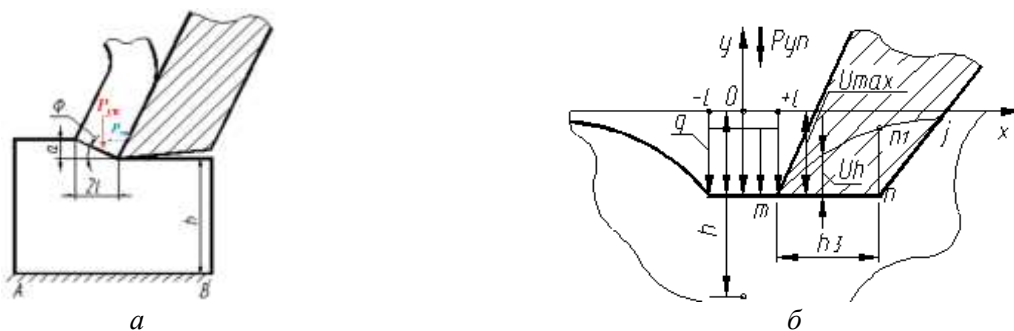


Рис. 3. Стругание пластины резцом (свободное прямоугольное резание) (а) и прогиб поверхности резания $mn-j$, упруго восстанавливающейся при воздействии на неё силой P_{yn} в области стружкообразования (б)

Экспериментальное исследование распределения контактных напряжений может быть выполнено несколькими способами: 1) поляризационно-оптическим методом [6, 12]; 2) методом разрезного резца [4, 5, 7, 9, 10] (рис. 4); 3) методом лазерной интерферометрии [8].

Более достоверные результаты могут быть получены при использовании метода разрезного резца. В наших экспериментах был использован специальный четырёхкомпонентный динамометр В.А. Красильникова [4], который был спроектирован специально для этой цели (рис. 4). Конструкция этого динамометра позволяет использовать разрезные резцы большой ширины – 120 мм, что позволяет увеличить количество секций по ширине резца и, тем самым, уменьшить дискретность (разницу от режущей кромки до поверхности раздела пластин А и В), что приводит к увеличению точности измерения.

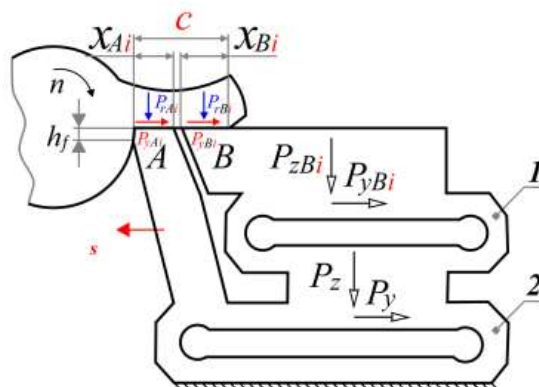


Рис. 4. Исследование распределения контактных напряжений на передней поверхности методом разрезного резца

В наших исследованиях распределения контактных напряжений на искусственной фаске износа по задней поверхности выполнялось с использованием разрезного резца [4, 5, 7] при точении ступенчатого диска с поперечной (радиальной) подачей широкого резца, т. е. с направлением подачи, перпендикулярной режущей кромки. Таким образом, реализовывалось прямоугольное свободное резание.

Достаточно большая ширина диска 4 мм в контакте с единственной режущей кромкой обеспечивала небольшое уширение в области стружкообразования, но даже незначительно выдавливаемый слой металла по краям диска удалился двумя дополнительными боковыми резцами, не связанными с резцом и динамометром, которые обеспечивали калибровку ширины зоны контакта $b = 4$ мм.

К тому же динамометр имеет два пояса упругих измерительных элементов 1 и 2, и наличие нижнего пояса 2 позволяет контролировать постоянство общих составляющих P_z и P_y силы резания в серии экспериментов.

Пластины разрезного резца состоят из нескольких секций (от 18 до 20 штук в зависимости от ширины обрабатываемого диска b_d) (рис. 5), на каждой из которых предусмотрено разное расстояние x_{Ai} (мм) от режущей кромки до поверхности раздела пластин A и B , но при этом в любом случае выполняется равенство: $x_{Ai} + x_{Bi} = c$ (мм), где c – длина контакта стружки с передней поверхностью инструмента при его рассматриваемой геометрии и режиме резания.

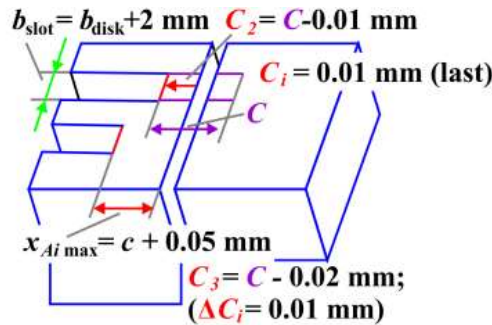


Рис. 5. Секции разрезного резца

Приращение сил P_y и P_z на рассматриваемом i -том участке пластины B по сравнению с этими силами на предыдущем ($i-1$) участке рассчитываются по уравнениям:

$$\Delta P_{yBi} = P_{yBi} - \Delta P_{yBi-1}(H); \quad (1)$$

$$\Delta P_{zBi} = P_{zBi} - \Delta P_{zBi-1}(H). \quad (2)$$

Нормальная N_i и касательная F_i силы, действующие на i -том участке, рассчитываются по уравнениям (3) и (4) в соответствии с уравнениями (1) и (2):

$$N_i = \Delta P_{zBi} \times \cos \gamma - \Delta P_{yBi} \times \sin \gamma; \quad (3)$$

$$F_i = \Delta P_{yBi} \times \cos \gamma + \Delta P_{zBi} \times \sin \gamma. \quad (4)$$

Удельные нормальные q_{Ni} и касательные q_{Fi} контактные нагрузки (силы) на i -том участке пластины B рассчитывается как отношение приращения сил на этом участке к приращению площади ΔS_i контакта стружки на этом i -том участке:

$$q_{Ni} = \Delta N_i / \Delta S_i = (N_i - N_{i-1}) / (\Delta x_i \times b); \quad (5)$$

$$q_{Fi} = \Delta F_i / \Delta S_i = (F_i - F_{i-1}) / (\Delta x_i \times b). \quad (6)$$

При $\Delta x_i \rightarrow 0$ мм удельные нормальные q_{Ni} и касательные q_{Fi} контактные нагрузки на i -том участке пластины B будут приближаться к нормальным σ и касательным τ контактным напряжениям на этом участке: $q_{Ni} \approx \sigma_i$ (МПа), $q_{Fi} \approx \tau_i$ (МПа).

Выполнение исследований распределения контактных напряжений на фаске износа по задней поверхности при вышеуказанной схеме работы динамометра невозможно из-за появления уступа между пластинами A и B , который появляется вследствие большей упругой деформации измерительных упругих элементов 1 по сравнению с упругой деформации измерительных элементов 2 (см. рис. 4). Появившийся уступ начинает срезать дополнительную стружку с поверхности резания, которая забивает зазор S между пластинами A и B и нарушает работу динамометра, а иногда и приводит к разрушению кромок пластин.

Нами было предложено изменить схему работы динамометра: установить его на столе горизонтально-фрезерного станка и осуществлять подачу вертикально вверх (рис. 6). На валоправке фрезерного станка закрепляется диск из обрабатываемого материала с большим диаметром 160–200 мм, чтобы кривизна поверхности резания меньше влияла на взаимодействие по фаске задней поверхности. Режущая кромка в вертикальной плоскости совмещается с осью вращения шпинделя.

Величина минутной подачи $s_{мин}$ (мм/мин) рассчитывается из требуемой оборотной подачи: $s_{мин} = s$ (мм/об) $\cdot n$ (об/мин). В процессе эксперимента величина минутной подачи контролируется дополнительно.

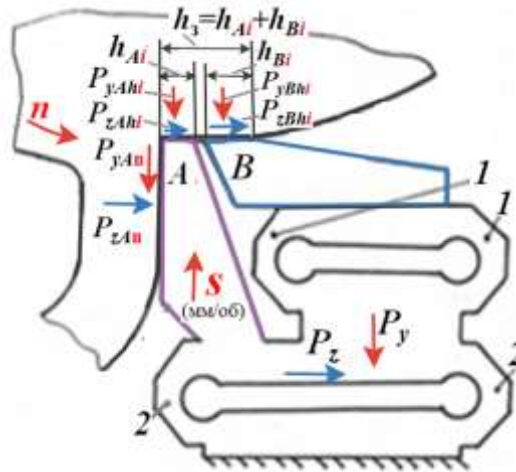


Рис. 6. Исследование распределения контактных напряжений на фаске задней поверхности методом разрезного резца при предложенном расположении динамометра на столе горизонтально-фрезерного станка

Под действием радиальной составляющей $P_{yп}$ силы резания на передней поверхности и силы P_{yAh_i} , действующей на пластине A на части фаски задней поверхности длиной h_{Ai} , упругие элементы 2 упругодеформируются и пластина A с частью фаски задней поверхности длиной h_{Ai} опускается немного вниз (рис. 6). А так как упругие элементы 1 находятся на упругих элементах 2 , то они тоже опускаются на ту же величину, поэтому уступа между пластинами A и B не образуется. Аналогичные упругие перемещения происходят в направлении оси OZ , которая располагается горизонтально при описанной схеме установки динамометра.

После этого рассчитываются изменения сил P_{yBh_i} и P_{zBh_i} при изменении длины части фаски задней поверхности пластины B на величину $\Delta h_{Bi} = h_{Bi} - h_{Bi-1}$ (мм), где h_{Bi} длина фаски задней поверхности при рассматриваемом измерении (i -е измерение), а h_{Bi-1} – длина фаски задней поверхности при предыдущем ($i-1$) измерении.

Так как задний угол на искусственной фаске износа по задней поверхности равен нулю ($\alpha_h = 0^\circ$), то изменение сил в направлении оси OZ есть сила трения F_{hi} на рассматриваемом участке, изменение сил в направлении оси OY есть нормальная сила (сила давления) N_{hi} на рассматриваемом участке:

$$\Delta P_{zhi} = P_{zBhi} - P_{zBhi-1} = F_{hi}; \quad (7)$$

$$\Delta P_{yhi} = P_{yBhi} - P_{yBhi-1} = N_{hi}; \quad (8)$$

Толщина среза при прямоугольном свободном резании равна радиальной подаче s (мм/об), но с единицей измерения мм: $a = s$ (мм).

Отношение приращения силы к приращению площади контакта фаски задней поверхности есть удельная нормальная q_{Nhi} и касательная q_{Fhi} контактные нагрузки. При малом изменении длины контакта фаски на задней поверхности пластины B (если $\Delta h_i \rightarrow 0$ мм) можно говорить о нормальном σ_{hi} и касательном τ_{hi} контактных напряжениях на рассматриваемом участке фаски задней поверхности:

$$q_{Nhi} = \Delta P_{yhi} / (b \cdot \Delta h_i) \approx \sigma_{hi} \text{ (МПа)}; \quad q_{Fhi} = \Delta P_{zhi} / (b \cdot \Delta h_i) \approx \tau_{hi} \text{ (МПа)}.$$

Исследование финансировалось Российским научным фондом, проект № 23-79-10166.

Список литературы

1. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / М.Ф. Полетика – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
2. Развитие науки о резании металлов / В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.

3. Hu, J., Chou, Y.K. Characterizations of cutting tool flank wear-land contact. *Wear* **2007**, 263(7–12), 1454–1458.
4. Полетика М.Ф., Красильников В.А. Динамометр для измерения силы и напряжений на передней поверхности резца // Станки и инструменты. – 1971. – Т. 2. – С. 37–38.
5. Poletika M.F., Kozlov V.N. Forces and Deformations at the Tool Flank-In: «Enhancing the Pulling Efficiency», Riga Polytechn. Inst., Riga, Latvia, 1988. – Vol. 1. – P. 134–141 (in Russ.).
6. Полетика М.Ф., Утешев М.Х. Исследование процесса резания поляризационно-оптическим методом. – Известия Томского политехнического института. 1964. – Т. 114. – С. 21–32.
7. Kozlov V., Zhang J.Y., Cui J., Bogolyubova M. Split Cutter Method for Contact Stresses Research over Flank Surface of a Cutter. *Key Engineering Materials*. – 2017. – 743. – P. 258–263.
8. Филиппов А.В., Проскоков А.В. Исследование процесса стружкообразования при резании металлов методом цифровой корреляционной спекл-интерферометрии. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение, 2014. – № 2. – С. 100–113.
9. Физические основы процесса резания металлов. Остафьев В.А., Стабин И.П., Румбешта В.А. и др. – Киев, Вища школа, 1976. – 136 с.
10. Усачёв П.А., Пархоменко В.П. Повышение износостойкости и прочности режущих инструментов. – Киев, Техника, 1981. – 160 с.
11. Proskokov, A.V., Petrushin, S.I. Flank contact load distribution at cutting tool wear. 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST). – IEEE 2012, 2, 173–177.
12. Poletika M.F., Melikhov V.V. Contact Loads at the Tool Flank-Vestnik Mashinostroyenia, 1967. – No. 9 – P. 31–33 (in Russ.).
13. Hu, J., Chou, Y.K. Characterizations of cutting tool flank wear-land contact. *Wear* 2007, 263 (7–12), 1454–1458.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ СПЛАВА ИНКОНЕЛЬ 625 МЕТОДОМ WAAM

Бельчиков И.А.¹, Бабаев А.С.², Семёнов А.Р.³

*¹Томский государственный университет, аспирант,
e-mail: ivan70422@gmail.com*

*²Томский государственный университет, старший научный сотрудник,
e-mail: a.s.babaev@mail.tsu.ru*

*³Томский государственный университет, аспирант,
e-mail: artems2102@yandex.ru*

Инконель 625 – это суперсплав на основе никеля, известный своей исключительной стойкостью к коррозии и механическим нагрузкам, что делает его пригодным для суровых условий, особенно в аэрокосмической промышленности. Однако его обрабатываемость создает значительные проблемы из-за его тенденции к упрочнению, низкой теплопроводности и высокой твердости при высоких температурах. Процесс фрезерования Инконель 625 создает высокие силы резания и температуры, что приводит к быстрому износу инструмента и повреждению поверхности, что требует глубокого понимания целостности поверхности для оптимизации условий обработки и повышения производительности компонентов.

Недавние исследования были сосредоточены на улучшении процесса фрезерования Инконель 625 путем изучения различных методов охлаждения и смазки, таких как криогенное охлаждение и биоразлагаемые масляные смеси. Эти методы показали многообещающие результаты в снижении износа инструмента и улучшении качества поверхности. Кроме того, использование передовых методов моделирования, включая анализ конечных элементов и методологию поверхности отклика, было использовано для оптимизации параметров резания и прогнозирования износа инструмента, что еще больше повышает эффективность процесса фрезерования.

Технологии аддитивного производства, в частности, аддитивное производство с использованием дуговой проволоки (WAAM), также были исследованы для производства компонентов из Инконель 625. Этот метод позволяет создавать сложные геометрии с улучшенными механическими свойствами и микроструктурными характеристиками [1]. Исследования показывают, что применение магнитных полей во время процесса WAAM может улучшить микроструктуру и улучшить механические свойства сплава. В целом, текущие исследования направлены на совершенствование стратегий обработки и процессов аддитивного производства для максимизации производительности и долговечности компонентов из Инконель 625 в сложных условиях [2].

Исследование Chun Guo и его коллег [3] изучает микроструктурные характеристики и межкристаллитную коррозионную стойкость суперсплавов Инконель 625, полученных с помощью аддитивного производства с использованием дуговой проволоки. Результаты подчеркивают производительность и долговечность материала, внося ценную информацию о его потенциальном применении в средах, подверженных коррозии.

Сплавы на основе никеля, такие как Инконель 625, широко используются в промышленности благодаря своим высоким эксплуатационным свойствам. Инконель 625 также демонстрирует отличную защиту от коррозии и окисления. Его способность выдерживать высокие нагрузки и широкий диапазон температур как в воде, так и без неё, а также устойчивость к коррозии в сильноокислой среде делают его подходящим выбором для конструктивных деталей, ядерной и морской промышленности, а также в горячей зоне авиационных двигателей.



Рис. 1. Накладка облицовки в трубе с помощью Инконель 625

Свойства Инконель 625 тесно связаны с микроструктурой сплава, а микроструктура контролируется термообработкой металла. Инконель 625 обычно требует термической обработки. Сплавы, упрочненные дисперсионным способом, обычно подвергаются обработке на твердый раствор и старению. Сплав, упрочняющий раствор, обрабатывается только обработкой раствором. Некоторые сплавы перед обработкой старением должны пройти одну или две промежуточные обработки. Цель обработки на твердый раствор состоит в том, чтобы растворить вторую фазу в матрице сплава, чтобы упрочняющие фазы, такие как γ и карбид (сплав на основе кобальта), могли быть равномерно выделены во время обработки старением, а во-вторых, получить соответствующий размер зерна для обеспечения свойства ползучести и разрывной ползучести при высоких температурах. Температура обработки раствором обычно составляет 1040–1220 °С. Широко используемые сплавы перед старением в основном обрабатываются при температуре 1050–1100 °С.



Рис. 2. Наплавление Инконель 625

Усовершенствованной модификацией сплава Инконель 625 является «Inconel alloy 625LCF UNS N06626», основной уникальной характеристикой которого является усталостная прочность при влиянии циклических температурных перепадов, достигающих 650 °С.

Материал Инконель 625 LCF выпускают в виде пластин, фитингов и лент. Также в прокат из этого сплава входят проволока Инконель 625, лист Инконель 625 и пр.

Список литературы

1. M. Karmuhilan, Kumanan Somasundaram. Microstructural features and corrosion behavior of Inconel 625 components fabricated using Wire and Arc Additively Manufacturing (WAAM) // Welding International, 2023. – V. 37. – Iss. 11. – P. 617–625.
2. A.N.M. Tanvir, MD R. U. Ahsan, Gijeong Seo, et al. Heat treatment effects on Inconel 625 components fabricated by wire + arc additive ly manufacturing (WAAM)–part 2: mechanical properties // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2020. – V. 110. – P. 1709–1721.
3. Chun Guo, Meng Ying, Hengyao Dang, et al. Microstructural and intergranular corrosion properties of Inconel 625 superalloys fabricated using wire arc additive manufacturing // Materials Research Express. – 2021. – V. 8, № 3.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ШИРОКОАПЕРТУРНЫХ ВНЕОСЕВЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ ДЛЯ ПЕЧАТИ ПРИ ПОМОЩИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Бердников Н.С.¹, Шкитов Д.А.²

¹НИ ТПУ, ИЯТШ, гр. ОБМЗ1

Email: nsb20@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИИШФВП, к.ф.-м.н., научный сотрудник

Email: shkitovda@tpu.ru

Введение

В коллективе, работающем на микротроне ТПУ, возникла потребность в изготовлении внеосевых параболических зеркал большого диаметра. Стандартные коммерчески доступные оптические параболические зеркала, как правило, ограничены диаметром до 100 мм, например [1]. Существуют доступные технологии производства больших диаметров (до 640 мм) [2], однако по этой технологии по некоторым характеристикам (внеосевой угол, фокусное расстояние), данный способ не подходит. Также существуют подходы, развитые в силовой адаптивной оптике [3], но данный способ для поставленной задачи слишком трудоёмкий. Современные производственные технологии, как из нашего опыта видится сейчас, позволяют разработать более простую технологию изготовления подобных зеркал, например, с применением аддитивных технологий. Ранее нами были уже опробованы методы 3D-печати пластиком для изготовления спиральных мишеней [4, 5] и методы магнетронного напыления металлов на пластики [6]. Поэтому, было решено изготовить аналогичным же способом широкоапертурные внеосевые параболические зеркала. В данной работе описывается процесс проектирования данных зеркал. Для примера на рис. 1 приведены фотографии ранее использовавшегося осевых параболических зеркал из листовой меди, тестовый образец напечатанного ABS пластиком зеркала с напылением из Cu, неудавшийся пример печати, где видно внутреннее строение. Отметим, что внеосевые зеркала являются лучшим выбором, по сравнению с осевыми, в условиях, когда необходимо фокусировать излучение под углом от оси распространения регистрируемого излучения.

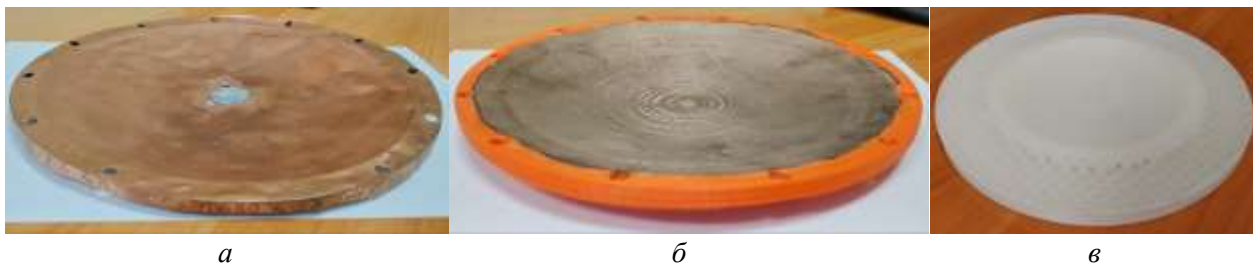


Рис. 1. Параболические зеркала:

а – старое зеркало; б – тестовый образец с напылением из Cu; в – неудачный пример печати

Проектирование моделей

Перед началом проектирования внеосевых параболических зеркал необходимо было определиться с первичными требованиями к ним. Было решено, что диаметр зеркал должен составлять 6 (152,4 мм) и 8 (203,2 мм) дюймов, полная высота зеркала не должна превышать 150 мм, а фокусное расстояние зеркала (расстояние от оптического центра зеркала до точки фокуса) должно быть больше радиуса зеркала, чтобы избежать перекрытия исходного излучения детектором, находящимся в фокусе зеркала, так как основной задачей данных зеркал является фокусировка излучения. Диаметр выбирался в дюймах, т. к. это является в определенной степени стандартом при изготовлении оптических компонентов. Также в модели зеркала должен присутствовать элемент, выполняющий функцию «бобышки», за которую зер-

кало будет крепиться. «Бобышка» имеет диаметр 2 дюйма (50,8 мм) и высоту 10 мм, под стандартный оптический держатель [7].

Для точного подбора необходимых параметров зеркала была создана специальная интерактивная схема, изображающая наибольшее по площади поперечное сечение зеркала. Созданная схема позволяет изменять такие параметры зеркала, как фокусное расстояние, угол отражения и диаметр зеркала и в реальном времени отслеживать видоизменения сечения. Схема была реализована в пакете символьной математики Wolfram Mathematica (14 версия). Параболическая кривая была построена на основе аналитических зависимостей, приведенных в [8]. На рис. 2 представлены схемы внеосевых параболических зеркал с параметрами, представленными в табл. 1. Параметры для двух моделей подобраны так, чтобы точка фокуса находилась на уровне высоты зеркала, что хорошо видно на схемах.

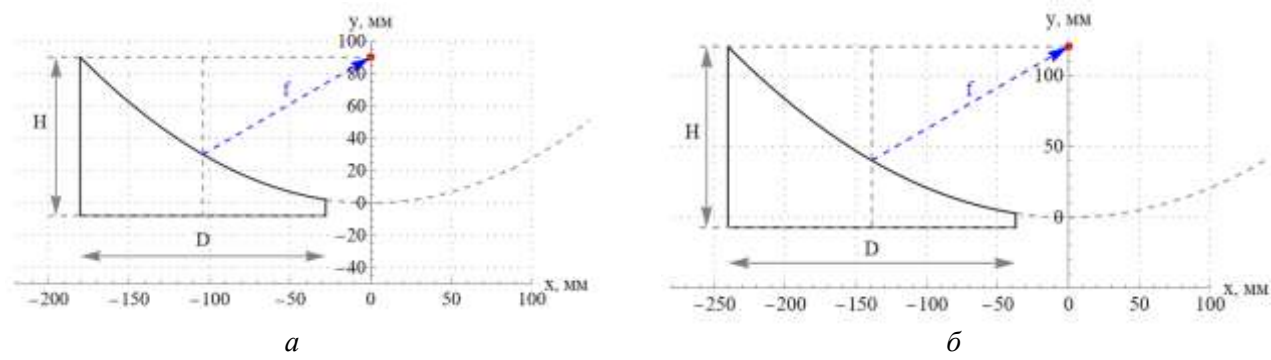


Рис. 2. Схемы моделей внеосевых параболических зеркал № 1 (а) и № 2 (б):
 f – фокусное расстояние зеркала; H – высота зеркала; D – диаметр зеркала

Таблица 2

Параметры моделей внеосевых параболических зеркал

№ модели	Диаметр зеркала	Высота зеркала	Фокусное расстояние зеркала	Угол отражения
1	152,4 мм	100,1 мм	120,2 мм	60°
2	203,2 мм	130,2 мм	160,3 мм	

Средой создания 3D-моделей внеосевых параболических зеркал выступила упомянутая выше Wolfram Mathematica. Модели зеркал создавались путем выполнения ряда логических операций с геометрическими регионами, выступающих предикатами. Ключевыми параметрами в создании моделей зеркал выступили фокусное расстояние зеркала, угол отражения и диаметр зеркала. Алгоритм создания 3D-модели зеркала можно представить в виде следующих действий:

- при помощи неравенства создаётся геометрия региона в виде параболоида вращения, фокусное расстояние которого определяется через фокусное расстояние зеркала и угла отражения;
- далее, при помощи встроенной функции Cylinder, создается цилиндр, который будет служить основным телом зеркала. Диаметр этого цилиндра тождественен диаметру зеркала;
- после создается второй цилиндр, который будет служить бобышкой, и посредством встроенной функции RegionUnion соединяется с основным цилиндром;
- в конце, из геометрического региона основного цилиндра вычитается посредством встроенной функции RegionDifference геометрический регион параболоида вращения (расположение параболоида относительно цилиндра определяется через фокусное расстояние зеркала и угол отражения);
- полученный геометрический регион экспортируется в формат STL (который является самым популярным в области 3D-печати).

На рис. 3 представлены разные вариации полученных моделей внеосевых параболических зеркал. На рис. 3, *а* модель была создана при помощи встроенной функции *DiscretizeRegion*, на рис. 3, *б* – при помощи функции *RegionPlot3D*. По внешнему виду моделей становятся очевидны преимущества и недостатки каждой из функций. *DiscretizeRegion* позволяет создать 3D-модель с четкими гранями, но не позволяет создать высоко детализированную модель. *RegionPlot3D* напротив, позволяет создать модель с высоким разрешением, но при генерировании модели её грани деформируются. К сожалению, недостатки каждой из функций не позволяют создать 3D-модель одновременно высоко детализированную и с четкими гранями. Поэтому было решено перейти в другое ПО для создания 3D-моделей внеосевых параболических зеркал.

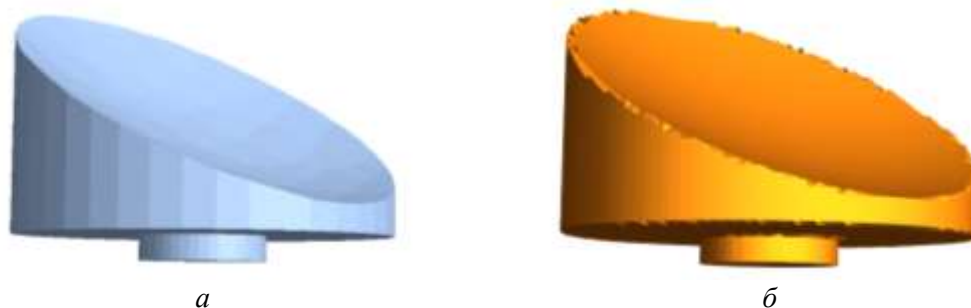


Рис. 3. 3D-модели внеосевых параболических зеркал, созданных функциями *DiscretizeRegion* (*а*) и *RegionPlot3D* (*б*)

Заключение

В данной работе описан процесс и представлен результат проектирования моделей широкоапертурных внеосевых параболических зеркал для печати методами аддитивных технологий. Для подбора параметров зеркал (фокусного расстояния зеркала, угла отражения и диаметра) в пакете Wolfram Mathematica была реализована интерактивная схема сечения зеркала. Далее по выбранным параметрам были созданы 3D-модели зеркал. Однако, из-за недостатков Wolfram Mathematica в построении высокодетализированных 3D-моделей было решено перейти в другое ПО для создания таких 3D-моделей внеосевых параболических зеркал. Отметим, что после печати необходима последующая относительно небольшая механическая обработка заготовок с помощью мелкозернистой наждачной бумаги ручным способом. После этого для сглаживания неизбежной шероховатости следует произвести обработку в парах растворителя (ацетона). После напыления также возможна полировка поверхности зеркал с помощью оптической обработки лазером [9]. Также отметим, что габариты и конструкция зеркал были согласованы с оператором магнетронного напыления.

Авторы благодарят школьников Лицея при ТПУ К.М. Шульгу и Ф.М. Байдина за создание 3D-моделей осевых параболических зеркал [10]. Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ («Наука» № FSWW-2023-0003).

Список литературы

1. Внеосевые параболические зеркала // Wavelength opto-electronics: сайт. – URL: <https://wavelength-oe.com/laser-optics/optical-mirrors/parabolic-mirrors/> (дата обращения: 14.11.2024).
2. Внеосевые параболические зеркала // Tydex: сайт. – URL: https://www.tydexoptics.com/pdf/ru/OAP_ru.pdf (дата обращения: 14.11.2024).
3. Шанин О.И. Широкоапертурная силовая адаптивная оптика // Фотоника. – № 1/31. – 2012. – С. 24. – URL: https://www.photonics.su/files/article_pdf/3/article_3112_923.pdf.
4. Бердников Н.С., Григорьева А.А. Поиск технологий по созданию спиральных мишеней для генерации излучения с винтовым волновым фронтом от электронного пучка / науч. рук. Д.А. Шкитов // Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник научных

трудов XX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 25–28 апреля 2023 г.: в 7 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2023. – Т. 1 : Физика. – С. 66–68. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54398393>.

5. Бердников Н.С., Шкитов Д.А. Особенности проектирования спиральных мишеней для генерации излучения с дислокацией волнового фронта от электронного пучка // Перспективные материалы конструкционного и функционального назначения: сборник научных трудов Международной научно-технической молодежной конференции; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2023. – С. 347–349. – URL: <https://mt.tpu.ru/archive/2023/>.

6. Семенов В.А., Работкин С.В., Гренадеров А.С., Соловьев А.А., Бердников Н.С., Шевелёв М.В., Шкитов Д.А. Металлизация методом магнетронного напыления пластин из пластика, изготовленных на 3D-принтере // Materials. Technologies. Design. – 2023. – Т. 5, № 3(13). – С. 99–108. – Режим доступа: <http://journal.ugatu.su/index.php/mtd/article/view/3706/3156>.

7. 5MBM24 Держатель зеркал // Vicon-SE: сайт. – URL: https://vicon-se.ru/catalog/reguliruemye_derzhateli_optiki/derzhateli_s_regulirovkoj_po_2_3_osyam/derzhatel_zerkal/.

8. Chen L., Gao Z., Xu N., Cao X., Zhang J., Wang L., Ye J., Yuan Q. Construction of freeform mirrors for an off-axis telecentric scanning system through multiple surfaces expansion and mixing // Results in Physics. – 2020. – V. 19. – 103354. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211379720318210>.

9. Хузнахметов Р.М., Вологжанина С.А., Амяга Д.В., Рамос Веласкес А. Разработка технологии полирования поверхности изделий из латуни с помощью импульсного инфракрасного волоконного лазера // Современные проблемы машиностроения: сборник статей XVI Международной научно-технической конференции, г. Томск, 27 ноября – 1 декабря 2023 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2024. – С. 260–263. – URL: <https://earchive.tpu.ru/handle/11683/77361>.

10. Байдин Ф., Шульга К. Проектирование параболических зеркал для использования при регистрации излучения в ГГц диапазоне частот // Юные исследователи – науке и технике: сборник трудов XXV Всероссийской конференции-конкурса Исследовательских работ старшеклассников «Юные исследователи – науке и технике». – Томск: Изд-во ТПУ, 2024. – С. 81–84. – URL: <https://school-conf.tpu.ru/archive/2024/>.

ПЕЧАТЬ МЯСА В КОСМОСЕ

Будницкая А.И.

¹*Томский политехнический университет, ИШНПТ гр. 4А12,
e-mail: aib48@tpu.ru;*

В современном мире идет активное развитие технологий, конечно, это не обошло стороной и космос. Сначала были просто 3D-принтеры, затем выяснялось, что можно печатать в невесомости, а совсем недавно стало известно, что в космосе можно печатать мясо.

В процессе изучения биопринтеров и при работе на них выяснилось, что биопринтер «Орган.Авт» может производить искусственно культивированное мясо, полноценные структурированные волокна. Культивированное мясо – мясо, которое выращивается в лабораторных условиях в виде культуры клеток, не являющееся частью живого животного.

Принцип работы биопринтера «Орган.Авт» основан на воздействии переменного магнитного поля на биоматериалы, используемые в качестве строительных блоков. Процесс печати: биоматериалы помещаются в специальных кюветах в биопринтер. В присутствии специальных материалов – парамагнетиков – они начинают отталкиваться от магнитов, а затем концентрироваться в центре так называемой «магнитной ловушки». Под действием магнитного поля сфероиды собираются в центре кюветы и удерживаются там до тех пор, пока не произойдет их слияние друг с другом и формирование единого конструкта. Таким образом, механизм работы напоминает лепку снежка: магнитные волны внутри принтера воздействуют на клетки сразу с нескольких сторон, чтобы сформировать из них фрагмент живой ткани.

Не так давно, был проведен эксперимент для биопечати на борту МКС, который непосредственно заключался в использовании клеток коровы. В результате чего удалось получить несколько миллиметров, которые являются фрагментом мышечной ткани. Это был первый подобный опыт выращивания животной пищи в космосе. Похожее эксперименты проводили ранее только с растениями. Как выразился Хесуани – «Маленький кусочек для человека, но большой кусок для всего человечества».

Пока данное мясо сравнивать с мировой индустрией промышленного животноводства, так как количество продуктов, используемое для производства, невозможно сравнивать. Если сравнивать традиционное животноводство и создание искусственного мяса в перспективе, негативного влияния на окружающую среду во втором случае будет меньше, так как современное животноводство сопровождается выбросами парниковых газов и убийством животных.

Различие между выращиванием обычного мяса и биопринтинга, во-первых, в структуре продукта, так как в результате биопринтинга получаются мышечные волокна, во-вторых, в необходимости питательной среды. Непосредственно для биопечати клеткам нужна только вода, в отличие от обычного мяса.

Конечно, технология биопечати мяса стоит дорого, но со временем проводить эксперименты с биопринтингом становится все дешевле, находят новые пути. Юсеф Хесуани сказал: «Когда это стоило космических денег, мы делали это на земле, а когда стало стоить земных денег, стали делать в космосе».

Если когда-нибудь цена килограмма «инженерного» мяса действительно станет сравнима с ценой обычной говядины, биотехнологическая новинка может попасть на стол рядового потребителя.

Но самое главное, что это можно использовать в космосе самим космонавтам, которым достаточно будет нагреть воду, окружающую выращенные образцы, чтобы их приготовить. Однако на счет вкуса такого мяса, он будет отличаться от обычной говядины, так как в ней присутствуют не только клетки мышечной ткани, но и ткани соединительные и жировые.

В будущем технология биопечати мяса может использоваться, например, в космических программах колонизации Луны и Марса, так как люди не будут зависеть от земных ис-

точников пищи. Говорят, что эти клетки очень хорошо растут, условно из ста клеток, космонавты могут получить сто миллионов клеток.

В заключении хотелось бы сказать, что данная технология будет активно развиваться, космонавтам теперь не нужно будет брать с собой столько еды, так как они сами могут это ее сделать в космосе.

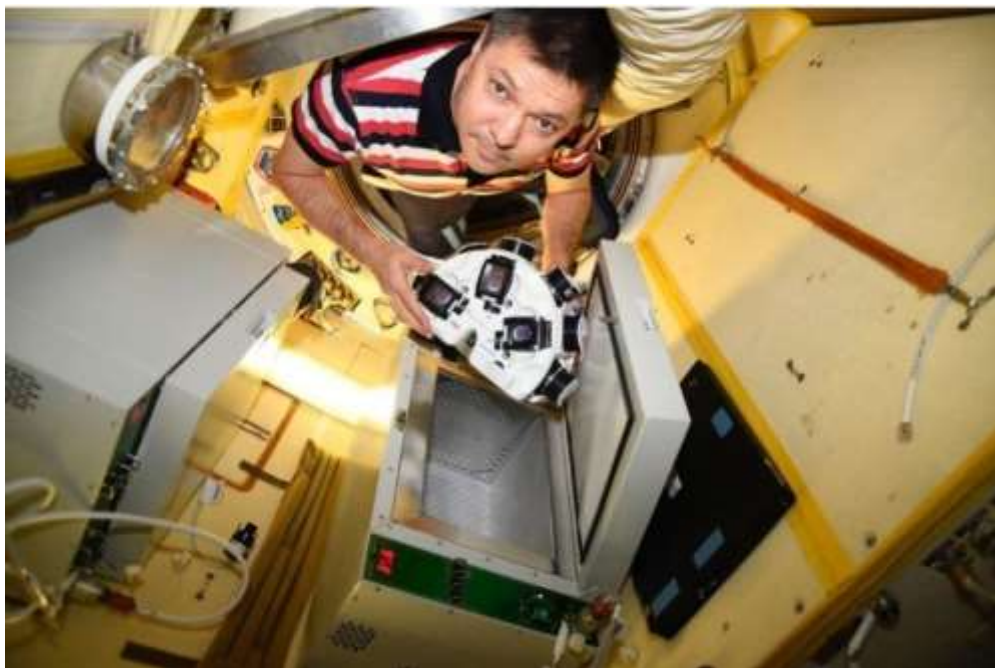


Рис. 1. Биопринтер «Орган.Авт»



Рис. 2. Биопринтер «Орган.Авт» на МКС

Список литературы

1. На МКС провели эксперимент по 3D-печати мяса: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/na-mks-proveli-eksperiment-po-3d-pechat-myasa>.
2. Юсеф Хесуани: мы напечатали говядину в космосе, но не пробовали ее: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bfm.ru/news/428129>.
3. Как работает и для чего нужна 3D-биопечать в космосе: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://snob.ru/entry/183903/>.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ И ИНТЕГРАЦИИ АККУМУЛЯТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОМОБИЛЯХ

Вагнер А.М.¹

¹НИ ТПУ, ИШИП, гр. 8Т21,

e-mail: amv15@tpu.ru

Введение

С развитием электромобилей потребность в безопасных и энергоэффективных аккумуляторных системах стала особенно актуальной. Производство и сборка высоковольтных аккумуляторов требуют внедрения передовых технологий для обеспечения их долговечности, надежности и безопасности. Внедрение твердотельных и литий-железо-фосфатных (LiFePO₄) аккумуляторов представляет собой значительный шаг вперед в этом направлении. Также основным направлением развития становится внедрение технологий, позволяющих динамически адаптировать характеристики аккумуляторов под конкретные условия эксплуатации.

Твердотельные и LiFePO₄ аккумуляторы: характеристики и преимущества

Твердотельные аккумуляторы отличаются от традиционных литий-ионных наличием твердого электролита, что повышает их безопасность и плотность энергии. Твердый электролит устойчив к перегреву, предотвращает короткие замыкания, и позволяет увеличить запас хода автомобиля. Такие аккумуляторы уже активно исследуются и тестируются на производственных мощностях Toyota и Volkswagen, которые видят в них потенциал для улучшения эксплуатационных характеристик.

LiFePO₄ аккумуляторы, в свою очередь, выгодно отличаются стабильностью и устойчивостью к перегреву, что снижает риск самовозгорания, и они требуют меньше обслуживания по сравнению с традиционными литий-ионными аккумуляторами. Благодаря своей стабильности, LiFePO₄ аккумуляторы уже используются в моделях китайских производителей, таких как BYD, Zeekr, обеспечивая более длительный срок службы и надёжность.

Динамическая адаптация аккумуляторов: новая ступень развития

Системы динамической адаптации аккумуляторов становятся одним из ключевых направлений в развитии технологий для электромобилей. Их цель – повысить эффективность и долговечность батарей, минимизируя негативные воздействия внешней среды и эксплуатационных нагрузок. Для достижения максимальной эффективности аккумуляторных систем в электромобилях активно разрабатываются системы динамической адаптации, основанные на использовании датчиков, искусственного интеллекта (ИИ) и интернета вещей (IoT).

Основные элементы системы: сбор данных, анализ и адаптация, интеграция с системой управления автомобилем.

Датчики собирают информацию о температуре окружающей среды, уровне заряда, интенсивности разрядки, частоте ускорений и торможений. Дополнительно учитываются дорожные условия и маршрут, полученные через навигационные системы. Алгоритмы ИИ обрабатывают данные в реальном времени и вносят корректировки в работу аккумуляторов: распределение нагрузки между ячейками, оптимизация процесса зарядки или активация системы охлаждения. Например, в условиях холода система автоматически подогревает батарею для поддержания её максимальной эффективности или, если ожидается длительный подъем или пробка, алгоритм адаптирует уровень энергопотребления, снижая его. Аккумуляторная система взаимодействует с другими компонентами электромобиля, включая моторы, тормозную систему и климат-контроль.

Динамическая адаптация аккумуляторов должна внедриться в автомобили, которые работают при экстремально низких или высоких температурах. Электромобили, или же гибридные автомобили, получают возможность адаптировать работу батареи, предотвращая снижение ее емкости и увеличивая надежность. Также эта система может быть сильно вос-

требуется в такси или для коммерческого транспорта. Электрические грузовики и автобусы смогут динамически перераспределять нагрузку, поддерживая оптимальную производительность при длительных поездках и высоких нагрузках.

Системы динамической адаптации аккумуляторов под условия эксплуатации уже находятся в стадии разработки у ведущих автопроизводителей. BMW, Volkswagen, Tesla, Toyota внедряют в свои электрические модели системы, которые регулируют расход энергии в зависимости от стиля вождения, состояния дороги, температуры окружающей среды, маршрута.

Заключение

Внедрение систем динамической адаптации аккумуляторов является ключевым этапом в развитии электромобильной индустрии. Эти технологии обеспечивают гибкость и надежность работы аккумуляторов в любых условиях, увеличивая их срок службы и делая электромобили более конкурентоспособными. Интеграция адаптивных решений вместе с твердотельными и LiFePO₄ аккумуляторами открывает путь к созданию нового поколения безопасных, энергоэффективных и экологически устойчивых автомобилей Ресурсы удаленного доступа.

Список литературы

1. Как устроена батарея электромобиля // Auto.ru. – 2024. – URL: https://auto.ru/mag/article/kak-ustroena-batareya-elektromobilya/?ysclid=m3bhrlrvzu8356172512&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения: 7.11.2024).
2. Electric vehicle battery // Wikipedia. – 2024. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle_battery (дата обращения: 9.11.2024).
3. Что нужно знать о батарее электромобиля // AvtoCharge. – 2024. – URL: <https://avtocharge.ru/chto-nuzhno-znat-o-bataree-elektromobilya/> (дата обращения: 10.11.2024).
4. Типы батарей электрокаров // Zencar. – 2024. – URL: <https://zencar.by/tipy-batarej-elektrokarov> (дата обращения: 10.11.2024).
5. Зеекр 001 обновился: новая батарея на 95 кВтч позволит проехать до 722 км // SpeedMe. – 2024. – URL: <https://speedme.ru/posts/id-62697-zeekr-001-obnovilsja-novaja-batareja-na-95-kvtch-pozvolit-proehat-do-722-km> (дата обращения: 10.11.2024).

МАТЕРИАЛЫ В УСКОРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ: ВЫБОР КОНСТРУКЦИОННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Шкитов Д.А.¹, Волков М.И.²

¹НИ ТПУ, ИШФВП, к.ф.-м.н., научный сотрудник

e-mail: shkitovda@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИШФВП, гр. АЗ-05, аспирант

e-mail: miv5@tpu.ru

Понятие «ускорительная техника» включает в себя комплекс научно-технических проблем [1], связанных с теорией, расчётом, проектированием, изготовлением и эксплуатацией всех типов ускорителей заряженных частиц. Ускорители – это электрофизические устройства, которые разгоняют частицы до определённого уровня энергии. Они являются источниками пучков, как первичных ускоренных заряженных частиц (электронов, протонов, ионов), так и вторичных частиц (мезонов, нейтронов, фотонов, атомов и др.), получаемых при взаимодействии первичных частиц с мишенью. Любая ускорительная установка включает 3 основных структурных элемента [2]: источник частиц с системой формирования пучка, собственно ускоритель – устройства, увеличивающие энергию частиц, и устройства, осуществляющие вывод и транспортировку пучка на мишень, взаимодействие пучка с внутренней мишенью или соударение встречных пучков в ускорителе.

Ускорители заряженных частиц одни из основных инструментов современной ядерной физики и физики элементарных частиц [3, 4]. Многие учёные указывают на большую роль ускорителей в современном мире, см. [1]. Ускорители находят применение в разных областях, например: в биологии для изучения структуры молекул и ферментов; в медицине изотопы, изготовленные на ускорителях, используются для лечения и диагностики; в микроэлектронике для облучения чипов ускоренными ионами определённых видов; в космической технике для тестирования электронных приборов на устойчивость к космическому излучению; в сельском хозяйстве электронные ускорители облучают зерно, очищая его от микропатогенов.

Современные ускорители требуют использования множества различных материалов, и применения почти всего спектра развитых к настоящему времени современных производственных технологий. Это наглядно можно продемонстрировать на примере установки СКИФ (Кольцово, Новосибирская область) [5], находящейся сейчас на финальной стадии реализации. На рис. 1 представлено оборудование части линейного ускорителя установки СКИФ.



Рис. 1. Сборка оборудования линейного ускорителя установки СКИФ [6]

Необходимы следующие основные материалы: изолированные медные провода, листовые стали и сплавы, железо и композиты различных типов (для магнитных элементов), медные сплавы, микроволновая керамика, сегнетоэлектрические материалы (для ускоряющих структур), стекло, кварц, сапфир, различные стали (для вакуумных камер). Безусловно, разнообразие, используемых материалов при изготовлении ускорителей, этим списком не ограничивается, приведены только некоторые и только для ряда основных систем. Для размещения основных систем используются опорные конструкции (синие подставки на рис. 1) и различного типа профилированные изделия (серые конструкционные профили на рис. 1). Они же применяются для различных систем диагностики параметров пучков ускорителей. Например, на рис. 2, *а* изображена модель станции диагностики с опорными конструкциями, оптическим столом и различными оптомеханическими компонентами. На рис. 2, *б* показана фотография монитора, видны используемые конструкционные профили, оптические столы, оправа для оптических зеркал, поворотные механизмы и т. д. В рамках проекта по разработке станций диагностики параметров пучков электронов различных энергий на основе синхротронного и переходного излучений в данной работе произведён краткий обзор и подбор конструкционных профилей, которые могут быть применены при разработке таких станций диагностики.

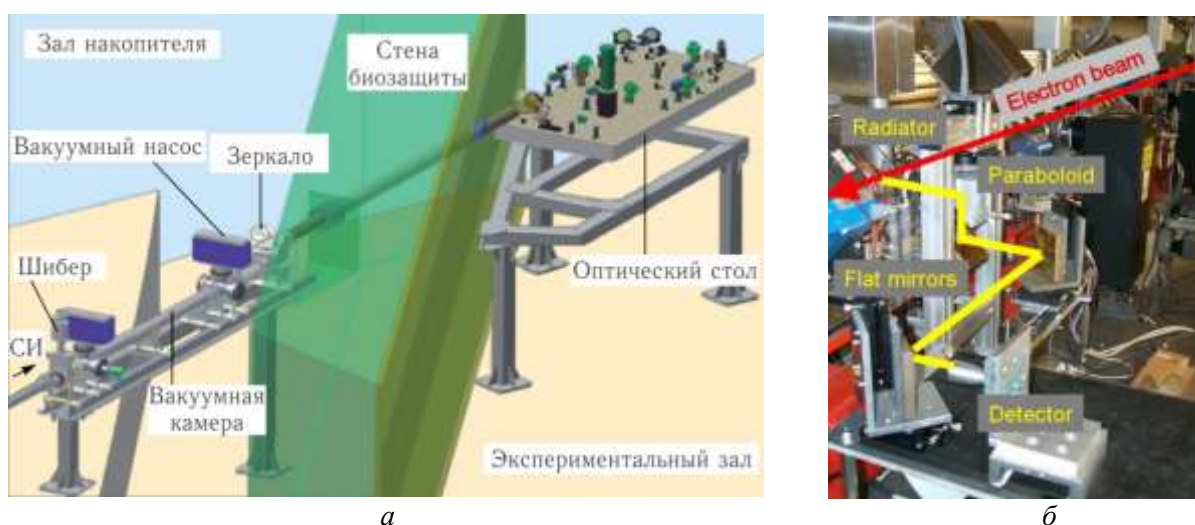


Рис. 2. Станция оптической диагностики [7] (*а*); монитор когерентного излучения [8] (*б*)

Конструкционные профили, как правило, из алюминия – это стержневые системы различного сечения и несущей способности. Для производства профилей наиболее распространённым сплавом является алюминиевый материал марки АД31. Из алюминиевого профиля собирают каркасные системы различного назначения, в том числе лабораторные и испытательные установки. Несомненные преимущества таких профилей, важные для решения задач проекта, это: быстрота сборки без необходимости выполнения сварочных работ и применения специальных навыков; простота механической обработки; стойкость к коррозии и деформации; возможность модернизировать конструкцию. В настоящее время на производстве изготавливают различные серии профилей, стандартно, по размеру от 20-й до 60-й серии [9], и на рынке представлена продукция самых разных производителей. Для разработки станций диагностики была выбрана «серия 40» квадратного и прямоугольного сечения, которая является одной из самых популярных благодаря своей универсальности. Эта серия применяется для создания различных каркасов, обеспечивая прочность и устойчивость даже при значительных нагрузках. Эта серия профилей с расстоянием между центрами пазов 40 мм и шириной паза 10 мм (см. рис. 3). Форма паза выбрана Т-образной, которая широко используется для сборки различных конструкций и систем, где требуется гибкость и возможность быстрой настройки. Согласно ГОСТ 22233-2018 длина конструкционного профиля серии 40 может составлять 6020 мм. Необходимая длина отрезается в зависимости и согласно проекту конкретной станции диагностики.



Рис. 3. Изображение профиля 40×40 (слева), чертеж профиля 40×40 (справа)

Существуют профили с покрытием и без него. Профиль с покрытием более прочный, надёжный и долговечный, он защищает от последствий окисления и ультрафиолетовых лучей, сохраняет привлекательный вид материала длительное время, и служит 30–50 лет (срок службы профиля без покрытия в 2 раза меньше). Было бы лучшим выбором в пользу профиля с покрытием, т. к. условия эксплуатации предполагают наличие ионизирующего излучения, однако можно использовать профиль и без покрытия, поскольку высокие требования к эстетичности конструкции в нашем случае не предъявляются. Профили одной серии и одного размера могут иметь разную площадь сечения, что определяет массу и прочностные характеристики профиля. Минимальная и максимальная массы профиля 40-й серии размером 40×40 мм составляет от ~1 кг до ~2 кг на погонный метр. Номенклатура для сборки конструкций, поставляемых в минимальных наборах, состоит из следующих элементов: профили, угловые соединители, Г-образные соединители, винты, Т-гайки, шайбы

Таким образом, можно сделать вывод, что современная промышленность производит большое разнообразие конструкционных профилей, и под решение каждой конкретной задачи можно подобрать подходящие профили и требуемые комплектующие. Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (программа «Наука» № FSWW-2023-0003).

Список литературы

1. Лагутин А.Е., Лагутина Ж.П. Ускорительная техника: проблемы и пути развития // Материалы 9-ой Межд. конф. «Взаимодействие излучений с твердым телом», Минск, Беларусь. – С. 417. – URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/28091/1/Лагутин.pdf>.
2. Ускорители заряженных частиц // БРЭ. – 2023. – URL: <https://bigenc.ru/c/uskoriteli-zariazhennykh-chastits-1d2f47>.
3. Ускорители в нашей жизни // Газета «Встреча». – 2013. – URL: <https://www.dubnapress.ru/science/3657-2013-03-14-08-25-15>.
4. Ускорители заряженных частиц: от опытов Резерфорда к Большому адронному коллайдеру // Платформа ПостНаука. – 2020. – URL: <https://postnauka.org/longreads/156125>.
5. Технологическая инфраструктура Сибирского кольцевого источника фотонов «СКИФ» // эл. сб. статей под общей редакцией К.И. Шефер. – 2022. – Т. 2.
6. Установлена половина оборудования линейного ускорителя СКИФ // Telegram. – 2024. – URL: <https://t.me/srfskif/709>.
7. Дорохов В.Л., Мешков О.И., Стирин А.И., Смыгачева А.С. Развитие интерферометрического метода измерения поперечных размеров пучка частиц в циклических ускорителях // Письма в журнал Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2023. – Т. 20, № 5 (250). – С. 1181–1192.
8. Grimm O. Coherent Radiation Diagnostics for Short Bunches // Proceedings of PAC07, Albuquerque, New Mexico, USA. – 2007. – P. 2653.
9. Разновидности конструкционных профилей // ООО «Промышленный Конструктор»: сайт. – 2024. – URL: <https://promprof.ru/company/articles/60011/>.

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Груздев А.А.
НИ ТПУ, ИШИТР, студент,
e-mail: aag159@tpu.ru

Введение

В последние десятилетия аддитивные технологии, также известные как 3D-печать, стали неотъемлемой частью современной инженерии и производства в целом. Эти технологии представляют собой процесс создания физических объектов путем последовательного нанесения материалов, что резко контрастирует с традиционными методами, основанными на резьбе или литье. Аддитивные технологии впервые начали развиваться в 1980-х годах и с тех пор претерпели значительные изменения, расширив свои возможности и области применения. Главным преимуществом аддитивных технологий является их способность создавать сложные геометрические формы, которые зачастую невозможно или экономически нецелесообразно изготавливать традиционными методами. Это позволяет инженерам и дизайнерам разрабатывать более легкие, прочные и оптимизированные конструкции, что особенно важно для таких отраслей, как авиация и автомобилестроение, где важен каждый грамм.

Основная часть

Аддитивные технологии, или 3D-печать, работают на основе принципа послойного создания объектов. В отличие от традиционных методов производства, таких как вырезание или литье, аддитивные технологии позволяют строить изделия, начиная с нуля, добавляя материал слой за слоем. Это открывает новые горизонты для проектирования и производства, позволяя создавать детали с высокой степенью сложности и точности. Среди наиболее популярных методов можно выделить Fused Deposition Modeling (FDM), Stereolithography (SLA) и Selective Laser Sintering (SLS). В методе FDM используется термопластический материал, который нагревается и выдавливается через сопло, формируя объект по заданной модели. Этот метод прост в использовании и широко распространен как в промышленности, так и в домашних условиях, позволяя производить как прототипы, так и готовые изделия.



Рис. 1. FDM печать

SLA, в свою очередь, применяет жидкую фотополимерную смолу, которая затвердевает под действием ультрафиолетового света. Этот метод обеспечивает высокую точность и гладкость поверхности изделий, что делает его идеальным для создания сложных форм и деталей, требующих высокой детализации, таких как стоматологические и ювелирные изделия.

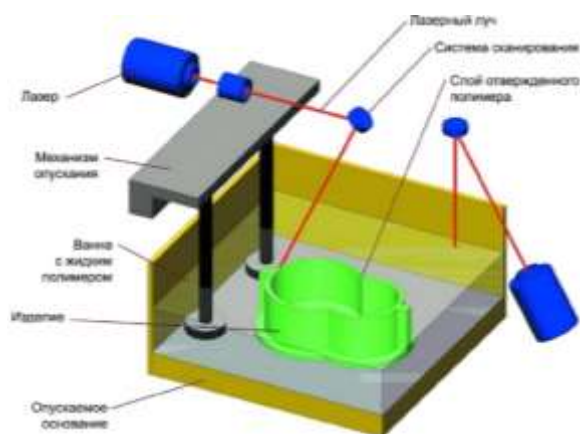


Рис. 2. SLA печать

Метод SLS работает с порошковыми материалами, которые сплавляются лазером. Это позволяет использовать широкий спектр материалов, включая различные металлы и пластики, что делает его подходящим для создания функциональных деталей и компонентов, требующих высокой прочности.

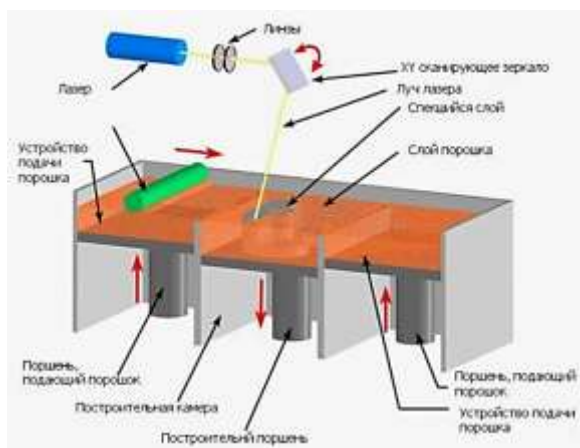


Рис. 3. SLS печать

Заключение

Будущее аддитивных технологий выглядит многообещающим. Постоянное развитие новых материалов, улучшение методов печати и интеграция с другими технологиями, такими как искусственный интеллект и робототехника, открывают новые возможности для повышения эффективности и оптимизации производственных процессов. Например, использование ИИ может помочь в автоматизации проектирования и улучшении качества изделий, а роботизация процессов 3D-печати позволит увеличить скорость производства и снизить затраты. Внедрение аддитивных технологий в массовое и устойчивое производство станет важным шагом для машиностроительной отрасли, способствуя созданию более эффективных и экологически чистых производственных процессов.

Список литературы

1. Кузнецов В.Е. CAD/CAM/CAE Observer. 2003. № 4 (13). С. 2–7.
2. Rombouts M., Kruth J.P., Froyen L. and Mercelis P. // Manufacturing Technology, 2006. – V. 55. – I. 1. – P. 187–192.
3. Hao L., Dadbakhsh S., Seaman O., Felstead M. // Journal of Materials Processing Technology. – 2009. – V. 209. – I. 17.9. – P. 5793–5801.
4. ASM Metals HandBook Vol. 1. Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys. ASM International, 2002. – 2521 p.

НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ КОНЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ КРУГЛЫМИ РЕЖУЩИМИ ПЛАСТИНАМИ

Дин Ц.¹, Козлов В.Н.², Семёнов А.Р.³

¹ НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. А4-47,

e-mail: czezhu1@tpu.ru;

² НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОМШ,

e-mail: kozlov-viktor@bk.ru;

³ Томский государственный университет, младший научный сотрудник

лаборатории нанотехнологий металлургии,

e-mail: artems2102@yandex.ru

Фрезы с механическим креплением круглых сменных многогранных пластин (СМП) широко применяются для обработки труднообрабатываемых материалов (рис. 1, а). Расчёт на прочность таких пластин выполняется приложением контактных напряжений, действующих на передней поверхности неизношенных СМП, на их 3-D модель (рис. 1, б). Определение распределения контактных напряжений на зубе фрезы является сложной задачей, поэтому предлагается прикладывать эпюры, которые были получены при точении [1, 2].

Для этого часть криволинейной режущей кромки разделяется на несколько секторов, внутри каждого из которых прикладываются эпюры, соответствующие толщине среза a_i в середине рассматриваемого сектора (рис. 1, в). Условия обработки стали 40Х13: диаметр фрезы $d_{фр} = 40$ мм, диаметр круглой СМП $d_{смп} = 12$ мм, глубина фрезерования $t = 0,2$ мм, ширина фрезерования $B = 1$ мм.

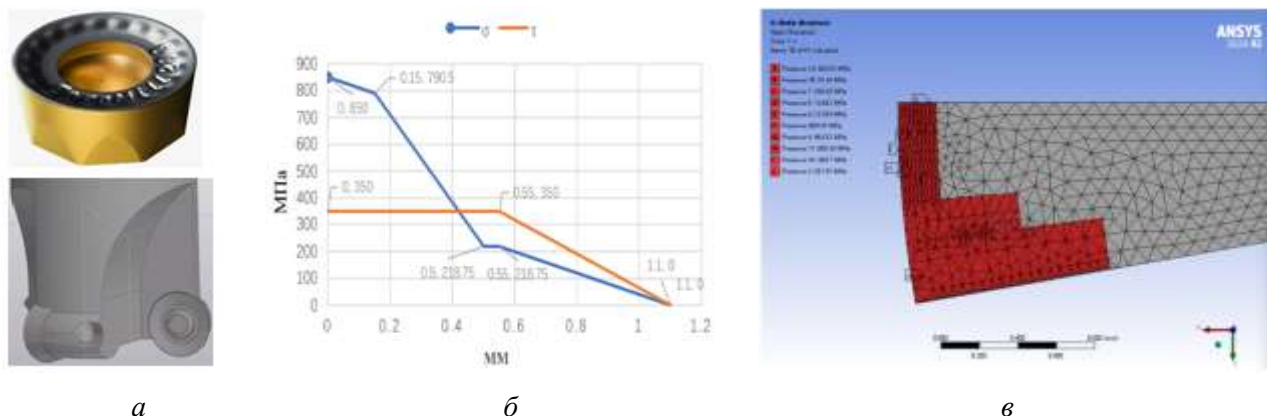


Рис. 1. Фреза с механическим креплением круглых СМП (а); эпюры нормальных σ и касательных контактных напряжений в главной секущей плоскости в середине i -го сектора (б); приложение контактных напряжений на секторах передней поверхности круглой СМП при обработке стали (в)

Распределение эквивалентных напряжений в круглой СМП при выходе СМП из контакта с заготовкой при встречном фрезеровании представлено на рис. 2. Зона с наибольшей величиной эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв max}} = 1190$ МПа находится на главной режущей кромке вблизи контакта с обрабатываемой поверхностью. Её окружает зона с немного меньшими напряжениями $\sigma_{\text{экв}} = 1058\text{--}952$ МПа, что говорит о существенном объёме СМП (около 0,25 мм) с достаточно большими напряжениями, что говорит о вероятности выкрашивания режущей кромки в этой области.

Расчёт относительной деформации СМП позволяет определить режимы фрезерования, при которых не будет происходить отслаивание износостойкого покрытия, для которых критическим значением является не напряжение в основном материале режущего инструмента, а деформации поверхностного слоя [3, 4, 5].

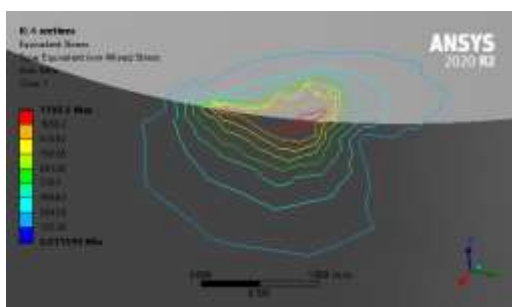


Рис. 2. Распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ (МПа) в круглой СМП при фрезеровании стали 40X13 с подачей $s_z = 0,0174$ мм/зуб

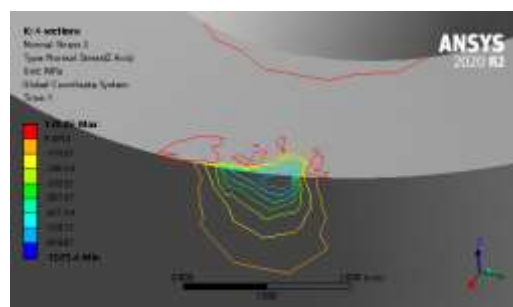


Рис. 3. Распределение нормальных напряжений в направлении оси Z σ_z (МПа), $s_z = 0,0174$ мм/зуб.

На расстоянии 0,8 мм от режущей кромки эквивалентные напряжения существенно уменьшаются до 132 МПа, причём уменьшение идёт интенсивнее по передней поверхности.

Это предопределяет более интенсивный износ круглой СМП по задней поверхности с образованием фаски износа по задней поверхности.

Среди нормальных напряжений наибольшую величину имеет напряжение в направлении оси OZ ($\sigma_{z \max} = -1025$ МПа), которая перпендикулярна передней поверхности и совпадает с направлением скорости резания v (м/мин).

В области режущей кромки действуют сжимающие напряжения (нормальные контактные напряжения были направлены против оси OZ), но от неё начинается область небольших растягивающих напряжений до 138 МПа, что говорит о достаточном запасе прочности на растяжение у твёрдого сплава, из которого сделана СМП, при небольшой подаче $s_z = 0,0174$ мм/зуб.

Полученные данные расчёта НДС с использованием программы ANSYS позволяют выбрать режимы фрезерования для обеспечения наибольшей производительности обработки при сохранении надёжности работы режущего инструмента.

Список литературы

1. Козлов В.Н., Бабаев А.С., Семёнов А.Р. Методы исследования процесса стружкообразования при обработке конструкционных сталей / В.Н. Козлов, А.С. Бабаев, А.Р. Семёнов // Современные проблемы машиностроения: сборник статей XVI Международной научно-технической конференции, г. Томск, 27 ноября – 1 декабря 2023 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) – Томск, 2024. – С. 217–222. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/77437>.
2. Kozlov V.N., Babaev A.S., Shults N.A. [et al.] Study of a Methodology for Calculating Contact Stresses during Blade Processing of Structural Steel / V.N. Kozlov, A.S. Babaev, N.A. Shults [et al.] // Metals. – 2023. – Vol. 13, Iss. 12. – Article number 2009, 16 p. – URL: <https://doi.org/10.3390/met13122009>.
2. Generalized modelling of cutting tool geometries for unified process simulation / Z.M. Kilic, Y. Altintas // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2016. – Vol. 104 – P. 14–25. – DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2016.01.007.
3. Real-time determination of cutting force coefficients without cutting geometry restriction / B. Tukora, T. Szalay // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2011. – Vol. 51 – No. 12. – P. 871–879. – DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2011.08.003.
4. Unified cutting force model for turning, boring, drilling and milling operations / M. Kaymakci, Z.M. Kilic, Y. Altintas // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2012. – Vol. 54–55. – P. 34–45. – DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2011.12.008.
5. Effects of cutting edge radius on cutting force, tool wear, and life in milling of SUS-316L steel / D. Lv, Y. Wang, X. Yu // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2020. – Vol. 111. – P. 2833–2844. – DOI: 10.1007/s00170-020-06286-7.

ВЛИЯНИЕ ВИДА НАГРУЗКИ НА ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗЦА НА НДС РЕЖУЩЕГО КЛИНА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

Дин Ц.¹, Козлов В.Н.², Цао С.³

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, аспирант гр. А4-47,

e-mail: czechu1@tpu.ru;

²НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОМШ,

e-mail: kozlov-viktor@bk.ru;

³НИ ТПУ, ИШНПТ, магистрант гр. 4АМ41,

e-mail: 19353026461@163.com

Для расчёта на прочность **неизношенного** режущего инструмента необходимо в качестве внешней нагрузки на передней поверхности прикладывать не сосредоточенные технологические (P_z , P_y и P_x) или физические (N и F) составляющие силы резания, а распределённые **нормальные σ** и **касательные τ** контактные напряжения. При этом необходимо знать законы их распределения (диаграммы, графики или **эпюры** контактных напряжений).

Для изучения распределения контактных напряжений используется метод разрезного резца [1–8]. Первоначально получают ступенчатые диаграммы (гистограммы) распределения **удельных контактных нормальных q_{Ni}** и **касательных q_{Fi}** нагрузок (Н/мм², или МПа, принимая во внимание что 1 Н/мм² = 1 МПа), т. е. сил N и F , приходящихся на один квадратный миллиметр **площади** передней поверхности контакта стружки с передней поверхностью (рис. 1). При этом $q_{Ni} = \Delta N_i / (\Delta x_{ci} \cdot b)$, $q_{Fi} = \Delta F_i / (\Delta x_{ci} \cdot b)$, где ΔN_i и ΔF_i – изменение **нормальных** и **касательных** сил (приращение сил) (Н) на участке длиной Δx_{ci} (мм) на пластине B , b – ширина контакта стружки с передней поверхностью (мм).

Чем меньше **приращение** длины контакта стружки с поверхностью основной измерительной пластины B разрезного резца Δx_{ci} (мм) [3], тем выше точность формы графиков (**эпюр**) **нормальных σ** и **касательных τ** контактные напряжения.

Графики этих контактных напряжений получаются проведением линий через **середины** ступеней соответствующей гистограммы (рис. 1).

Анализ гистограмм и полученных графиков σ и τ показывает, что эпюру касательных τ контактных напряжений можно немного упростить, принимая, что на длине $c_1 = 0,5 \cdot c$ от режущей кромки график τ проходит параллельно передней поверхности резца, т. е. $\tau_{\max} = \tau_{\text{const}}$ (рис. 2).

Для упрощения задачи приложения внешней нагрузки к 3D-модели режущего инструмента при расчёте напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущего клина принимают следующие виды внешней нагрузки:

1. Принимается, что прикладываются силы в виде технологических сил P_z , P_y и P_x , т. е. без учёта величины переднего угла γ , действующие на ограниченной площади шириной b и длиной $0,2 \cdot c$ на расстоянии $0,3 \cdot c$ от режущей кромки (рис. 3). Такой выбор места приложения сил обусловлен их приложением в центре действия сил, определяемый в основном распределением нормальных контактных напряжений и который будет расположен ближе к режущей кромке согласно рис. 1 и 2. Для предотвращения эффекта концентрации нагрузки они обычно распределяются на небольшой площади, поэтому рассчитываются удельная тангенциальная нагрузка $q_{Pz} = P_z / (0,2 \cdot c \cdot b)$, действующая вертикально, и удельная горизонтальная нагрузка $q_{Py} = P_y / (0,2 \cdot c \cdot b)$, действующая в горизонтальной плоскости (в основной плоскости). Рассматриваем вариант из рис. 2, когда $P_{y\text{эксп}} = 1623$ Н; $P_{z\text{эксп}} = 3061$ Н; $F_{\text{эксп}} = 2014$ Н; $N_{\text{эксп}} = 2837$ Н.

При дальнейшем отдалении от режущей кромки график τ прямо пропорционально уменьшается до нуля в точке отрыва стружки от передней поверхности, т. е. при $x = c$.

Такая форма графика τ позволяет использовать формулу $\tau_{\text{const}} = \tau_{\max} = F / (0,75 \cdot c \cdot b)$ для расчёта величины **касательных** контактных напряжений на первой половине контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента.

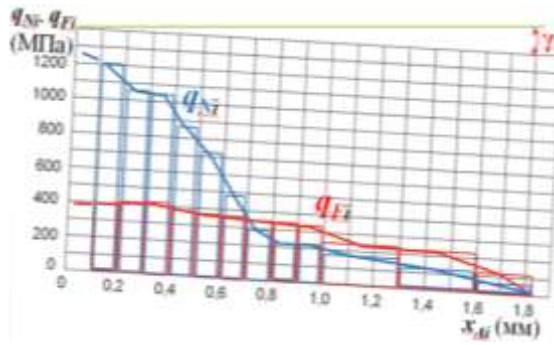


Рис. 1. Гистограммы удельных касательной q_F и нормальной q_N сил (МПа) на i -м участке пластины В. Абсцисса – расстояние от режущей кромки x_{Ai} (мм). Сталь 40Х–Т15К6, $\gamma = +7^\circ$; $v = 120$ м/мин; $a = s = 0,368$ мм; $b = 4$ мм; $c = 1,844$ мм; $c_1 = 0,922$ мм; $P_{y \text{ эксп}} = 1623$ Н; $P_{z \text{ эксп}} = 3061$ Н; $F_{\text{эксп}} = 2014$ Н; $N_{\text{эксп}} = 2837$ Н

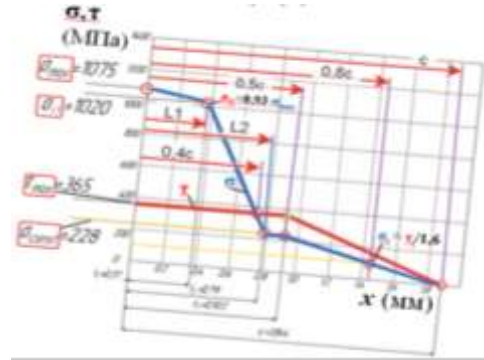


Рис. 2. Эпюры касательных τ и нормальных σ контактных напряжений (МПа) на передней поверхности резца. Абсцисса – расстояние от режущей кромки вдоль передней поверхности резца в главной секущей плоскости x (мм). Сталь 40Х–Т15К6, $\gamma = +7^\circ$; $v = 120$ м/мин; $a = s = 0,368$ мм; $b = 4$ мм; $c = 1,844$ мм; $c_1 = 0,922$ мм; $P_{y \text{ эксп}} = 1623$ Н; $P_{z \text{ эксп}} = 3061$ Н; $F_{\text{эксп}} = 2014$ Н; $N_{\text{эксп}} = 2837$ Н

Форма графика нормальных σ контактных напряжений более сложная (рис. 1 и 2), и требуется тщательный анализ для его построения.

2. Принимается, что прикладываются силы в виде физических составляющих силы резания N и F , т. е. с учётом величины переднего угла γ , действующих на ограниченной площади шириной b и длиной $0,2 \cdot c$ на расстоянии $0,3 \cdot c$ от режущей кромки (рис. 4). Для предотвращения эффекта концентрации нагрузки они обычно распределяются на небольшой площади, поэтому рассчитываются удельная нормальная нагрузка $q_N \text{ согр} = N / (0,2 \cdot c \cdot b)$, действующая перпендикулярно передней поверхности, и удельная касательная нагрузка $q_F \text{ согр} = F / (0,2 \cdot c \cdot b)$, действующая вдоль передней поверхности. Физические составляющие рассчитываются по уравнениям (1) и (2) при положительном переднем угле γ согласно рис. 5;

$$N = N_{Pz} - N_{Py} = P_z \cdot \cos \gamma - P_y \cdot \sin \gamma; \quad (1)$$

$$F = F_{Py} + F_{Pz} = P_y \cdot \cos \gamma + P_z \cdot \sin \gamma. \quad (2)$$

Рассматриваем вариант из рис. 2, когда $P_{y \text{ эксп}} = 1623$ Н; $P_{z \text{ эксп}} = 3061$ Н; $F_{\text{эксп}} = 2014$ Н; $N_{\text{эксп}} = 2837$ Н.

3. Принимается, что прикладываются нагрузки в виде равномерно распределённых удельных физических составляющих силы резания (см. рис. 6). Они рассчитываются по формулам:

$$q_N = N_{\text{эксп}} / (c \cdot b),$$

$$q_F = F_{\text{эксп}} / (c \cdot b);$$

Рассматриваем вариант из рис. 2, когда $P_{y \text{ эксп}} = 1623$ Н; $P_{z \text{ эксп}} = 3061$ Н; $F_{\text{эксп}} = 2014$ Н; $N_{\text{эксп}} = 2837$ Н.

4. Принимается, что прикладываются нормальные контактные нагрузки в виде треугольника, а касательные – в виде равномерно распределённых (рис. 7). Последние имеют небольшую величину по сравнению с нормальными и поэтому ошибки будет небольшая, что позволяет упростить расчёт и построение эпюры. Основные параметры эпюр рассчитываются по формулам:

$$\sigma_{\max} = N_{\text{эксп}} / (2 \cdot c \cdot b); \quad \tau_{\text{const}} = F_{\text{эксп}} / (2 \cdot c \cdot b);$$

Рассматриваем вариант из рис. 2, когда $P_{y \text{ эксп}} = 1623$ Н; $P_{z \text{ эксп}} = 3061$ Н; $F_{\text{эксп}} = 2014$ Н; $N_{\text{эксп}} = 2837$ Н.

5. Принимается, что прикладываются нормальные контактные нагрузки в виде треугольника, а касательные – в виде эюр, форма которой экспериментально выявлена (рис. 1, 3, 8). Основные параметры эюр рассчитываются по формулам:

$$\sigma_{\max} = N_{\text{эксп}} / (2 \cdot c \cdot b);$$

$$\tau_{\text{const}} = F_{\text{эксп}} / (0,75 \cdot c \cdot b).$$

Рассматриваем вариант из рис. 2, когда $P_{y \text{ эксп}} = 1623 \text{ Н}$; $P_{z \text{ эксп}} = 3061 \text{ Н}$; $F_{\text{эксп}} = 2014 \text{ Н}$; $N_{\text{эксп}} = 2837 \text{ Н}$.

6. Принимается, что контактные нагрузки прикладываются в виде эюр, форма которых экспериментально выявлена (рис. 1, 2). Основные параметры эюр указаны на рис. 2.

Рассматриваем вариант из рис. 2, когда $P_{y \text{ эксп}} = 1623 \text{ Н}$; $P_{z \text{ эксп}} = 3061 \text{ Н}$; $F_{\text{эксп}} = 2014 \text{ Н}$; $N_{\text{эксп}} = 2837 \text{ Н}$.

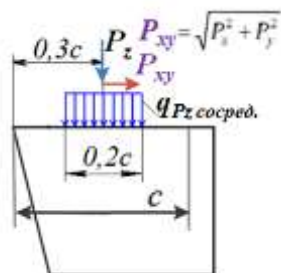


Рис. 3. Нагрузка условно сосредоточенными технологическими силами P_z , P_y и P_x (Н), действующими на небольшой площадке $0,2 \cdot c \cdot b$ (мм²)

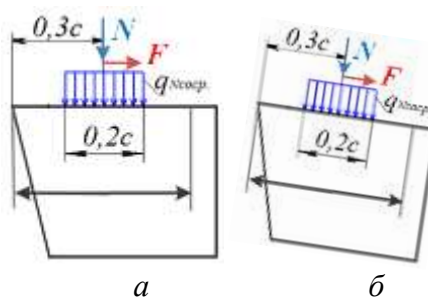


Рис. 4. Нагрузка условно сосредоточенными физическими составляющими силы резания N и F (Н), действующими на небольшой площадке $0,2 \cdot c \cdot b$ (мм²):
а – при переднем угле $\gamma = 0^\circ$;
б – при переднем угле $\gamma > 0^\circ$

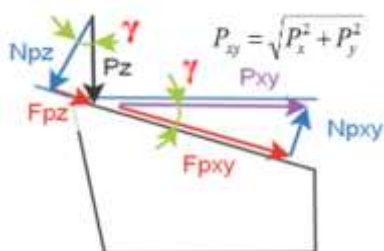


Рис. 5. Составляющие силы резания на передней поверхности в главной секущей плоскости при положительном переднем угле γ

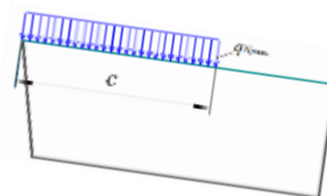


Рис. 6. Приложение равномерно распределённой нагрузки от физических составляющих силы резания

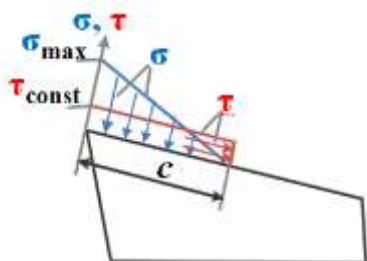


Рис. 7. Приложение равномерно распределённой нагрузки τ и нормальных контактных напряжений σ по закону треугольника

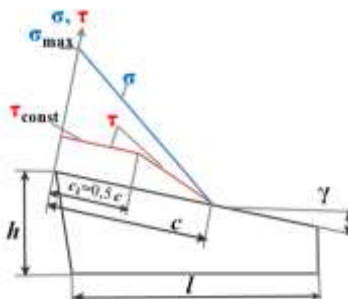


Рис. 8. Приложение контактных напряжений τ по выявленной форме и нормальных контактных напряжений σ по закону треугольника

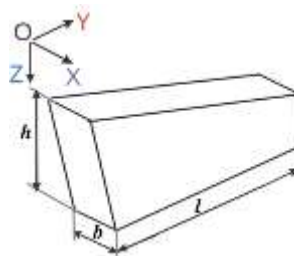


Рис. 9. 3D-модель простого резца

Сравниваем НДС (напряжения σ_e ($\sigma_{экв}$), σ_z , σ_y , σ_x , τ_{zy} , τ_{zx} , τ_{xy} , относительная деформация $\varepsilon_{обш}$) всех 6 видов и делаем выводы.

Список литературы

1. Козлов В.Н., Бабаев А.С., Семёнов А.Р. Методы исследования процесса стружкообразования при обработке конструкционных сталей / В.Н. Козлов, А.С. Бабаев, А.Р. Семёнов // Современные проблемы машиностроения : сборник статей XVI Международной научно-технической конференции, г. Томск, 27 ноября – 1 декабря 2023 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) – Томск, 2024. – С. 217–222. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/77437>.
2. Построение эпюр контактных напряжений на передней поверхности инструмента при обработке стали / В.Н. Козлов, Х. Чжан, Е.Н. Петровский // Современные проблемы машиностроения : сборник трудов XV Международной научно-технической конференции, г. Томск, 22–25 ноября 2022 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; ред. кол. Е.Н. Пашков [и др.]. – 2022. – Современные проблемы машиностроения. – С. 94–97. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/74379>.
3. Исследование распределения контактных напряжений на передней поверхности инструмента при обработке стали / В.Н. Козлов, Ц. Дин, В. Ли // Современные проблемы машиностроения : сборник трудов XV Международной научно-технической конференции, г. Томск, 22–25 ноября 2022 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; ред. кол. Е.Н. Пашков [и др.]. – 2022. – Современные проблемы машиностроения. – [С. 98–101]. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/74380>.
4. Kozlov V.N., Babaev A.S., Shults N.A. [et al.] Study of a Methodology for Calculating Contact Stresses during Blade Processing of Structural Steel / V.N. Kozlov, A.S. Babaev, N.A. Shults [et al.] // Metals. – 2023. – Vol. 13, iss. 12. – Article number 2009. – 16 p. – URL: <https://doi.org/10.3390/met13122009>.
5. Влияние переднего угла на физические составляющие силы резания при обработке стали / В.Н. Козлов, Ц. Дин, Х. Чжан [и др.] ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет // Современные проблемы машиностроения : сборник статей XVI Международной научно-технической конференции, г. Томск, 27 ноября – 1 декабря 2023 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; ред. кол. А.И. Сечин, М.С. Кухта, А.А. Моховиков [и др.]. – Томск, 2024. – Современные проблемы машиностроения. – С. 225–227. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/77439>.
6. Исследование и моделирование НДС в зоне стружкообразования при обработке стали 40X / В.Н. Козлов, Ц. Дин, Х. Чжан ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет // Современные проблемы машиностроения : сборник статей XVI Международной научно-технической конференции, г. Томск, 27 ноября – 1 декабря 2023 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; ред. кол. А.И. Сечин, М.С. Кухта, А.А. Моховиков [и др.]. – Томск, 2024. – Современные проблемы машиностроения. – С. 228–233. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/77440>.
7. Real-time determination of cutting force coefficients without cutting geometry restriction / B.Tukora, T.Szalay // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2011. – Vol. 51 – No. 12. – P. 871–879. – DOI:10.1016/j.ijmachtools.2011.08.003.
8. Unified cutting force model for turning, boring, drilling and milling operations / M.Kaymakci, Z.M.Kilic, Y.Altintas // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2012. – Vol. 54–55. – P. 34–45. – DOI:10.1016/j.ijmachtools.2011.12.008.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВУЗЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КВИЗОВ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ

Ломовская С.А.¹, Самолюк Н.Г.²

*¹ Томский государственный педагогический университет, гр. 14/731М,
e-mail: xxx_sofi_xxx@mail.ru*

*² Томский государственный педагогический университет, технолого-экономический факультет, старший преподаватель кафедры профессионального обучения, технологии и предпринимательства,
e-mail: samolyukng@mail.ru*

Инженерная графика – одна из основополагающих дисциплин в техническом образовании. Знания в области черчения, проектирования, конструирования, полученные при изучении данной дисциплины, позволяют выпускникам вузов работать в различных отраслях – от машиностроения до архитектуры.

В последние несколько лет образовательный процесс в любом техническом вузе претерпевает значительные изменения, одним из катализаторов которых является появление и внедрение новых технологий, в частности, искусственного интеллекта (ИИ). Безусловно, искусственный интеллект, а именно текстовые, визуальные, аудиальные и смешанные генеративные нейросети позволяют повысить эффективность учебного процесса, предлагая возможности для организации персонализированного обучения, автоматизации оценки знаний обучающихся, а также для разработки новых образовательных инструментов.

Одними из таких инструментов являются квизы – так называемые интерактивные онлайн-тесты, которые позволяют преподавателям оценить знания студентов в реальном времени, в то время как студенты могут пользоваться подобными ресурсами и самостоятельно, закрепляя в свободное время пройденный на лекционных занятиях материал. Квизы особенно актуальны сегодня, в эпоху активного внедрения технологий дистанционного обучения, когда нужно проверить те знания, которые раньше возможно было проверить только при очном взаимодействии – например, навыки чтения чертежей, анализа проекций и построения схем. К тому же квизы, в отличие от традиционных экзаменов, позволяют оценивать сформированность знаний и навыков студентов на протяжении всего учебного процесса, а не только после завершения курса.

В инженерной графике важно не только запомнить теоретические аспекты, но и успешно овладеть практическими навыками – умением работать с проекциями, чтением и интерпретацией чертежей, а также применением различных графических стандартов. Именно на решение таких задач можно направить задания квиза – он позволяет проверить знания студентов в самых разных областях инженерной графики: от базовых понятий (работа с проекциями и видами) до более сложных задач (пространственные чертежи).

Как и онлайн-обучение в целом, квизы имеют массу преимуществ: получение мгновенной обратной связи, возможность пройти квиз в любое удобное время, а также пройти его повторно для наилучшего усвоения материала, возможность адаптации заданий для уровня подготовки каждого отдельного студента, снижение нагрузки на преподавателя и оптимизация образовательного процесса благодаря автоматизированной системе оценивания.

Использование искусственного интеллекта открывает новые возможности для разработки интерактивных образовательных инструментов. Если говорить о квизах – здесь ИИ может помочь, например, в создании уникальных вопросов на основе имеющихся чертежей или проекций. Так, алгоритмы генеративного проектирования могут автоматически генерировать изображения чертежей с заданными параметрами, которые можно использовать в качестве основы для заданий – создание разнообразного тестового материала значительно уменьшает вероятность заучивания стандартных решений. Некоторые платформы на базе

ИИ (например, Coursera и Khan Academy) способны анализировать ошибки студентов при прохождении квизов, выявляя пробелы в их знаниях и формируя соответствующие задания в качестве работы над ошибками. Даже некоторые САПР-системы сегодня имеют интегрированный ИИ, что позволяет студентами автоматически исправлять ошибки при проектировании, обучаясь в процессе.

Сегодня существует множество инструментов и платформ на базе ИИ, которые могут применяться для создания квизов. Прежде всего, конечно, это текстовые генеративные нейросети, такие как ChatGPT или GigaChat от Сбера. Нейросети необходимо задать качественно составленный и подробный промт – а дальше она все сделает самостоятельно, предоставив необходимое количество заданий. Представленные выше нейросети на сегодняшний день могут также самостоятельно генерировать изображения по описанию, что так же может пригодиться при подготовке квизов.

Тем не менее, использование ИИ при разработке квизов имеет и определенные ограничения. Так, ИИ, как правило, хорошо справляется с созданием базовых вопросов, однако генерация более сложных заданий может оказаться невыполнимой для него, особенно если пользователь не обладает навыками промптинга, то есть формулирования качественных запросов. Анализ изображений и, в частности, чертежей, также может вызывать затруднения у генеративных нейросетей, которые достаточно хорошо справляются с распознаванием, однако не всегда способны отметить мелкие отклонения от стандартов или ошибки в масштабировании. Кроме того, проблема внедрения ИИ в образовательный процесс сегодня – это отдельный вопрос, который, к сожалению, пока что не нашел единого решения. В России существуют вузы, которые положительно относятся к использованию ИИ и даже закрепляют возможность его применения в своих нормативных документах (например, МГПУ), однако в регионах в большинстве вузов все еще существует запрет на использование ИИ студентами, что очень сильно ограничивает и возможности преподавателя. Некоторые исследователи также предполагают, что сами студенты не всегда позитивно воспринимают использование ИИ в образовательном процессе, однако на практике можно заметить, что обучающиеся быстро адаптируются к новым технологиям. А вот многие преподаватели действительно предпочитают придерживаться традиционного стиля обучения, и зачастую достаточно сильно сопротивляются любым попыткам использования ИИ в своей работе.

Для того, чтобы проверить возможности генеративной нейросети в создании квиза, мы использовали ChatGPT от организации OpenAI, предложив ему следующий промт: «Составь квиз по Инженерной графике по теме «Конкурирующие точки». Квиз должен состоять из 5 вопросов разного типа (например, один вопрос с выбором правильного ответа, один на установление соответствия, один открытый вопрос и т. д.). Ответы должны быть четкими и понятными, включая правильный вариант для вопросов с выбором. Учти, что квиз предназначен для студентов».

ChatGPT предложил следующий вариант квиза:

1. Как определяются конкурирующие точки в инженерной графике?
 - a) Точки, находящиеся на одной прямой
 - b) Точки, расположенные на разных видах, но относящиеся к одному объекту
 - c) Точки, принадлежащие разным объектам
 - d) Точки, лежащие в одной плоскости
2. Установите соответствие между описанием и типом конкурирующих точек:
Точки, относящиеся к одному элементу конструкции на разных видах.
Точки, принадлежащие соединяемым поверхностям.
Точки, определяющие одну и ту же окружность в пространстве.
 - a) Граничные точки
 - b) Циркулярные точки
 - c) Опорные точки

3. Опишите процесс определения конкурирующих точек на чертеже, если они принадлежат пересекающимся элементам конструкции.

4. Какие из следующих инструментов используются для анализа конкурирующих точек?

- a) Линейка
- b) Циркуль
- c) Трёхмерное моделирование
- d) Таблицы допусков

5. На чертеже даны два вида детали: вид спереди и вид сверху. Какой метод вы примените, чтобы проверить совпадение конкурирующих точек на этих видах?

Мы видим, что представленный технологиями искусственного интеллекта квиз предлагает нам сочетание теоретических и практических, открытых и закрытых вопросов, таким образом, являясь эффективным инструментом для проверки знаний студентов.

Использование искусственного интеллекта в образовательном процессе, особенно в таких дисциплинах, как инженерная графика, открывает широкие возможности для улучшения качества обучения. ИИ способствует созданию адаптивных и интерактивных учебных материалов, позволяет автоматизировать проверку знаний, а также предоставляет преподавателям и студентам новые инструменты для эффективного взаимодействия. Внедрение этих технологий обещает значительное повышение персонализации образования, улучшение практических навыков студентов и оптимизацию учебного процесса. Несмотря на существующие вызовы и проблемы, связанные с внедрением и принятием ИИ, его потенциал для трансформации образовательной среды очевиден.

Список литературы

1. Петренко П.В. Исследование возможностей применения искусственного интеллекта в обучении инженерной графике // Моя профессиональная карьера. – 2023. – Т. 1, № 46. – С. 135–140.

2. Комов С.А., Баулин В.А. Применение технологий искусственного интеллекта в изучении графических дисциплин // Студент года 2023: сборник статей XXIX Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 05 ноября 2023 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 47–51.

3D-ПЕЧАТЬ КАК СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО БЕЗВОЗДУШНОГО БАСКЕТБОЛЬНОГО МЯЧА

*Ураймахунов Р.Р.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4А11,
e-mail: rru2@tpu.ru*

В современном мире 3D-печать является одним из наиболее развивающихся направлений по созданию моделей и получает очень широкое применение во многих аспектах жизни: промышленность, быт, досуг, биоинженерия, спорт и многие другие. Ни для кого не секрет, что в 2019 году ученые с помощью биологического 3D-принтера смогли напечатать полностью функционирующее человеческое сердце малых размеров, а компания MANLE напечатала поршни для спорткара Porsche 911 GT2 RS на основе алюминиевого порошка. С каждым днем ученые и экспериментаторы открывают для себя новые границы 3D-печати.

Компания Wilson Sporting Goods Co. не была исключением. В марте 2023 года на фестивале NBA Slam Dunk Contest Champs был представлен первый безвоздушный баскетбольный мяч Wilson Airless Gen1, созданный полностью с помощью 3D-печати. Он пригоден для игры и почти полностью соответствует техническим характеристикам обычного мяча, включая вес, размер и отскок (рикошет). Инновационный дизайн мяча был создан командой Wilson Labs в Инновационном центре бренда в Чикаго, услуги вычислительного проектирования были предоставлены компанией General Lattice, решения по окраске и отделке компанией DyeMansion, а услуги по 3D-печати были предоставлены техническим центром EOS, имеющим очень немалую известность на западе.

Безвоздушный прототип имеет тот же размер и форму, что и традиционный баскетбольный мяч, с восемью лопастными панелями, покрывающими поверхность. Вместо цельной кожаной оболочки компания сделала прототип мяча полым с большими шестиугольными отверстиями. Так что называть его «безвоздушным» немного неправильно – в мяче много воздуха, но он не остается там. Мяч отскакивает от поверхности из-за упругой конструкции, а не из-за находящегося внутри под давлением воздуха.

Как же создавалось данное чудо?

Изначально инженеры компании хотели перевернуть представление о баскетбольном мяче: вместо традиционного с камерой внутри, швами и другими конструктивными особенностями, нужен такой прототип, который будет по ощущениям такой же, как традиционный, но «совсем не такой».

Wilson начал с проектирования мяча в виртуальной среде. На самом деле, каким образом будет изготавливаться инновационный баскетбольный мяч никто не знал, особенно на первых порах. В скором времени инженеры решили: аддитивные технологии – лучшее, если не единственное, решение, позволяющее претворить мечту компании в реальность.

Wilson Sporting Goods объединилась с фирмой по 3D-печати под названием EOS для создания безвоздушного прототипа. В большинстве случаев 3D-печать предполагает нанесение слоев расплавленного пластика с помощью сопла экструдера, но у EOS есть уникальная система, которая уже нашла применение в медицинских устройствах и аэрокосмической отрасли.

EOS использовала SLS печать для создания Airless Gen1. Технология SLS (Селективное лазерное спекание) заключается в спекании порошка с помощью инфракрасного лазера при повышенной температуре, которая помогает зернам порошка консолидироваться при контакте с лазерным лучом. В обычном SLS-принтере имеется так называемая «кровать», на которой валик распределяет тонкий слой порошка, а затем лазер спекает его частицы в соответствии с 3D-моделью, создавая деталь слой за слоем.

В качестве принтера использовался высокотехнологичный EOS P 396. По утверждениям самой EOS, это один из лучших принтеров их серии. Все детали, напечатанные на 3D-принтере,

отличаются превосходными механическими свойствами и точностью размеров благодаря программным функциям, таким как интеллектуальное масштабирование, EOSAME и непрерывный контроль температуры. «Непрерывная оптимизация всего производственного процесса стала возможной благодаря оценке и документированию всех циклов сборки»

Как происходила печать мяча:

1. Камера с порошком, как и вся область печати нагревается чуть ниже температуры плавления полимера, после чего выравнивающее лезвие распределяет тонкий слой порошка по рабочей платформе.

2. CO₂-лазер сканирует контур следующего слоя и выборочно спекает частицы порошка полимера. Поперечное сечение компонента сканируется полностью, поэтому деталь получается монолитной.

3. Когда слой завершен, рабочая платформа движется вниз, и лезвие вновь покрывает порошок поверхность.

После завершения процесса печати ответственное лицо проверяет полноценность мяча и выполняет температурный контроль. Этот этап тоже очень важен для создания качественного мяча, поскольку при неправильном температурном режиме его структура может слегка измениться, что существенно повлияет на характеристики, а это в свою очередь может стать причиной несходства с традиционным мячом по весу, отскоку и так далее. Это значит, что цель не достигнута, и необходимо выполнить работу заново.

Температурный контроль выполняется с помощью высокочувствительных датчиков внутри 3D-принтера, которые распознают малейшие изменения в температуре и дают знать, если в чем-то допущена ошибка.

После проверки по температуре необходимо вынуть мяч из ванны с пудрой, что, по словам инженеров EOS, является очень ответственным шагом, сравнимым с археологическими раскопками. Тут, как и в предыдущем шаге, немаловажно не испортить структуру мяча, чтобы не изменить и, соответственно, ухудшить его физические свойства и испортить продукт.

Затем инженеры проверяют качество мяча путем анализа внешнего состояния, то есть на дефекты поверхности. Если все предыдущие шаги были выполнены без ошибок, строго по плану, дефектов быть не должно.

Поскольку для печати используется порошок белого цвета, изначально Airless Gen1 такой же. Но компания Wilson предлагает 3 расцветки: стандартный оранжевый (Orange), белый (Natural) и черный (Jet Black). Соответственно, нужно окрасить мяч без нарушения его целостности. Компания DyeMansion занялась этим вопросом.

Для Wilson Labs и EOS была организована специальная поставка уникальной системы окраски (и в целом подготовки поверхности) DyeMansion DM60. Эта система совместима со всеми видами технологий, использующих материалы на основе пудры, SLS в числе этих технологий.

Это уникальное устройство просто в обслуживании, поскольку для получения результата достаточно погрузить объект в специальный отсек, нажать кнопку «Start» и ждать результата.

Процесс окраски занимает два с половиной часа, за это время краска проникает внутрь примерно на 2 мм. В отличие от распространенного метода окрашивания аэрозольными красками, окрашивание в системе DyeMansion DM60 не образует дополнительного слоя на поверхности, а проникает вглубь изделия, в таком случае не изменяются размеры изделия, не забиваются тонкие каналы и пазы, это позволяет сразу производить печать изделия «в размер», а также улучшаются защитные свойства поверхности.

После покраски первый прототип отправили в специальный тест-центр NBA, поскольку компания Wilson является амбассадором данных соревнований и предоставляет им баскетбольные мячи уже долгие годы.

Как было сказано ранее, впервые Wilson Airless Gen1 был представлен на Slam-Dunk Contest'e, где звезды NBA лично проверили безвоздушный мяч на сходство с традиционным, вследствие чего были приятно удивлены. Сейчас мяч проходит тщательное тестирование в

испытательном центре NBA в штате Огайо. Результаты тестов пока не обнародованы, но предварительное мнение одного из форвардов указывает на то, что мяч более чем пригоден для игры в баскетбол.

Airless Gen1 был выпущен в лимитированной серии. На данный момент стоимость инновационного высокотехнологичного безвоздушного печатного мяча составляет \$2500, и продукт действительно оправдывает цену.

Закключение. Традиционный кожаный баскетбольный мяч получил современную высокотехнологичную замену. Это безвоздушный мяч Wilson Airless, в котором отскок достигается не за счет давления воздуха внутри, а за счет эластичной структуры нового полимерного материала. Мяч напечатан на 3D-принтере так, что привычный рисунок на поверхности и хват сохраняются. Модель Airless разрабатывалась так, чтобы максимально точно соответствовать характеристикам традиционных мячей. И все же, глядя на нее, некоторые сомнения остаются. Например, пока не ясно, как ребристая поверхность мяча будет влиять на аэродинамику при бросках с дальних дистанций, но это, думаю, вскоре станет известно.

Список литературы

1. SDS EOS P 396 / EOS GmbH // Электронный ресурс.
2. The Making of the Wilson Airless Prototype Basketball (youtube.com) // Электронный ресурс.
3. Что такое SLS 3D-печать. Как работает SLS 3D-принтер. Обзор аддитивных технологий. (3dtool.ru) // Электронный ресурс.
4. Airless Gen1 Basketball / Wilson's First Airless Basketball // Электронный ресурс.
5. Wilson разработала первый в мире безвоздушный баскетбольный мяч, который напечатала на 3D-принтере (overclockers.ru) // Электронный ресурс.

ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ГРАВИТАЦИИ КАК ПРОБЛЕМА 3D-ПЕЧАТИ

*Ураймахунов Р.Р.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4А11,
e-mail: rru2@tpu.ru*

В современном мире прогресс не стоит на месте, и вещи, которые казались нам невозможными в прошлом, уже активно применяются в настоящем. Сложно было представить безвоздушный мяч или облегченный поршень, использующийся в Porsche 911 GT3RS. Но сейчас все это есть, и на этом открытия, созданные с помощью аддитивных технологий, не останавливаются.

Тем не менее, 3D-печать не идеальна, у нее есть свои недостатки. Смещения слоев, трещины в высоких объектах, заусенцы и волоски, недостаточное качество поверхности и так далее. Но у этих проблем есть решение, достаточно просто прочитать руководство или, в конце концов, найти информацию в интернете. Однако, есть проблемы, которые просто так человеку не решить. Таковой является зависимость от гравитации.

Гравитация – то, что на данный момент неподвластно человеку. Сейчас, конечно, стараются найти частицу, отвечающую за гравитацию, но пока безуспешно. Это фундаментальное явление, закон природы, который нами воспринимается как данное. Но какие проблемы могут возникнуть из-за нее или же из-за ее отсутствия?

Во-первых, возникновение поддержек. При 3D-печати, например, отверстий, ось вращения которых лежит в плоскости, параллельной плоскости рабочего стола, поддержки просто необходимы. Это ведет за собой затраты на материал, дополнительную обработку и, как следствие, возможную неоднородность получившегося отверстия, что ведет за собой брак всего изготавливаемого изделия. Особенно поддержки необходимы при печати сложных изделий. Это наиболее актуально для ландшафтной 3D-печати, поскольку там наличие временных опор – это обязательная составляющая, однако при печати деталей сложного профиля тоже возникает острая необходимость в поддержках, иначе деталь просто не напечатается.

Во-вторых, отсутствие гравитации как таковой. В условиях невесомости 3D-печать должна производиться липким или быстро застывающим материалом, чтобы происходило скрепление слоев, которые на Земле просто придавливаются гравитацией и остывают. В ином случае печать невозможна, поскольку банально не будет наслаивания материала.

Но все же есть компании, которые смогли совладать с гравитацией.

На данный момент в интернете стало очень популярно видео печати сумки Ариэль, персонажа Disney, в кубе геля. Но данная технология появилась еще задолго до этого видео. В 2017 году команда ученых из Массачусетского технологического института придумала новый тип печати: RLP, или Rapid Liquid Printing. Иными словами, это скоростная печать в жидкой среде. Это смелое решение как раз решает проблему зависимости от гравитации, поскольку в качестве перманентной поддержки выступает плотный гель, который сам может являться материалом для печати наряду с резиной, промышленной пеной и пластиком. Такие материалы применялись в начале развития данного метода печати.

Затем группа ученых скооперировалась с командой конструкторов мебельной компании Steelcase, которая нуждалась в скоростном изготовлении качественного продукта. Тогда ученые представили модернизированный роботизированный экструдер, который позволяет подавать разный по роду материал из одного сопла. В этот момент технология печати RLP начала стремительно развиваться: в ход пошли самые разные материалы, вплоть до бетона, и данный метод отлично справлялся с поставленными задачами.

После всемирного признания такой технологии швейцарский промышленный дизайнер Кристоф Губеран, объединившись с SelfassemblyLab, представил публике предметы интерьера, напечатанные с помощью RLP, в Милане в апреле 2017 года. Благодаря этой серии зри-

тели оценили потенциал данного метода, поскольку большая часть напечатанных предметов состояла из силикона. Ранее о печати из силикона можно было только мечтать, а уже сегодня этот материал активно применяется при печати изделий различной сложности и конфигурации. Это была первая презентация изделий, созданных с помощью RLP печати, на широкую аудиторию.

Как работает RLP печать?

Материал для печати подаётся через тонкую иглу, что позволяет печатать небольшие и в то же время сложные объекты с большим количеством деталей. Гель на основе полимеров акрила выполняет роль опорной структуры, не позволяющей печатаемому объекту рассыпаться под собственной тяжестью. Вместе с экструдированным материалом гель превращается в суспензию – смесь веществ, где твёрдая фаза во взвешенном состоянии распределена в жидком веществе, благодаря чему состав не оседает и не всплывает на поверхность, что и решает проблему с гравитацией.

Роботизированный экструдер подаёт материал в контейнер с промышленным гелем. По мере подачи материал остаётся внутри геля и соединяется только сам с собой. Таким образом, готовую конструкцию остаётся только извлечь из геля и промыть водой – напечатанный на 3D-принтере объект не нуждается в дополнительной обработке.

Преимуществом так же является и структурная целостность напечатанного изделия, поскольку оно не имеет видимого послойного деления, хотя, по сути, этот метод является аддитивной технологией.

Однако стоит отметить, что оборудование для RLP и по сей день дорогое, поскольку все еще считается одной из наиболее эффективных технологий для 3D-печати. Поэтому все изделия, полученные данным методом, будут иметь достаточно высокую стоимость.

Что касается печати в космосе, то на данный момент известно, что впервые 3D-принтер для печати в невесомости представили российские разработчики РКК «Энергия» (входит в «Роскосмос») в мае 2022 года. Более того, техническое оснащение для такого принтера предоставил Томский политехнический университет, а электронную – Томский государственный университет.

РКК «Энергия» работала над разработками такого принтера для Международной космической станции (МКС), на которую в июне этого же года отправился один экземпляр принтера. Второй же оставили на Земле.

4 мая на официальном сайте ТПУ вышла статья об успехах работы. «Разработка принтера со всеми необходимыми этапами заняла чуть больше трех лет. Перед специалистами Томского политеха стояла задача сделать аппарат, который позволит оперативно и непосредственно на станции создавать нужные космонавтам небольшие детали, чтобы их не пришлось доставлять с Земли,» – говорится в статье.

Представляет собой этот инновационный принтер аналоговый телевизор. «Рабочая камера принтера, в которой непосредственно происходит процесс печати, полностью герметичная. Она оснащена системами терморегулирования, вентиляции, циркуляции и очистки воздуха. Это важно для удаления продуктов термического разложения пластика из атмосферы рабочей камеры и обеспечения безопасности экипажа станции. В обычных принтерах такие элементы не предусмотрены,» – написано в той же статье.

В качестве материала выступает термопластичный полимер. Принтеру задают 3D-модель, которую затем он послойно печатает. Детали, изготовленные таким образом, получаются очень прочными, но при этом легкими.

А в 2024 году ученые из Калифорнийского университета Беркли провели испытания своего детища, микрогравитационного принтера SpaceCAL, непосредственно в невесомости.

Устройство было расположено на борту суборбитального корабля VSS Unity от Virgin Galactic. Застывание напечатанных конструкций происходило в результате полимеризации за

счет света. Это позволило формировать сложные трёхмерные структуры быстро, несмотря на отсутствие гравитации.

SpaceCAL может создавать объекты из более чем 60 различных материалов. В их число так же входят нанокompозиты и биоматериалы, что несомненно является инновацией.

Заключение: Гравитация, как и ее отсутствие, являлась одной из самых важных проблем традиционной 3D-печати. Но технология Rapid Liquid Printing успешно с ней справилась. В современном мире RLP активно применяется в производстве, строительстве и робототехнике. И это далеко не предел.

А с отсутствием гравитации первыми в 2022 году справились отечественные инженеры, в том числе инженеры ТПУ и ТГУ. На данный момент на МКС есть один экземпляр принтера, работающего в условиях невесомости, созданный нашими соотечественниками. В скором будущем, по заявлению создателей SpaceCAL, микрогравитационного принтера из Калифорнии, каждая космическая станция будет оснащена таким оборудованием, поскольку это необходимо для изучения окружающего нас космоса и, вероятно, будущей колонизации.

Список литературы

1. Созданы первые российские 3D-принтеры для работы в условиях невесомости // Электронный ресурс.
2. 3D-принтеры «научились» печатать в невесомости // Электронный ресурс.
3. Ученые создали новую технологию 3D-печати с помощью геля // Электронный ресурс.
4. Как 3D-принтеры могут заменить фабрики // Электронный ресурс.
5. Инженеры научили 3D-принтер печатать в геле // Электронный ресурс.

ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ СЛОЕВ

Протопопова Е.Ю.¹, Лысак И.А.²

¹ТПУ ИШНПТ ОМШ, гр. 4АМ31,

e-mail: eyp15@tpu.ru

²ТПУ ИШНПТ к.т.н., доцент ОМШ,

e-mail: doc@tpu.ru

В настоящее время в машиностроении имеется большое количество разнообразных деталей, к которым предъявляются высокие требования по точности изготовления и высокой твердости рабочего поверхностного слоя. Типичными и наиболее массовыми представителями данных деталей являются детали типа тел вращения: втулки, кольца, фланцы и т. д. В связи с этим, во всех отраслях промышленности все чаще применяют методы, основанные не на резании материалов, а на пластическом деформировании в холодном состоянии поверхностного слоя металлических деталей машин, что определяется существенными преимуществами метода обработки давлением, по сравнению с методом обработки резанием.

Сочетание достигаемых при обработке давлением низкой шероховатости поверхности с гарантированным упрочнением поверхностного слоя обеспечивает высокие эксплуатационные свойства деталей: повышение твердости поверхностного слоя металла, его износостойкости, предела текучести и особенно предела усталости [1].

Именно эти достоинства в сочетании с высокой экономичностью и простотой осуществления технологического процесса практически в любых производственных условиях определили быстрое развитие и широкое внедрение в производство методов отделочно-упрочняющей обработки, среди которых поверхностное пластическое деформирование (ППД) является одним из наиболее экономичных и эффективных методов упрочнения. ППД позволяет полнее реализовать потенциальные свойства конструкционных материалов в реальных деталях, особенно в деталях сложной формы.

К одним из наиболее эффективных методов улучшения качества деталей относится дорнование. Дорнование обладает способностью к формированию инструментом упрочненного поверхностного слоя в обрабатываемой заготовке со специфическим расположением волокон металла, за счет которого долговечность этой детали возрастает в 1,5–2 раза [2]. Точность деталей и качество их поверхностного слоя обеспечиваются распределением остаточных деформаций и напряжений.

Процессам дорнования отверстий свойственны многие характерные признаки холодной обработки металлов давлением: упрочнение металла при его пластическом деформировании, изменение линейных размеров обрабатываемых заготовок, трение и высокие давления на контактных поверхностях и др. [3].

Необходимо также указать на применение поверхностного деформирования, в том числе и дорнования, для соединения компонентов. На сопрягаемой поверхности охватывающей детали предварительно наносится макрорельеф (царапины, впадины). При дорновании происходит пластическая деформация охватываемой детали. И, так как, материал охватываемой детали более пластичный, то он заполняет профиль охватывающей детали. Преимуществом данного соединения является высокая точность и качество обработанного отверстия [4].

Метод дорнования нашел широкое применение в различных областях машиностроения и продолжает развиваться и совершенствоваться. Он позволяет повысить устойчивость к разрушению и улучшить качество поверхности отверстия.

Одной из важных проблем является подбор параметров процесса для достижения наилучших результатов. Экспериментальное исследование протекающих при дорновании процессов и напряженно-деформированного состояния является затруднительным [5], по-

этому появляется необходимость использования различных методов инженерного анализа и моделирования.

Использование математической модели процесса дорнования является наиболее перспективным, так как позволяет упростить расчеты, учесть особенности геометрии и другие факторы, а также провести более детальный анализ влияния параметров на усталостную прочность отверстия [6]. Это может существенно повысить эффективность и точность процесса дорнования в машиностроении.

Список литературы

1. Рыков А.Д. Отделочно-упрочняющая обработка внутренних поверхностей / А.Д. Рыков, Д.В. Черепанов, В.П. Елисов, В.А. Левко // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2022. – Ч. 1 – С. 35–37.
2. Проскуряков Ю.Г. Дорнование отверстий / Ю.Г. Проскуряков. – М.: Машгиз, 1961. – 190 с.
3. Скворцов В.Ф. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра / В.Ф. Скворцов, А.Ю. Арляпов. – Томск: ТПУ, 2005. – 92 с.
4. Галактионова Е.А. Обзор технологий формирования неразъемных соединений методами пластического деформирования / Е.А. Галактионова, П.А. Петров // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2024. – № 1 – С. 653–666.
5. Ge E.D., Fu Y.C., Su H.H., Xu J.H., ChenXue M. Study on residual stresses and fatigue properties of TC21 titanium alloy plate bores by cold extrusion // Rare metal materials and engineering. – 2016. – Vol. 45, № 5 – P. 1189–1195.
6. Чжан Ц. Численное исследование остаточных окружных напряжений при дорновании в трехмерной и двумерной осесимметричной постановке / Ц. Чжан, Г.В. Лысак, Ш.Ш. Сатимов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет // Современные проблемы машиностроения: сборник статей XVI Международной научно-технической конференции, г. Томск, 27 ноября – 1 декабря 2023 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2024. – С. 201–204.

КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ ПЛАЗМЕННОГО ПЛАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

Шеховцов В.В., Улмасов А.Б., Семеновых М.А.

Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия

Современные промышленные технологии стремятся улучшить параметры технологических процессов, такие как скорость, время и интенсивность взаимодействия. Однако традиционные отрасли, обеспечивающие человечество энергией, металлами, пластиками и другими материалами, сталкиваются с рядом недостатков, включая большие объёмы производства, высокую энергоёмкость, значительные затраты ресурсов и образование большого количества отходов [1]. Развитие техники и электроники требует повышения качества традиционных материалов и создания новых, обладающих уникальными свойствами, такими как чистота, термостойкость, химическая стойкость, твёрдость и т. д. Это привело к поиску и разработке новых технических решений в металлургии, химической промышленности, энергетике, машиностроении и других областях. Как правило, синтез материалов в системе $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ из тугоплавких материалов чаще получают методом обжига и искровой плазменной спекание. На сегодня актуальным является применение энергии термической плазмы для синтеза тугоплавких материалов, так как данный источник энергии позволяет реализовать высокие удельные тепловые потоки, что приводит к усреднённым по массе температурам от 3500 до 10 000 К. Цель исследования является синтез керамических материалов на основе продуктов плазменного плавления. Система $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ включает в себя ряд ключевых бинарных соединений: муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$), форстерит (Mg_2SiO_4), шпинель (MgAl_2O_4), которые широко используются в производстве огнеупорных материалов для металлургической промышленности, а также в высокотемпературных изоляторах и абразивных материалах.

На рисунке 1 представлена методология процесса получения керамических материалов на основе продуктов плазменного плавления.

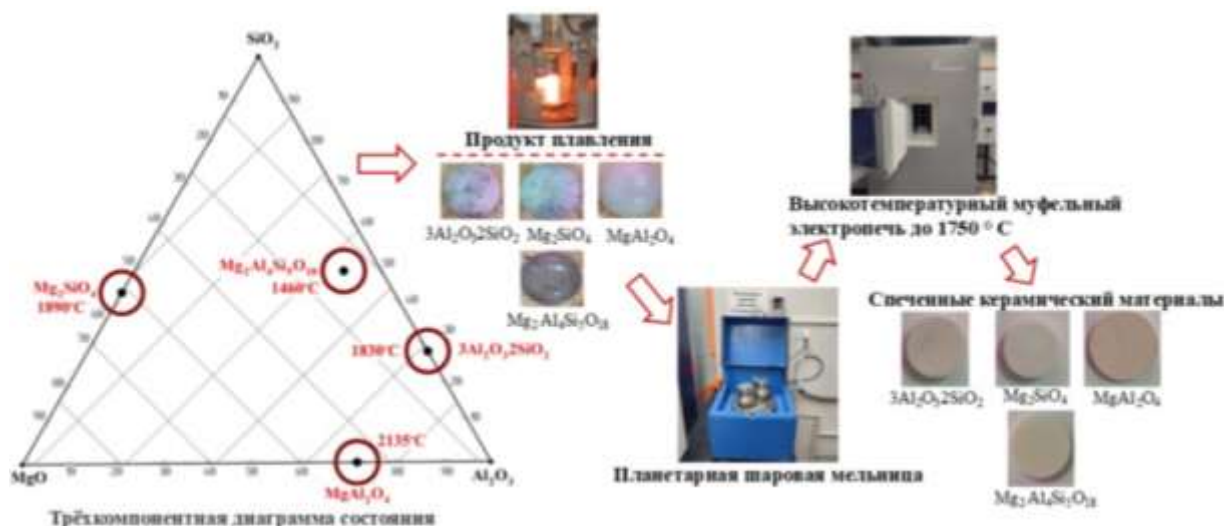


Рис. 1. Методология процесса получения керамических материалов на основе продуктов плазменного плавления

Продукты плавления синтезировались на электроплазменном стенде, принцип работы и конструктивные особенности подробно описаны в работах [2,3]. Помол продуктов плавления осуществлялась в планетарном шаровом мельнице (активатор 2XS) в течение 15–30 мин. Прессование образцов проводилась на гидравлическом прессе при давлении 200 Мпа. Спе-

вание проводился в высокотемпературном муфельном печи, температура варьировался при 1550 °С. В таблице 1 представлены текстурные характеристики керамических материалов.

Таблица 1

Характеристики керамических материалов

Керамика на основе	Плотность, г/см ³	Водопоглощение, %	Открытая пористость, %
3Al ₂ O ₃ 2SiO ₂	2,8 (теор. 3,1)	1,14	2,12
Mg ₂ SiO ₄	2,84 (теор. 3,22)	0,22	0,63
MgAl ₂ O ₄	3,24 (теор. 3,57)	0,36	1,19

Результаты показали, что плотность полученных керамических образцов отклоняется от теоретической на 1 %. Водопоглощение спеченных керамики варьируется от 0,22 до 1,14 %, пористость составляет от 0,63 до 2,12 %.

На рис. 2 представлены электронные снимки поверхности продуктов плавления на основе шпинели (а), форстерита (б), муллита (в).

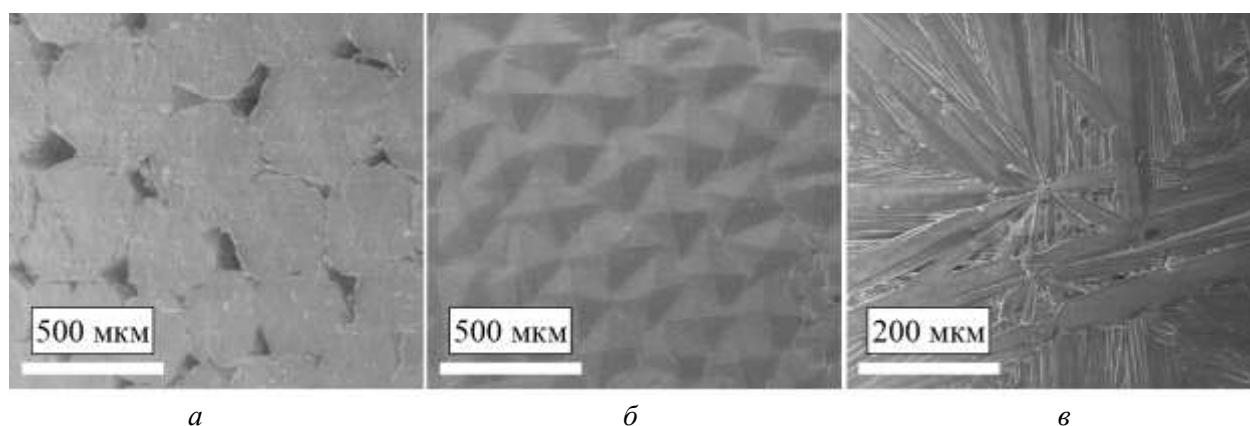


Рис. 2. Электронные снимки поверхности продуктов плавления на основе шпинели (а), форстерита (б), муллита (в)

Поверхность продукта плавления MgAl₂O₄ характеризуется кристаллическими зернами многоугольной структуры средним размером 234±25 мкм. Зерна ориентированы и имеют контактную зону с близлежащими зернами, при этом присутствуют поровые пространства средним размером 53±8 мкм. Оценка микроструктуры Mg₂SiO₄ показывает, что кристаллизация расплава описывается и сопровождается плотной упаковкой бипирамидальной формы зерен размером 147±25 мкм. Микроструктура поверхности продукта плавления 3Al₂O₃ · 2SiO₂ представлена характерными длинными (≥50 мкм), радиально расходящимися кристаллическими структурами.

Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ FEMN-2023-0003

Список литературы

1. Boyko N., Odaryuk V., Safonov A. Main Applications of Plasma Technology in Industry // Civil SecurityTechnology. – Vol. 12. – 2015. – P. 70–74.
2. Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Ulmasov A.B., Synthesis of MgAl₂O₄ Spinel in a Thermal Plasma // Inorg. Mater. – V. 59. – 2023. – P. 851–857.
3. Shekhovtsov V.V. Thermal Plasma Synthesis of Forsterite with Cubic Matrix // High Energy Chem. – V. 57. – 2023. – P. 204–208.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТРЕНДЫ И ВЫЗОВЫ

*Цзя Чуанчуан, студент гр. 158Т12
НИ ТПУ,
e-mail: tc010@tpu.ru*

Введение

Современная промышленность находится на пороге глобальных изменений, вызванных широким внедрением инновационных технологий. Производственные предприятия всё чаще обращаются к цифровым инструментам и автоматизированным решениям, которые позволяют улучшить эффективность, оптимизировать ресурсы и снизить затраты. В этой трансформации огромную роль играют такие концепции, как "Индустрия 4.0", умные фабрики и цифровизация. Эти подходы направлены на объединение физического производства и цифровых технологий в единую систему, где информация становится основой управления и принятия решений.

Однако масштабное внедрение новых технологий – это не только возможности, но и значительные вызовы. Для их успешного освоения предприятиям приходится адаптировать существующие процессы, инвестировать в обучение персонала и модернизировать инфраструктуру. Стремление к устойчивому развитию добавляет ещё один уровень сложности, требуя внедрения экологически ответственных подходов. Таким образом, тема развития современных производственных технологий остаётся крайне актуальной как с точки зрения инноваций, так и в контексте глобальных вызовов, с которыми сталкивается промышленность.

Основные направления развития технологий

Современные производственные технологии трансформируют традиционные подходы к производству, делая их более эффективными, гибкими и ориентированными на решение комплексных задач. Важнейшей составляющей этих изменений является цифровизация, которая представляет собой переход к использованию данных в реальном времени для управления всеми аспектами производственного процесса. Цифровые двойники, создаваемые на основе этих данных, позволяют моделировать и тестировать оборудование до его физического внедрения, снижая вероятность ошибок и потерь.

Роботизация стала ещё одним ключевым элементом прогресса. Современные роботы выполняют задачи, которые ранее требовали значительных затрат времени и ресурсов. Они находят применение не только в промышленности, но и в логистике, медицинском оборудовании и сельском хозяйстве, где точность и надёжность имеют решающее значение. Благодаря автоматизации ручные операции заменяются высокоскоростными процессами, что улучшает качество продукции и сокращает производственные циклы.

Искусственный интеллект (ИИ) также занимает центральное место в развитии технологий. Он помогает обрабатывать огромные массивы данных, полученных с производственных линий, предоставляя возможность прогнозировать поломки, анализировать узкие места и повышать общую эффективность. Например, ИИ используется для контроля качества продукции, обеспечивая своевременное выявление дефектов.

Не менее важным направлением стала устойчивость производства. Компании переходят на использование возобновляемых источников энергии, внедряют технологии переработки и минимизации отходов. Эти изменения способствуют не только снижению затрат, но и улучшению имиджа компаний среди потребителей, всё чаще выбирающих экологически ответственные бренды.

Сложности внедрения

Несмотря на огромное количество преимуществ, внедрение современных технологий сопряжено с рядом сложных вызовов. Одним из главных барьеров остаются высокие капитальные вложения. Закупка оборудования, модернизация производственных линий и инте-

грация цифровых решений требуют значительных инвестиций. Для малых и средних предприятий этот фактор становится особенно острым, поскольку они часто не обладают необходимыми финансовыми ресурсами.

Второй ключевой проблемой является дефицит квалифицированных кадров. Развитие новых технологий требует специалистов с глубокими знаниями в области ИТ, инженерии и анализа данных. Однако существующая система подготовки кадров часто не успевает за темпами изменений. Это вынуждает компании самостоятельно разрабатывать программы обучения, что увеличивает сроки и затраты на внедрение.

Третий вызов связан с обеспечением кибербезопасности. С увеличением числа подключённых устройств и систем растут риски кибератак, которые могут парализовать производственные процессы или привести к утечке конфиденциальной информации. Для решения этой проблемы предприятиям приходится инвестировать в защиту данных и разработку систем, способных противостоять современным угрозам.

Возможности и перспективы

Несмотря на вызовы, возможности, предоставляемые современными производственными технологиями, огромны. Будущее промышленности связано с созданием адаптивных систем, которые могут гибко реагировать на изменения спроса и модернизировать процессы в режиме реального времени. Например, технологии аддитивного производства, такие как 3D-печать, уже сегодня позволяют изготавливать уникальные изделия с минимальными затратами ресурсов.

Для преодоления кадрового дефицита необходимы системные меры. Развитие образовательных программ, которые сочетают теоретическую базу с практической подготовкой, станет основой для формирования высококвалифицированных специалистов. Также важно развивать системы переквалификации сотрудников, позволяя им осваивать новые навыки в процессе работы.

Инвестиции в устойчивое производство открывают предприятиям доступ к новым рынкам и привлекают потребителей, ориентированных на экологическую ответственность. Внедрение возобновляемых источников энергии, минимизация отходов и использование переработанных материалов становятся важными элементами конкурентной стратегии.

Заключение

Современные производственные технологии предоставляют предприятиям уникальные возможности для роста, повышения эффективности и адаптации к новым условиям. Однако их успешное внедрение требует преодоления множества барьеров, включая финансовые затраты, кадровый дефицит и киберугрозы. Только комплексный подход, сочетающий инвестиции в инфраструктуру, разработку стандартов безопасности и подготовку специалистов, может обеспечить успешную трансформацию промышленности. В будущем эти технологии станут основой для создания устойчивых и конкурентоспособных производственных систем, способных отвечать на глобальные вызовы и удовлетворять запросы рынка.

Список литературы

1. Захаров Д.А. Цифровизация промышленности: вызовы и возможности. – Москва: Изд-во Наука, 2023. – 250 с.
2. Иванова Е.И. Индустрия 4.0: от теории к практике. – СПб: СПбГУ, 2022. – 198 с.
3. Сидоров А.Н. Роботизация производства и её влияние на экономику. – Казань: Казанский университет, 2021. – 176 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРЕХФАЗНОГО ДУГОВОГО РЕАКТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Поваляев П.В.¹, Шляхов Т.С.², Корытов Д.А.³, Власов А.В.⁴

*¹Томский политехнический университет,
e-mail: pvp13@tpu.ru*

*²Томский политехнический университет,
e-mail: tss28@tpu.ru*

*³Томский политехнический университет,
e-mail: dak115@tpu.ru*

*⁴Томский политехнический университет,
e-mail: avv49@tpu.ru*

В настоящее время происходит активное развитие различных методов производства материалов, обладающих уникальными физическими свойствами, а именно карбидов и боридов переходных металлов. Данные материалы, в зависимости от состава, обладают следующими свойствами – высокая температура плавления, высокая стойкость к окислению и коррозии, высокая электро- и теплопроводность [1]. При разработке методов синтеза порошковых материалов необходимо учитывать такие факторы как, продолжительность рабочего цикла, экономические и энергетические затраты на реализацию методов. Ранее авторами данной работы была продемонстрирована возможность получения карбида вольфрама при использовании дугового разряда постоянного тока [2]. Изначально получение данного материала осуществлялось при использовании однофазного дугового реактора постоянного тока, после чего конструкция данного реактора была изменена, в результате чего был разработан трехфазный дуговой реактор постоянного тока [3]. Разработка трехфазного дугового реактора обусловлена потребностью увеличения массы получаемого продукта, что способствует сокращению количества проводимых экспериментов. Однако, в процессе эксплуатации был выявлен ряд недостатков, устранение которых необходимо для повышения производительности оборудования и снижения затрат.

Целью данного исследования является процесс изменения основных элементов трехфазного дугового реактора постоянного тока для повышения мощности и продолжительности рабочего цикла трехфазного дугового реактора постоянного тока.

Подробно принцип работы и устройство дугового реактора описаны в работе [3]. В данном исследовании значительным изменениям подвергались система электропитания и разрядный контур дугового реактора.

Основным изменением системы электропитания дугового реактора стала замена источников постоянного тока (ИПТ) марки Deko DKWM220A на ИПТ марки Elitech АИС 220Д. Замена ИПТ Deko DKWM220A обусловлена несоответствием зарегистрированных показателей силы тока заявленным характеристикам. Замена источников постоянного тока позволила снизить потребляемую мощность с 8,8 кВт до 6,9 кВт и повысить продолжительность включения при максимальном токе с 60 % до 80 %, что позволяет повысить продолжительность рабочих циклов устройства. Помимо этого, сварочные аппараты фирмы Elitech оснащены информативным дисплеем, что повышает точность регулирования устанавливаемого значения силы тока.

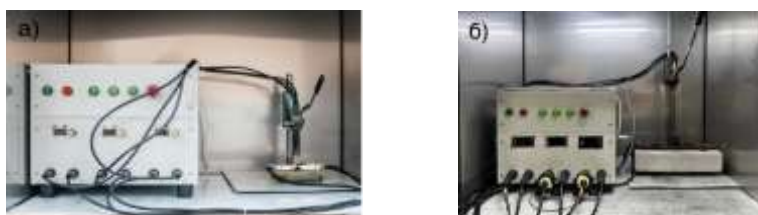
Для сравнения работы источников постоянного тока в процессе проведения экспериментов были проведены измерения электрической энергии при использовании электрического счетчика «Меркурий 234». В табл. 1 представлены показатели электрической мощности, зарегистрированные при работе дугового реактора с ИПТ Deko DKWM220A и Elitech АИС 220Д.

*Зарегистрированные показания подведенной электрической энергии
в реакционную зону дугового реактора*

Марка источника постоянного тока	Сила тока, А	Время дуговой стадии, с	Электрическая энергия, кВт·ч
Deko DKWM220A	200	120	0,34
Elitech АИС 220Д	100	120	0,47

По полученным данным с электросчетчика, видно, что электрической энергии при силе тока 200 А на источниках марки Deko DKWM220A, подведено в 1,4 раза меньше, чем источниками марки Elitech АИС 220Д, при установленном значении силы тока 100 А и фиксированном значении продолжительности дуговой стадии 120 с в обоих случаях.

Увеличение мощности разрабатываемого устройства также привело к необходимости изменения конструкции разрядного контура реактора. Ранее для проведения экспериментов установка графитовых тиглей осуществлялась на алюминиевую пластину, куда подключались отрицательные выводы сварочных аппаратов. Однако, повышение мощности реактора и длительности рабочих циклов, соответственно, значительно повышает рабочую температуру в реакционной зоне, что приводит к разрушению токоведущих частей реактора, в частности алюминиевой пластины. Таким образом, была осуществлена замена материала пластины с алюминия на нержавеющую сталь, что позволяет повысить продолжительность дуговой стадии без разрушения токоведущих частей системы. Также увеличение продолжительности рабочего цикла реактора подразумевает использование графитовых электродов большей длины. В результате чего была увеличена высота стойки для установки токоведущих держателей для графитовых стержней. Благодаря чему стало возможно использование графитовых стержней длиной 250 мм и диаметром 8 мм, ранее использовались стержни того же диаметра и длиной 125 мм. На рис. 1 представлены изображения дугового реактора до и после изменений.



*Рис. 1. Внешний вид трехфазного дугового реактора постоянного тока
(а) до и (б) после проведения модернизации*

Таким образом, по результатам данного исследования продемонстрирована возможность увеличения мощности и длительности рабочего цикла дугового реактора путем изменения конструкции и электропитания дугового реактора.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2022-0018).

Список литературы

1. José G., Verónica C.C., Andreas B., Bartek K. Cemented carbide microstructures: a review // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2020. – Vol. 80. – P. 40–68. – DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2018.12.004.
2. Pak A.Ya., Shanenkov I.I., Mamontov G.Y., Kokorina A.I. Vacuumless synthesis of tungsten carbide in a self-shielding atmospheric plasma of DC arc discharge // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2020. – Vol. 93. – 105343. – DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2020.105343.
3. Поваляев П.В., Пак А.Я., Кокорина А.И., Власов А.В., Болатова Ж.С. Исследование режимов работы трехфазного электродугового реактора постоянного тока для синтеза карбида вольфрама // Вестник Башкирского университета. – 2023. – Т. 28, № 3. – С. 278–286.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ ИЗ ЧИСТОГО ТИТАНА ТА1, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЕЧАТИ

Ци М.¹, Чжан Ц.², Клименов В.А.³, Козлов В.Н.⁴, Чинахов Д.А.⁵,
Чернухин Р.В.⁶, Майорова Е.И.⁷

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, аспирант гр. А1-21, e-mail: mensyuy1@tpu.ru;

²НИ ТПУ, ИШНПТ, аспирант гр. А3-21, e-mail: cinzhun1@tpu.ru;

³НИ ТПУ, ИШНПТ, профессор ОМ, e-mail: klimenov@tpu.ru;

⁴НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОМШ, e-mail: kovn@tpu.ru;

⁵Новосибирский государственный технический университет, ФЛА,
доцент, e-mail: chinakhov@corp.nstu.ru

⁶Новосибирский государственный технический университет, ПТМ,
доцент, e-mail: chernuxin@corp.nstu.ru

⁷Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения
Российской академии наук, Инженер, e-mail: Elenapanucheva24@mail.ru

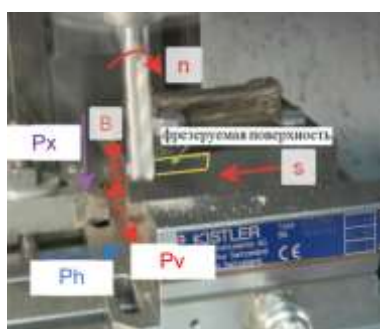


Рис. 1. Установка заготовки на динамометре Kistler 9257B

В современном производстве титановые сплавы широко используются в авиакосмической, морской технике, автомобилестроении и других областях благодаря своей высокой удельной прочности, низкой плотности и отличной коррозионной стойкости [1]. Особенно в биомедицинской области титановые сплавы пользуются популярностью из-за их превосходной биосовместимости и низкого модуля упругости. Промышленный чистый титан ТА1 демонстрирует лучшую биологическую безопасность и более широкие перспективы применения, поскольку не содержит потенциально токсичных элементов, таких как ванадий (V) и алюминий (Al) [2].

По сравнению с лазерной печатью электронно-

лучевая печать быстрее и дешевле, а поскольку она выполняется в вакууме, проблем с окислением можно избежать. Кроме того, сохраняются такие характеристики аддитивного производства, как высокая эффективность, высокий коэффициент использования материала и высокая гибкость производства. Однако поверхность отпечатанной заготовки имеет большую неровность, до 1–2 мм, и для достижения необходимой точности изделия необходимо проводить последующую механическую обработку (например, фрезерование) [3, 4].

Из-за высокой прочности и плохой теплопроводности титанового сплава, его малого сродства с вольфрамом (W) в однокомпонентном твердом сплаве (типа ВК), его обработка привлекает большое внимание.

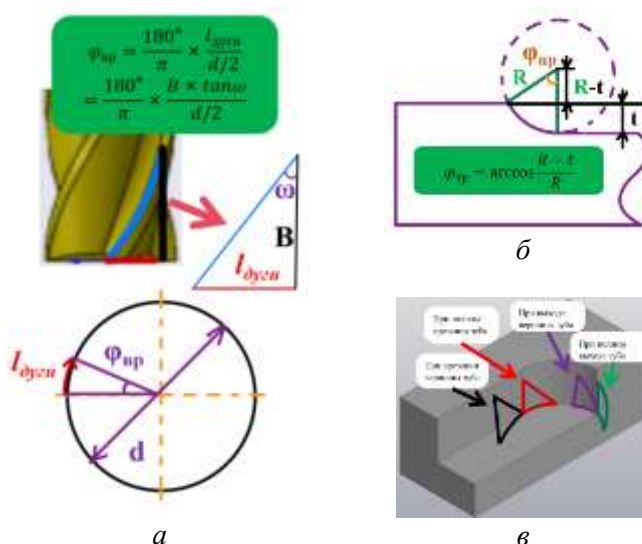


Рис. 3. Схема определения углового положения зуба $\varphi_{вр}$ при полном врезании зуба (а) $\varphi_{вр}$ при выходе вершины зуба от заготовки (б) и текущее положение режущей кромки при фрезеровании (в)

В наших исследованиях по концевому фрезерованию титана ТА1 использовался метод измерения сил вдоль направления подачи (P_h), перпендикулярно направлению подачи (P_v) и вдоль оси фрезы (P_x). Особое внимание уделялось исследованию изменений тангенциальной силы (P_z), действующей вдоль направления скорости резания, и радиальной силы (P_y), направленной к оси вращения концевой фрезы. Силы P_z и P_y меняют не только свою величину, но и направление действия при вращении фрезы, что существенно затрудняет их выделение при измерении с помощью обычного динамометра, в отличие от технологических сил P_h , P_v и P_x .

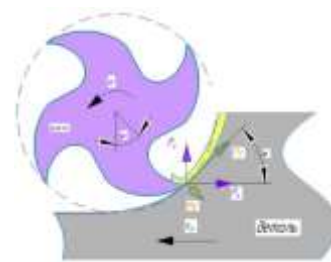


Рис. 4. Схема разложения сил P_h и P_v на силы P_z и P_y

Однако исследование изменения именно сил P_z и P_y важно для изучения процесса резания при фрезеровании, т. к. позволяет рассчитать нормальную N и касательную F физические составляющие силы, действующие на передней поверхности зуба фрезы. Без знания этих сил невозможно построить эпюры нормальных σ и касательных τ контактных напряжений. Без знаний о величине и распределении контактных напряжений невозможно рассчитать напряжённо-деформированное состояние (НДС) зуба фрезы и оценить его прочность при различных режимах резания. Получаемая при этом информация очень важна также для анализа процесса износа инструмента.

Эксперименты по встречному фрезерованию проводились при скорости вращения фрезы $n = 1000$ об/мин, ширине фрезерования $B = 2$ мм, глубине фрезерования $t = 1$ мм и минутной подаче $s_m = 125$ мм/мин, используя четырёхзубую ($z = 4$ шт.) твёрдосплавную фрезу без износа диаметром $d = 8$ мм и углом подъёма стружечной винтовой канавки $\omega = 40^\circ$ на фрезерном станке с ЧПУ (EMCO CONCEPTMill 155). Силы фрезерования измерялись с помощью динамометра Kistler 9257B (Швейцария).

Небольшая глубина фрезерования t при существенно большем диаметре фрезы и небольшая ширина фрезерования B позволяет проследить изменение сил при резании только одним зубом. По графику изменения силы в процессе резания одним зубом фрезы, полученному с помощью динамометра, видно, что время фрезерования одиночного зуба $t_3 = 0,00375$ с.

Процесс фрезерования зубом разделяется на три этапа, соответствующих трём угловым положениям зуба:

$$\varphi_{вр} = \frac{B \times \tan \omega}{\frac{d}{2}} \times \frac{180^\circ}{\pi} = \frac{2 \times \tan 40^\circ}{\frac{8}{2}} \times \frac{180^\circ}{\pi} = 24,038^\circ - \text{при полном врезании зуба};$$

$$\varphi_{пр} = \arccos \frac{\frac{d}{2} - t}{\frac{d}{2}} = \arccos \frac{8/2 - 1}{8/2} = 28,955^\circ - \text{при выходе вершины зуба из заготовки, } \varphi_{вы} =$$

$$\varphi_{вр} + \varphi_{пр} = 52,993^\circ - \text{при полном выходе зуба из заготовки.}$$

Формула преобразования между угловым положением и временем:

$$\Phi(t) = \frac{t_3}{\varphi_{вы}} \times t. \quad (1)$$

Согласно рис. 4 силы вдоль направления подачи (P_h) и перпендикулярно направлению подачи (P_v) разлагаются на силы вдоль направления скорости резания (P_z) и радиально оси вращения фрезы (P_y):

$$P_z = P_h \times \cos \varphi + P_v \times \sin \varphi \quad (2)$$

$$P_y = P_h \times \sin \varphi - P_v \times \cos \varphi \quad (3)$$

Поскольку подача на зуб s_z небольшая, около 1/16 глубины фрезерования, влияние этой подачи на формулу игнорируется.

По графикам изменения технологических составляющих сил резания P_h и P_v от времени, полученных с помощью динамометра, и их последующего преобразования по формулам (1), (2) и (3) получился график углового положения-силы на рис. 5. Поскольку зубья фрезы не имели износа, в частности, не было фаски износа по задней поверхности, то влияние сил на задней поверхности при анализе процесса фрезерования игнорируется.

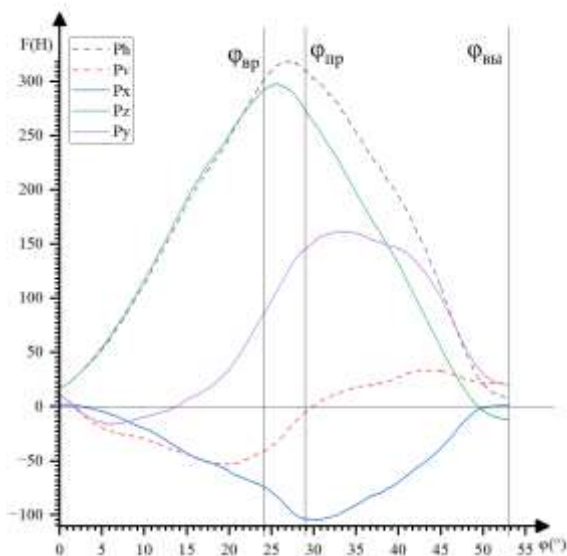


Рис. 5. График изменения сил фрезерования при повороте режущей кромки без износа. Встречное фрезерование 4-х зубой фрезой $\varnothing 8$ мм, $t = 1$ мм, $V = 2$ мм, $n = 500$ об/мин, $s_m = 125$ мм/мин

В процессе врезания зуба сила P_z увеличивается, поскольку длина контакта режущей кромкой с заготовкой постепенно увеличивается. Толщина среза a_i также продолжает увеличиваться, т. к. увеличивается угол ψ : $a_i = s_z \cdot \sin \psi$, где ψ – центральный угол от точки врезания зуба фрезы в заготовку при встречном фрезеровании до текущего его положения. После полного врезания зуба сила P_z будет увеличиваться по-прежнему, поскольку толщина среза по-прежнему увеличивается. В дальнейшем сила P_z уменьшается за счет уменьшения толщины среза по траектории движения режущей кромки перед выходом зуба из контакта с заготовкой. Наконец, при выходе зуба длина контакта между режущей кромкой и заготовкой уменьшается, и сила P_z уменьшается до нуля.

Когда вершина зуба врезается, ею оказывается давящее воздействие на заготовку, поэтому сила P_y изначально положительна. Впо-

следствии, поскольку передний угол γ положителен, и сила, перпендикулярная передней поверхности, велика, для P_y существует диапазон отрицательных значений. В дальнейшем сила P_y быстро возрастает из-за постепенного увеличения длины контакта режущей кромкой с заготовкой и непрерывного увеличения толщины среза. После полного врезания зуба, хотя сила P_y всё еще увеличивается, скорость роста силы P_y замедляется, поскольку увеличивается только толщина среза, а длина контакта режущей кромкой с заготовкой остаётся неизменной. После выхода вершины зуба из заготовки, P_y остается неизменной из-за уменьшения длины контакта режущей кромки с заготовкой и увеличения толщины среза на оставшейся в контакте с заготовкой режущей кромки из-за наличия винтовой канавки. Затем сила P_z уменьшается по мере выхода оставшейся режущей кромки зуба из контакта с заготовкой.

Сила P_x представляет собой силу в осевом направлении фрезы и положительна, т. к. направлена вниз (вспомогательная режущая кромка на торце фрезы давит вниз, т. е. на заготовку). Когда вершина зуба врезается, длина контакта торцевой режущей кромки (вспомогательной режущей кромкой) с заготовкой является больше, чем длина контакта по главной режущей кромки, расположенной на периферии цилиндрической поверхности фрезы, и создаваемая сила (вниз вдоль оси фрезы) положительна, хотя и маленькая. В дальнейшем по мере врезания зуба в заготовку сила P_x начинает тянуть заготовку вверх из-за наличия положительной винтовой канавки на периферии фрезы (там расположена главная режущая кромка), поэтому сила P_x увеличивается в отрицательную сторону. По мере выхода зуба из контакта заготовки сила P_x уменьшается до нуля.

Итак, в процессе врезания зуба тангенциальная составляющая P_z силы фрезерования увеличивается, после полного врезания зуба она достигает максимального значения, а по мере выхода зуба сила фрезерования уменьшается. В отличие от встречного фрезерования при прямой стружечной канавки с $\omega = 0^\circ$, сила увеличивается не резко из-за постепенного входа

в контакт винтовой режущей кромки ($\omega \gg 0^\circ$). Сила P_z выполняет основную работу по удалению припуска, поэтому на острой фрезе она самая большая. После этого можно провести более сложное разложение сил фрезерования: с учётом величины переднего угла рассчитать нормальную N и касательную F физические составляющие силы, действующие на передней поверхности зуба фрезы. Их величина позволит построить эпюры контактных напряжений на передней поверхности зуба фрезы [6], что, в свою очередь, позволит задать внешние нагрузки на 3-D модель зуба фрезы и рассчитать её НДС [7].

Список литературы

1. Klimenov V., Kolubaev E., Anatoly K., Chumaevskii A., Ustinov A., Strelkova I., Rubtsov V., Gurianov D., Han Z., Nikonov S., et al. Influence of the Coarse Grain Structure of a Titanium Alloy Ti-4Al-3V Formed by Wire-Feed Electron Beam Additive Manufacturing on Strain Inhomogeneities and Fracture. *Materials*. 16 (2023) Article No. 3901. – DOI: 10.3390/ma16113901.
2. Dong Y.P., Tang J.C., Wang D.W. et al. Additive manufacturing of pure Ti with superior mechanical performance, low cost, and biocompatibility for potential replacement of Ti-6Al-4V. *Materials & Design*. 196 (2020) Article No. 109142. – DOI: 10.1016/j.matdes.2020.109142.
3. Navneet Khanna; Kishan Zadafiya; et al. Review on machining of additively manufactured nickel and titanium alloys. *Journal of Materials Research and Technology*. 15 (2023) 3192–3221. – DOI: 10.1016/j.jmrt.2021.09.088.
4. Hojati F., Daneshi A. et al. Study on machinability of additively manufactured and conventional titanium alloys in micro-milling process. *Precision Engineering*. 62 (2020) 1–9. – DOI: 10.1016/j.precisioneng.2019.11.002.
5. Martyushev N.V., Kozlov V.N. Qi, M. et al. Production of Workpieces from Martensitic Stainless Steel Using Electron-Beam Surfacing and Investigation of Cutting Forces When Milling Workpieces. *Materials*. 16 (2023) Article No. 4529. – DOI: 10.3390/ma16134529.
6. Kozlov V.N., Babaev A.S., Shults N.A. [et al.] Study of a Methodology for Calculating Contact Stresses during Blade Processing of Structural Steel / V.N. Kozlov, A.S. Babaev, N.A. Shults [et al.] // *Metals*. – 2023. – Vol. 13, Iss. 12. – Article number 2009, 16 p. – URL: <https://doi.org/10.3390/met13122009>.
7. Анализ напряжённо-деформированного состояния зуба фрезы / В.Н. Козлов, Ц. Дин, Х. Чжан [и др.] ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет // Современные проблемы машиностроения : сборник статей XVI Международной научно-технической конференции, г. Томск, 27 ноября – 1 декабря 2023 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; ред кол. А.И. Сечин, М.С. Кухта, А.А. Моховиков [и др.]. – Томск, 2024. – Современные проблемы машиностроения. – С. 209–211. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/77435>.

РАЗРАБОТКА АДДИТИВНО-СУБТРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Байдуров М.А.¹, Щербатов Г.Я.²

¹МБОУ лицей при ТПУ

e-mail: bajdurovmatvej03@gmail.com

²МБОУ лицей при ТПУ

Научный руководитель: Козлов В.Н., к.т.н., доцент ОМШ ИШНПТ

В наше время аддитивно-субтрактивные технологии набирают популярность. Это связано с тем, что в современном мире они используются во многих отраслях нашей жизни такие как: машиностроение, промышленность, медицина, проектирование и во многих других. Эти технологии, начиная с 18 века [1, 2], хорошо развивается, создаются разные кампании (самые популярные на данный момент это 3D Systems (Америка), СМЕТ, D-МЕС (Япония)), разные методы производства (на данный момент эксперты насчитывают более 30 различных запатентованных технологий, среди которых есть и наши, Томские) [3].

Субтрактивные технологии – это такие технологии, которые связаны с удалением материала. Основные виды субтрактивных технологий: 1) точение; 2) фрезерование; 3) резка; 4) сверление; 5) опиловка.

Аддитивные технологии – это такие технологии, которые синтезируют объекты послойным наращиванием материала [1] Самое большое распространение получили фаббер-технологии, в основе которых метод, при котором объект формируется поэтапным (послойным) наращиванием материала на основу.

Основные преимущества таких технологий это:

1. Возможность синтеза объектов сложных и разных форм.
2. Использование разных материалов (воск, гипс, фотополимеры, металлы), что позволяет выбирать нужные качества полученного объекта.
3. Экономия сырья (в случае аддитивных технологий).

Аддитивные технологии имеют разное исполнение (виды) [1, 2, 3]:

1. Селективное лазерное спекание (сокращенно СЛС или SLS) – объект формируется из специального плавкого порошка с помощью лазера. Из специальный картриджа на платформу насыпается тонкий слой порошка (он может иметь разный состав), после чего луч лазера нагревает в нужных местах порошок и спекает первый и последующие слои. Применяется в машиностроении, авиастроении, космонавтике и изготовлении деталей обширных установок. Черты данной технологии:

- Для формирования нависающих элементов не нужны поддерживающие элементы;
- Необходимость вести процесс в герметичной емкости;
- Достаточно высокая скорость, которая зависит от мощности лазера и пятна его луча;
- Возможность изготовления объектов, которые имеют сложную форму.

2. Стереолитография (SLA) – самая известная технология трехмерной печати из полимеров. Объект формируется из специального жидкого полимера, который затвердевает под действием лазера. Лазер формирует на поверхности слой объекта, а затем погружает его в полимер, чтобы формировать следующий слой. Используется в микрооптике, в медицине, в дизайне. Черты данной технологии:

- Высокая точность построения модели;
- Очень большая скорость синтеза;
- Высокая стоимость оборудования и материалов.

3. Сплавляющее экструдерное осаждение (FDM) – объект формируется путем послойного синтеза объекта нитью из пластика, металла, воска и др. Расплавленная нить подается на охлаждаемую платформу. Черты данной технологии:

- Температура размягчённого материала немного отличается от температуры затвердевания;
- Для формирования нависающих элементов не нужны поддерживающие элементы;
- Дешевизна.



Рис. 1. Устройство для печати проволокой



Рис. 2. Объекты, изготовленные в НИ ТПУ
(обработанный сверху слева
и необработанный справа)

4. Баллистическое осаждение частиц (BPM) – технология, которая похожа на печать обычного принтера. Головка выбрасывает одинаковые маленькие капли материала, которые потом сглаживаются и формируются в гладкую поверхность, с помощью второй, нагревательной, головки. Черты данной технологии:

- Дешевизна;
- Низкая производительность.

5. Многослойное изготовление объектов (ламинирование) (LOM) – объект формируется из тонких листов материала и лазера. Каждый слой вырезается лазером и впоследствии склеивается. Используется в аэрокосмической и автомобильной промышленности. Черты данной технологии:

- Для формирования нависающих элементов не нужны поддерживающие элементы;
- Удаление лишнего материала в некоторых случаях вызывает затруднение;
- Возможность выгодного производства не очень толстых деталей, имеющих большую площадь.

У каждой технологии есть свои плюсы и минусы, но в основном такое большое разнообразие техник исполнение обусловлено тем, чтобы обойти патент на какую-либо технологию.

В целом, разработка аддитивно-субтрактивных технологий имеет огромное развитие в будущем, но основная проблема в том, что такие технологии дорогие (как пример, цена 3D-принтера примерно 90 000 руб.), для того чтобы их интегрировать в повседневную жизнь [4].

Список литературы

1. Слюсар В.И. Фаббер-технологии: сам себе конструктор и фабрикант // Конструктор: журн. – 2002. – № 1. – С. 5–7.
2. Слюсар В.И. Фабрика в каждый дом // Вокруг света: журн. – 2008. – № 1 (2808) (январь). – С. 96–102.
3. Слюсар В.И. Фаббер-технологии: Новое средство трехмерного моделирования // Электроника: журн. – 2003. – № 5. – С. 138–144.
4. Григорьев С.Н. Перспективы развития инновационного аддитивного производства в России и за рубежом / С.Н. Григорьев, И.Ю. Смуров // Инновации: журн. – 2013. – Т. 10, № 180. – С. 76–82.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА (ОБЗОР)

*Ван Цзымин
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 154А21,
e-mail: 932724415@qq.com*

С развитием обрабатывающей промышленности требования к эксплуатационным характеристикам материалов для режущего инструмента продолжают повышаться, а исследования, разработки и применение новых материалов для режущего инструмента стали ключевыми факторами, способствующими прогрессу технологии резки.

Типы и характеристики новых материалов для режущего инструмента

Керамические инструментальные материалы: включая керамические инструменты на основе нитрида кремния, керамические инструменты на основе оксида алюминия и т. д. Данный материал обладает высокой твердостью, износостойкостью и хорошей химической стабильностью. Может поддерживать стабильную производительность при высокоскоростной резке и повышать эффективность и качество обработки, но его прочность на изгиб и ударная вязкость относительно низки. Используется при чистовой обработке стали, чугуна, нечерные металлы и другие материалы.



Рис. 1. Инструмент из керамических материалов

Инструментальный материал из кубического нитрида бора (CBN): По твердости уступает только алмазу, обладает высокой термической стабильностью и химической инертностью. Находит применение при обработке материалов из черных металлов с высокой твердостью и прочностью, таких как закаленная сталь, чугун и т. д., что позволяет достичь высокоточной и высокоэффективной обработки изделий.



Рис. 2. Инструмент из кубического нитрида бора

Материалы для алмазного инструмента: его можно разделить на инструменты из натуральных алмазов и инструменты из искусственных алмазов. Он обладает чрезвычайно высокой твердостью, острыми режущими кромками, малым коэффициентом трения и малой силой резания. Он широко используется при обработке цветных металлов и неметаллических материалов, таких как алюминий, медь, графит, керамика и т. д. Применение данных материалов ограничивается стоимостью.



Рис. 3. Инструмент из алмаза

Металлокерамический инструментальный материал: Содержащий TiC или TiN в качестве твердой фазы и Ni, Mo и т. д. в качестве связующей фазы, он обладает высокой твердостью, износостойкостью и химической стабильностью, более износостойкий, чем твердосплавный сплав, и обладает хорошими режущими характеристиками и качеством поверхности. обработка чугуна.



Рис. 4. Инструмент из металлокерамических материалов

ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ В МЕХАНИЗМАХ ДРЕВНЕГО КИТАЯ

Лю Сяоцзе, Лю Линъи
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 154А22

Древняя техника передачи движения широко применялась во многих областях, начиная от астрономических приборов, сельскохозяйственной техники и до военной техники. Эта статья направлена на углубление исторического контекста, технических характеристик и откровений о современной механической инженерии древнего Китая. Анализируя типичные примеры применения, эта статья демонстрирует мудрость и технические достижения древних китайских ремесленников.

Общие понятия о зубчатых передачах

Шестерня является важным механическим звеном, широко применяемым в современных механических инженерных системах. Однако история технологии передачи уходит корнями в древние цивилизации. В древнем Китае проект шестерни достиг довольно высокого уровня и сыграл важную роль в нескольких областях.

Исторический контекст и технические достижения Древнего Китая

Древний Китай известен своими инженерными достижениями, которые охватывают широкий спектр технологий, от сельскохозяйственных орудий до оборонительных сооружений и водных машин. Одним из важных направлений развития были механизмы для повышения производительности труда и защиты территории. Механизмы с зубчатыми передачами играли ключевую роль в этих достижениях, особенно в таких областях, как подъемные устройства, механизмы для измерения времени и оборонные конструкции.

Первые упоминания зубчатых передач датируются 206–220 гг. Шестерня использовалась в основном для астрономических приборов, водяных часов и других механических устройств. Астроном во времена династии Восточная Хань Чжан Хэн изобрёл небесный глобус, инструмент для наблюдения движения небесных тел, в котором используются шестерни для моделирования движения небесных тел. Устройство вращалось со скоростью один оборот в день при помощи захватного устройства, которое приводилось в действие водяным колесом.



Рис. 1. Муталит (небесный глобус)

Одним из ярких примеров использования зубчатых передач в Древнем Китае являются водяные часы. Эти устройства были распространены в IV–III веках до н. э. Водяные часы использовали принцип подачи воды через систему каналов, где вода регулировалась с помощью зубчатых колес. Когда вода заполняла сосуд, она приводила в движение зубчатые колеса, кото-

рые в свою очередь приводили в движение стрелки часов. Применение зубчатых колес в таких механизмах позволило добиться высокой точности и стабильности в измерении времени.

Кроме того, были известны устройства для автоматического контроля подачи воды, использующие зубчатые передачи для регулировки потоков. Это решение позволило обеспечивать постоянство и точность работы водяных часов.

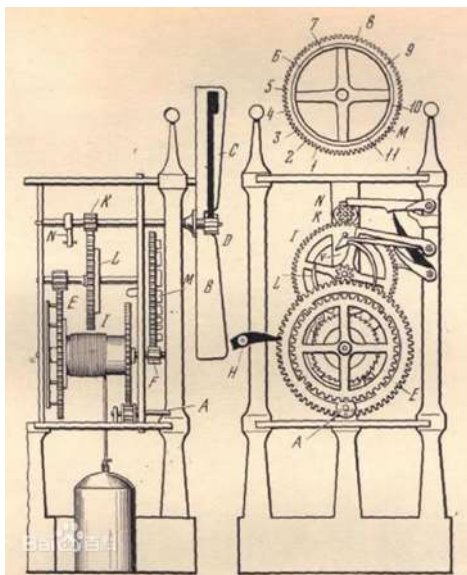


Рис. 2. Водяные часы

Это малая часть устройства древнего Китая в которых применялись зубчатые передачи.

Материалы зубчатых колес

Древние шестерни были изготовлены из дерева, бамбука, бронзы и других материалов. В то время эти материалы были относительно легко доступны и обрабатывались. Дерево и бамбук имеют хорошую гибкость и легкость, которые применяются к изготовлению небольших зубчатых колес. Бронза обладает высокой устойчивостью к коррозии, и применяется к изготовлению колес, работающих при больших скоростях.

Форма зубьев

Древние зубчатые шестерни имели относительно простую форму и структуру. Многообразие зубчатых зубов – прямоугольник или трапеция, без точных зубчатых форм, как современные шестерни. Простой зубчатый дизайн, хотя и не очень точный, был достаточным, чтобы удовлетворить потребности в использовании в то время. Древние ремесленники постепенно оптимизировали конструкцию шестерни, повышая эффективность передачи, экспериментируя и практикуя.

Технология производства

Изготовление зубчатых колес имеет несколько методов ручной резки или литья. Несмотря на то, что точность была невелика, древние мастера могли создавать качественные шестерни с помощью превосходного мастерства и большого опыта. Метод ручной резки относится к изготовлению небольших зубчиков, в то время как метод литья относится к изготовлению больших. Древние мастера также изобрели некоторые вспомогательные инструменты и оборудование, такие как скульптурные ножи, плесени и т. д., что повышало эффективность и точность производства шестерни.

Заключение: Влияние на развитие мировой науки

Зубчатые передачи в Древнем Китае оказали заметное влияние на развитие мирового технологического наследия. Хотя их использование не получило такого широкого распространения, как в Европе в Средние века, китайские инженеры и изобретатели сыграли важную роль в развитии механики. Эти достижения в значительной степени способствовали развитию более сложных механических устройств и улучшению качества жизни в Китае, а также повлияли на развитие техники в других странах.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДРЕВНЕМ КИТАЕ

Чжоу Юйцзе; Дун Хуэйюй; Ван Ижу

¹Томский политехнический университет, ИШНПТ гр. 154А22

Механические технологии древнего Китая отражают мудрость и изобретательность китайского народа. Хотя механические технологии Китая в древности не получили такого же широкого документирования, как в западной культуре, они сыграли важную роль в таких ключевых областях, как водное хозяйство, сельское хозяйство, военное дело и архитектура. В данной статье рассматриваются некоторые аспекты механических технологий и изобретений древнего Китая.

1. Водные механизмы

Древний Китай имеет долгую историю водных инженерных сооружений, и уже в V веке до н. э. в период Чуньцю и Цзаньго были изобретены различные водные механизмы. Эти механические устройства не только поддерживали сельское хозяйство, но и способствовали развитию городов.

Дучжянь: Одним из самых известных водных инженерных сооружений Китая является водная система Дучжянь, расположенная в провинции Сычуань. Она была спроектирована и построена Ли Бином и его сыном Ли Эрланом в III веке до н. э. Система использовала естественные потоки воды, регулируя их для распределения и отвода воды, что обеспечивало орошение огромных сельскохозяйственных угодий и предотвращало наводнения. Сложная система регулирования водных потоков включала различные механические принципы, такие как водяные колеса и правильно размещенные каналы.

Водяное колесо: Водяное колесо было важным механическим устройством, широко используемым в сельском хозяйстве для орошения. Оно работало на основе рычажного или колесного принципа и использовалось для подъема воды с низших уровней на более высокие. Это устройство сыграло важную роль в сельском орошении в Древнем Китае.

2. Сельскохозяйственные механизмы

Сельское хозяйство было основой экономики древнего Китая, и многие механические изобретения были тесно связаны с сельскохозяйственным производством.

Обычные быки и плуг: Древний Китай уделял большое внимание использованию природных ресурсов, и использование быков для пахоты значительно повысило эффективность обработки земли. Плуг, являющийся важным сельскохозяйственным инструментом, прошел эволюцию от простых деревянных до металлических конструкций, что способствовало механизации сельского производства.

Водяная и ветряная мельница: Водяные и ветряные мельницы использовались в древнем Китае для помола зерна с использованием природных источников энергии. Водяная мельница использовала силу воды для вращения мельничного колеса, а ветряная – силу ветра. Эти механизмы значительно повысили эффективность переработки зерна и широко использовались в Древнем Китае.

3. Архитектурные и военные механизмы

Древний Китай также достиг значительных успехов в области архитектуры и военных технологий, особенно в применении механизмов в войнах.

Деревянные быки и лошади: Деревянные быки и лошади – это транспортные средства, сделанные из дерева и бамбука, которые имели форму быка или лошади и могли двигаться самостоятельно, служа для перевозки войск и материалов. По историческим данным, эти устройства были изобретены в период Трех царств, и Чжугэ Лян использовал их для решения проблемы нехватки транспортных средств в армии.

Катапульта и арбалет: В древних войнах катапульты и арбалеты играли ключевую роль в качестве военных механизмов. Катапульта использовала принципы рычага и упруго-

сти для дальнобойного метания камней, что наносило большой урон вражеским силам. Арбалет же был высокоэффективным дальнобойным оружием, использующим механизмы для автоматического запуска стрел, имея при этом большую разрушительную силу.

4. Ткацкие и ремесленные механизмы

Ткацкая и ремесленная промышленность были важной частью экономики Древнего Китая, и изобретения в области механики в этих сферах играли активную роль.

Ткацкий станок: Древний китайский ткацкий станок, особенно в процессе развития, прошел от ручного к полусамодельствующему. С помощью простых рычагов и зубчатых механизмов ткацкий станок увеличивал производительность ткани, поддерживая развитие шелковой промышленности Китая.

Типографская машина: хотя изобретение подвижного шрифта произошло в эпоху Сун, в период Тан уже использовалась технология ксилографии. Машина для печати с помощью деревянных блоков и механического давления позволяла массово производить книги и литературу. Это изобретение оказало революционное воздействие на распространение знаний.

Заключение

Подводя итог, можно сказать, что механические технологии Древнего Китая достигли значительных успехов в различных областях, особенно в водном хозяйстве, сельском хозяйстве, военном деле и архитектуре. Несмотря на то, что механические изобретения в Древнем Китае не развивались в таких масштабах, как на Западе, их практическое значение и инновационный подход оказали глубокое влияние на последующие поколения. Эти изобретения показывают, как древние китайцы применяли научные принципы в повседневной жизни и свидетельствуют о высоком уровне китайской инженерной и научной мысли

Список литературы

1. Хоу Чжэ, «История механической инженерии в Древнем Китае», Пекин: Научное издательство, 2010 г.
2. Шэнь Куа, «Мечтание о ручке (Мэнсинь битан)», Пекин: Издательство Чжунхуа, 1995 г.
3. Ван Лицзюнь, «История науки и техники в Древнем Китае», Пекин: Издательство высших учебных заведений, 2008 г.
4. Ли Сяохуа, «Древнекитайские водные и механические технологии», Шанхай: Шанхайское научно-техническое издательство, 2003 г.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ТРАНСМИССИЯ ВЧЕРА – СЕГОДНЯ – ЗАВТРА (ОБЗОР)

У Вэньфэн, Цао Сяохуэй

Томский политехнический университет, ИШНПТ гр. 4А22,

e-mail: uv02@tpu.ru

Целью данной работы является изучение истории развития и основных типов механической передачи в старинных машинах, а также ее важное влияние на древнее общественное производство и научно-технический прогресс. Благодаря изучению исторических документов и анализу древних механических реликвий раскрываются мудрость и достижения древней технологии механической трансмиссии, что дает ценную историческую справку для развития современной технологии механической трансмиссии.

Механическая трансмиссия – это ключевая технология, которая передает мощность от одного компонента к другому для достижения механического движения. В древние времена, чтобы удовлетворить потребности производства и жизни, люди продолжали исследовать и изобретать различные устройства механической передачи. Эти устройства не только повышали эффективность производства, но и способствовали развитию древней науки и техники. Изучение механической трансмиссии в древних машинах поможет нам лучше понять развитие древней науки и техники и воплощение человеческой мудрости в области механики.

В древние времена люди начали использовать простые принципы механической передачи для содействия производству и жизни. Например, использование рычажных принципов для подъема и переноски тяжелых предметов можно рассматривать как одну из наиболее примитивных форм механической передачи. С развитием человеческой цивилизации появились некоторые более сложные механические устройства, например шкивы, которые позволяют добиться более эффективного подъема предметов за счет изменения направления и величины силы. Эти первые простые трансмиссионные устройства заложили основу для последующего развития технологии механической трансмиссии.

В Китае мандарин широко использовался в весенний и осенний период. Jujiue – это инструмент для орошения, в котором используется принцип рычага и веревочная передача. Он меняет направление силы, чтобы людям было легче брать воду из колодцев для орошения сельскохозяйственных угодий. Это простое и эффективное устройство механической передачи сыграло важную роль в древнем сельскохозяйственном производстве, повышая эффективность орошения и способствуя развитию сельского хозяйства.

Согласно исследованиям, еще в период Воюющих царств династии Западная Хань появились шестерни, важный символ механической передачи. Большинство зубчатых передач в древнем Китае изготавливались из дерева или металла. Их формы и конструкции постоянно совершенствовались и оптимизировались, постепенно формируя относительно зрелую технологию зубчатых передач. Например, зубчатые передачи широко использовались в древних китайских водяных колесах. Благодаря зацеплению шестерен кинетическая энергия воды передавалась вращающимся частям водяного колеса, тем самым реализовывая функцию подъема воды и орошения.

Ременные передачи зародились в Китае, где они появились еще в первом веке до нашей эры. Самое раннее появление ременной передачи тесно связано с развитием шелковой промышленности Китая. Первоначально он использовался для передачи прялок. Позже технология ременной передачи постепенно распространилась в другие страны и регионы и получила широкое распространение.

Веревочная передача – древний метод механической передачи. Еще в древние времена люди начали использовать веревки для передачи энергии. Принцип канатной передачи заключается в передаче мощности от одного компонента к другому посредством намотки и

растяжения канатов. В древности веревочная передача в основном применялась в некоторых простых механических устройствах, например лебедках, кранах и т. д.

Применение древних механических передаточных устройств значительно повысило эффективность производства. Например, появление механических устройств, таких как водяные колеса и зерновые мельницы, позволило людям более эффективно осуществлять производственную деятельность, такую как орошение и обработка зерна, экономя рабочую силу и время и обеспечивая мощную поддержку экономическому развитию древнего общества.

Распространение и обмен древними технологиями механической трансмиссии способствовали культурному обмену между различными регионами и этническими группами. Например, китайские технологии производства бумаги, печати и другие технологии распространились в Европу через Шелковый путь, включая некоторые технологии устройств механической передачи. Распространение и обмен этими технологиями не только способствовали научно-техническому прогрессу в Европе, но также способствовали обмену и интеграции мировых культур.

Заключение

Технология механической передачи в древних машинах представляет собой кристаллизацию человеческой мудрости, и процесс ее развития был долгим и извилистым. От ранних простых трансмиссий до важных событий в древних цивилизациях, до наследования и развития в средние века и далее, древние технологии механических трансмиссий продолжали развиваться, образуя различные типы, такие как зубчатая передача, ременная передача и веревочная передача. Применение этих технологий механической передачи повысило эффективность производства, способствовало научно-техническому прогрессу, способствовало культурному обмену и оказало глубокое влияние на развитие древнего общества. Изучение механической трансмиссии в древних машинах не только помогает нам понять процесс развития древней науки и техники, но также дает ценный опыт и вдохновение для развития современных технологий механических трансмиссий. В будущем развитии мы должны в полной мере опираться на мудрость древней технологии механической трансмиссии, продолжать внедрять инновации и развиваться, а также продвигать технологию механической трансмиссии на более высокий уровень.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ «БАРАБАН (ПЕРЕДНЯЯ ЧАСТЬ)»

Цуй Шуан
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 154А11,
e-mail: ts012@tpu.ru

Барабан используется в механизмах передачи вращательного движения, таких как коробки передач, редукторы и тормозные системы. Он представляет собой цилиндрическое тело с элементами крепления и посадки, включая отверстия и канавки для взаимодействия с сопрягаемыми деталями.

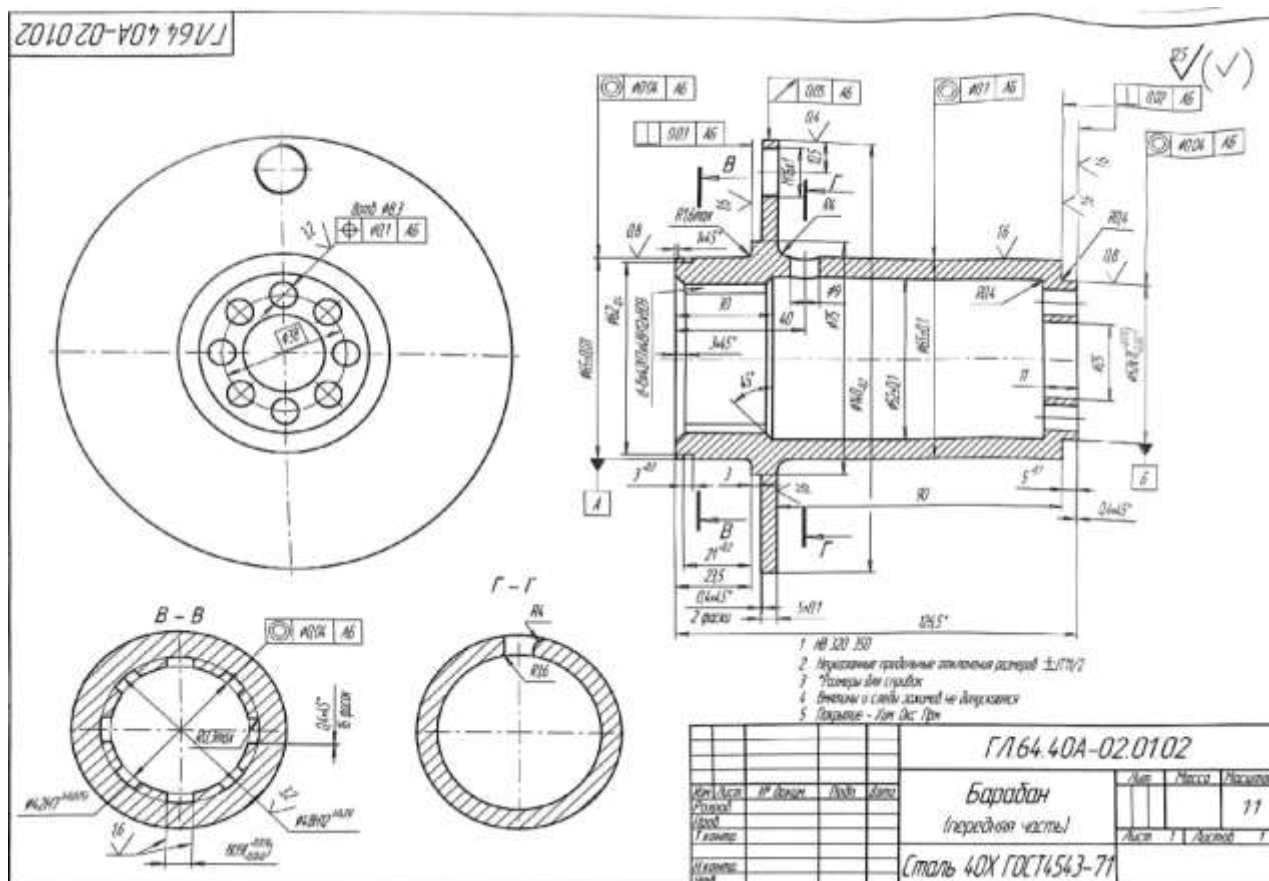


Рис. 1. Чертеж анализируемого изделия «Барабан (передняя часть)»

При изготовлении детали будут выполняться следующие технологические операции: точение, сверление и т. д. В ходе изготовления детали требуются дополнительные шлифовальные операции, с целью достижения шероховатости порядка $Ra = 0,8-3,2$ мкм.

Материал барабана – конструкционная легированная сталь 40Х по ГОСТ 4543-71. Эта сталь характеризуется повышенной прочностью и износостойкостью, благодаря чему широко применяется для производства нагруженных деталей. Сталь 40Х является легированной хромистой сталью, что обеспечивает ей защиту от коррозии. Высокое содержание углерода придает сплаву прочность и твердость, хром также усиливает эти качества. Сталь 40Х редко применяется для изготовления сварных конструкций из-за ограниченной свариваемости сплава, требующей предварительной и последующей термической обработки изделия.

Сталь 40Х – улучшаемый сплав, термическая обработка позволяет повысить характеристики металла. Сталь 40Х подвергают закаливанию и отпуску. Закаливанию проводится в

масле, это благоприятно сказывается на качестве верхнего слоя. Охлаждение желательно проводить в масле. Если это невозможно из-за размеров заготовки, используется воздушная среда. Категорически не рекомендуется охлаждать изделие в воде, т. к. это приводит к таким дефектам, как образование окалины. Отпуск также проводится в масле, эта процедура позволяет снизить внутреннее напряжение металла, возникшее в результате обработки. Грамотно проведенная термическая обработка существенно повышает эксплуатационные сроки материала. Твердость стали после обработки повышается до 217 НВ. Температура закаливания составляет 860 °С. Температура отпуска зависит от среды. На воздухе она составляет 200 °С, а в масляной ванне 500 °С.

Оценка параметров технологичности детали

Преимущества материала 40Х:

1. Высокая прочность и износостойкость: Сталь 40Х обладает хорошими характеристиками прочности и усталостной прочности, что делает её идеальной для использования в барабанах, которые подвергаются динамическим нагрузкам.

2. Легкость в термической обработке: благодаря легированию хромом и молибденом, сталь 40Х хорошо поддается термообработке. Это позволяет достичь необходимых эксплуатационных характеристик, таких как повышенная твёрдость и улучшенная коррозионная стойкость.

3. Устойчивость к перегреву: Сталь 40Х сохраняет свои механические свойства даже при высоких температурах, что важно для барабана, который может работать при повышенных температурах.

Недостатки материала 40Х:

1. Высокая стоимость: в отличие от углеродистых сталей, легированная сталь 40Х стоит дороже. Это увеличивает стоимость производства барабана, особенно при массовом производстве.

2. Сложность обработки: несмотря на хорошие механические свойства, сталь 40Х требует применения высококачественных инструментов для обработки, что может увеличить время и затраты на производство.

3. Возможность хрупкости при низких температурах: при очень низких температурах сталь 40Х может стать более хрупкой, что важно учитывать при эксплуатации в холодных условиях.

Экономическая целесообразность:

Несмотря на относительно высокую стоимость, использование стали 40Х экономически оправдано, так как её долговечность, высокая прочность и усталостная прочность оправдывают дополнительные затраты на материал.

С точки зрения технологичности конструкции данного барабана следует сказать, что данный барабан нетехнологичен, так как содержит сложные поверхности.

Заготовка для данной детали технологична, так как она получена отливкой с максимально возможным приближением ее формы и размеров к форме и размерам барабана.

Таким образом, конструкция барабана характеризуется высоким уровнем сложности из-за строгих требований к точности, шероховатости и термообработке. Однако унифицированная форма и использование стандартных конструктивных элементов делают его производственно выгодным при серийном и массовом производстве.

РАЗВИТИЕ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ 3D-ПЕЧАТИ И ДРУГИХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СЛОЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ И ЦЕЛЫХ УЗЛОВ

*Шейерман Ю.Д.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4A12,
e-mail: yds3@tpu.ru*

3D-печать, или аддитивное производство, представляет собой инновационное изобретение, которое позволяет создавать трехмерные объекты из компьютерных 3D-моделей. Она является ведущим направлением современного производства и значительно меняет подходы к изготовлению изделий. Метод заключается в добавлении материалов слоями, отличаясь тем самым от стандартных методов производства, например, литья или механической обработки материала.

Историческая перспектива

Развитие 3D-технологий берет свое начало в 1980-х годах, когда были разработаны первые продвинутое решения, такие как стереолитография (SLA), созданная Чаком Халлом. Изначально эти системы применялись преимущественно для создания прототипов в рамках ускоренного производственного процесса. С течением времени технологии совершенствовались, и в 1990-х стали доступны такие методы, как лазерное спекание (SLS) и производство плавленных нитей накала (FDM). В начале 2000-х годов произошел прорыв, связанный с открытием свободного доступа к 3D-печати благодаря появлению бюджетных настольных принтеров, что позволило значительно расширить круг пользователей этой технологии.

Применение в разных секторах экономики

Технологии 3D-печати нашли широкое применение во многих сферах промышленности. В медицинской сфере они используются для создания прочных протезов, зубных имплантатов и даже искусственных органов. Однако медицина – это лишь одна из областей применения. В авиационной и автомобильной промышленности 3D-принтеры позволяют изготавливать легкие, но при этом высокопрочные компоненты, которые обладают оптимальной массой и способствуют экономии топлива. Архитекторы тоже активно применяют эту технологию для создания точных макетов зданий, что делает проектирование более детализированным и эффективным.

Эволюция технологий

Усовершенствования в области 3D-распечатки связаны с развитием новых материалов и методов печати. Появление многокомпонентных и композитных материалов способствует созданию изделий с улучшенными физическими характеристиками. Особое внимание заслуживает 3D-металлопечать, открывающая новые перспективы для машиностроительной и высокотехнологичной индустрии. Современные программы автоматизированного проектирования (CAD) позволяют проектировать модели с высокой точностью, учитывая индивидуальные требования заказчиков.

Современные достижения в области искусственного интеллекта и машинного обучения также оказывают значительное влияние на 3D-индустрию. Эти технологии помогают оптимизировать процессы печати, предсказывать потенциальные дефекты и улучшать качество конечной продукции.

Экономия и экология

Применение 3D-оборудования дает ряд экономических преимуществ. Уменьшение сроков разработки и возможность производства под заказ сокращают запасы и затраты. Кроме того, данная технология минимизирует отходы, так как расходуется ровно столько материала, сколько необходимо, в отличие от традиционных методов, предполагающих избыточную обработку сырья.

Вопросы экологии становятся всё более актуальными в контексте 3D-производства. Многие компании переходят на использование биоразлагаемых и переработанных материалов, что снижает вредное воздействие на природу. Локализация производства с помощью 3D-технологий также уменьшает углеродный след за счет сокращения транспортных расходов и выбросов.

Перспективы развития

Перспективы 3D-расширения выглядят весьма радужно. Предполагается, что в ближайшем будущем эта технология станет неотъемлемой частью массового производства, кардинально меняя подходы к выпуску товаров. В частности, ожидается появление сложных многослойных конструкций, объединяющих разные материалы для достижения необходимых свойств.

Кроме того, стремительный прогресс в области дополненной (AR) и виртуальной реальности (VR) позволит ускорить интеграцию 3D-проектирования в производственные процессы, особенно в таких сферах, как инженерная разработка и промышленный дизайн.

Таким образом, 3D-печать занимает центральное место в современном производстве, открывая двери для инновационных решений и устойчивого развития бизнеса в современных условиях рынка.

СЕКЦИЯ 4
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НАНОТЕХНОЛОГИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗООБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ СПЕКАНИЯ ПОРОШКОВЫХ ПРЕССОВОК Al-Fe₂O₃-Fe и Ti-Fe₂O₃-Fe-C

Сафронова В.С.¹, Князева А.Г.², Коростелева Е.Н.²

¹ТПУ, ИШНПТ, зр. 4АМ4К,

e-mail: vss97@tpu.ru

²ИФПМ СО РАН,

e-mail: anna-knyazeva@mail.ru, elenak@ispms.ru

Введение

Композиционные материалы (КМ) обладают уникальными свойствами, неприсущие отдельным составляющим компонентам. Структурно композиционные материалы – это гетерогенные системы, состоящие из матрицы и армирующих элементов. Матрица под воздействием нагрузок распределяет напряжения, вследствие чего материал более устойчив к возникновению дефектов, чем простые материалы, а упрочняющие составляющие обуславливают повышенные прочностные и жесткостные характеристики. Металломатричные композиты, как правило, содержат в составе интерметаллиды, имеющие упорядоченную структуру и относительно высокую температуру плавления, и тугоплавкие включения, такие как карбиды, оксиды и т. д., из-за которых материал имеет высокую жаропрочность. Например, ключевым вопросом в повышении температуры рабочего тела в газотурбинных двигателях является выбор высокотемпературных материалов, на роль которых подходят композиты на основе Nb-Si [1]. Также в электротехнике важную роль играют разрывные контакты, которые должны обладать высокой стойкостью к эрозии. Для сильноточных разрывных контактов применяются металломатричные композиты с тугоплавкими включениями, в качестве которых используют тугоплавкие металлы (вольфрам, молибден), либо тугоплавкие соединения. Из медноматричных композитов с упрочняющими частицами, наиболее детально исследованы композиты с карбидом титана (TiC-Cu) и диборидом титана (TiB₂-Cu). Они имеют высокую температуру плавления и хорошую совместимость с медной матрицей [2]. При утилизации отходов машиностроительных производств стальную стружку, содержащую оксиды железа, можно использовать как компонент в смеси с титаном и алюминием для получения композитов, когда упрочняющие частицы синтезируются в условиях спекания.

В настоящей работе предложены термо-кинетические модели спекания порошков состава Al-Fe₂O₃-Fe и Ti-Fe₂O₃-Fe-C.

Эксперимент

В условиях эксперимента порошковые компакты, предварительно подвергшиеся шаровому измельчению и прессованию, помещали в вакуумную печь и спекали на протяжении часа. Спекание исследовано на примере порошковых композиций для разных вариантов сочетания компонентов: а) Ti + (Fe + Fe₂O₃ + C) → 40 вес. % Ti + 60 вес. % (Fe + Fe₂O₃ + C); б) Fe + Al + Fe₂O₃ → 25 вес. % Al + 75 вес. % (Fe + Fe₂O₃). Обнаружено, что продукт спекания имеет сложный фазовый состав.

Предварительный анализ [3] показывает, что в смесях термодинамически возможны реакции результатом которых ожидается металломатричный композит с упрочняющими оксидными частицами. В табл. 1 приведены химические реакции, которые вероятнее всего протекают в прессовках.

Таблица 1

Al-Fe ₂ O ₃ -Fe	Ti-Fe ₂ O ₃ -Fe-C
Al + Fe = FeAl (V)	3Ti + 2 Fe ₂ O ₃ = 3TiO ₂ + 4Fe (XI)
FeAl + Al = FeAl ₂ (VI)	Ti + Fe = TiFe (XII)
FeAl + 2Fe = Fe ₃ Al (VII)	TiFe + Ti = Ti ₂ Fe (XIII)
FeAl ₂ + Al = FeAl ₃ (VIII)	TiFe + Fe = TiFe ₂ (XIV)
FeAl ₂ + FeAl ₃ = Fe ₂ Al ₅ (IX)	Ti + C = TiC (XV)
Al + Fe ₂ O ₃ = Al ₂ O ₃ + Fe (X)	