МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»
Инженерная школа новых производственных технологий
Российский фонд фундаментальных исследований**

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

ВТСНТ-2017

Сборник научных трудов
VI Международной научно-технической конференции
молодых ученых, аспирантов и студентов

27–29 ноября 2017 г.

Томск 2017

УДК 62.001.5(063)
ББК 65.2(2)-551л0
В93

Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2017): сборник
В93 научных трудов VI Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов / под ред. А.Н. Яковлева; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. − 395 с.

ISBN 978-5-4387-0790-5

В сборнике представлены материалы по следующим направлениям исследований: технологии материалов новых поколений и наноматериалов; оптические технологии; органическая химия и биотехнологии; рациональное использование минеральных и водных ресурсов; проблемы надежности машиностроения и машиностроительные технологии; моделирование физико-химических процессов в современных технологиях. Целью конференции ВТСНТ-2017 является развитие кооперации российских и зарубежных молодых ученых и студентов в проведении научных исследований в области современных высоких технологий.

Сборник представляет интерес для молодых ученых – физиков и химиков, интересующихся проблемами материаловедения, новых материалов и рационального использования природного сырья.

УДК 62.001.5(063)
ББК 65.2(2)-551л0

Редакционная коллегия
А.Н. Яковлев, кандидат физико-математических наук;
В.М. Лисицын, доктор физико-математических наук;
А.Г. Князева, доктор физико-математических наук;
С.В. Панин, доктор технических наук;
Б.Б. Овечкин, кандидат технических наук;
В.И. Верещагин, доктор технических наук;
В.Д. Филимонов, доктор химических наук.

Редакционная коллегия предупреждает, что за содержание представленной информации ответственность несут авторы докладов

Мероприятие проведено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант РФФИ № 17-38-10316/17

ISBN 978-5-4387-0790-5 © ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ 1
ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

INFLUENCE OF SIO_2 MICRO-PARTICLES ONTO MICROSTRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES AND WEAR RESISTANCE OF UHMWPE BASED COMPOSITE UNDER DRY SLIDING FRICTION
Noppanuch Puangmalee, Narongrit Sonjaitham, Setthawit Saengthip, Noppanan mungnuae, Surachade Solklin and Surat Wannasri……. 19

Ti-Nb ALLOYS FOR APPLICATION IN MEDICINE
A.Thoemmes, I.V. Ivanov, R.I. Kuzmin …… 20

ЭКСТРУДИРУЕМЫЕ ГЕТЕРОМОДУЛЬНЫЕ ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОЙ МАТРИЦЫ
В.О. Алексенко, Д.Г. Буслович, Ю.В. Донцов …….. 22

КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ПОРОШКОВ WC-Co И НАНОЧАСТИЦ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ
Н.Е. Анистратенко, В.Б. Ясинский, А.С. Бинчуров……... 23

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА Э110 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ГАЗОФАЗНОГО НАВОДОРОЖИВАНИЯ
М.Н. Бабихина, В.Н. Кудияров, М.С. Сыртанов, З.С. Винокуров……... 25

ТОНКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ B4C-Ni-P
В.А. Безрукова, Е.Е. Корниенко…….. 27

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРЕВА ЧАСТИЦ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА ПРИ НАНЕСЕНИИ ПЛАЗМЕННЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ
В.И. Богданович, М.Г. Гиорбелидзе…… 29

КОНСОЛИДАЦИЯ КУБИЧЕСКОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ
О.А.Болотникова……... 31

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРУНДОВОЙ И МУЛЛИТО-КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ
Ван Дакунь, Ван Ифань, С.В.Матренин…….. 33

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ
Ван Ифань, Ван Дакунь, С.В. Матренин……. 35

ДУГОВОЙ СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР В ЖИДКОЙ ФАЗЕ
М.Т. Габдуллин, Х.А. Абдуллин, А.П. Ильин, Д.В. Щур, Д.В. Исмаилов, Д.С. Керимбеков, М.Н. Султангазина…… 37

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛОФУЛЛЕРЕНОВ МЕТОДОМ ДУГОВОГО СИНТЕЗА В ИНЕРТНОЙ СРЕДЕ
М.Т. Габдуллин, Д.В. Щур, Д.В. Исмаилов, Д.Г. Батрышев, Д.С.Керимбеков, Ж.Е. Аяганов……..... 39

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОШКА TINI, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОРИСТО-ПРОНИЦАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ
А. С. Гарин, С. Г. Аникеев, Н. В. Артюхова, В. Н. Ходоренко…… 41

ТРАВЛЕНИЕ СТАЛЕЙ РАСТВОРОМ С ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ
Е.Ю. Головина……... 43

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОСАЖДЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК
А.С. Гренадёров, К.В. Оскомов, С.В. Работкин, А.А. Соловьёв, В.С. Сыпченко…… 45

О ВЗАИМОСВЯЗИ 3D ТОПОГРАФИЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОДЛОЖКИ И ПОВЕРХНОСТИ ОЛОВЯННОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МАССАХ ПОКРЫТИЯ
Е.В. Губарев, Д.О. Беглецов, А.В. Папшев, Н.Г. Гофман……. 47

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ДЕФОРМАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ
А.Е. Гулин…….. 49

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СТАЛИ 04Х14Н, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
Ш. Дай, К. Чжан, Д. Кэ, Е.А. Даренская……. 51

ПОЛУЧЕНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ МАТРИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДИСПЕРСИОННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА МЕТОДОМ СВС
О.Ю. Долматов, Д.К. Колядко, С.С. Чурсин…….. 53

ВЛИЯНИЕ ВИДОВ ГОРЮЧЕГО НА ПРОДУКТЫ Р-СВС СИСТЕМЫ CU-CR-O
А.А. Жадяев……... 55

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ИОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ ГРАФИТА
А.С. Золкин, А.С. Ежак, А.И. Семерикова, Д.А. Романов…… 57

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ МАГНЕТРОН-РАСПЫЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НАНЕСЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК
А.С. Золкин, С.В. Семенов……... 59

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕКСТУРЫ ТИТАНА ВТ1-0 НА ЕГО КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ
И.В. Иванов, А. Тёммес…… 61

ВЛИЯНИЕ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФАЗУ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В НАНОПОРОШКЕ АЛЮМИНИЯ
И.К. Калинич, А.В. Мостовщиков, А.П. Ильин, А.В. Коршунов, П.Ю. Чумерин, Д.В. Исмаилов…… 63

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ НАНОПОРОШКОВ МЕДИ ИЗМЕРЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ НАГРЕВАНИИ В ВОЗДУХЕ
И.К. Калинич, А.В. Мостовщиков, А.П. Ильин,
И.К. Забродина, Д.В. Исмаилов……... 65

СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ TIAL, УПРОЧНЕННОГО ЧАСТИЦАМИ TIB2
А.А. Кашимбетова, М.А. Есиков, Е.Д. Зыкова……... 67

ВЛИЯНИЕ ОЛОВА И НИКЕЛЯ НА ЛИКВАЦИЮ СВИНЦА В СВИНЦОВИСТОЙ БРОНЗЕ
Клочков Н.С., Егоров Ю.П……... 69

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЧЕННЫХ КОМПОЗИТОВ "КАРБИД ТИТАНА - ТИТАН" СИНТЕЗИРОВАННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ
М.Г. Криницын, Г.О. Данковцев…….. 71

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОПОРОШКА ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ
А.А. Леонов, Хао Це Лю……... 72

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ НИКЕЛЯ ДЛЯ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ХОЛЕСТЕРИНА
А.А. Лукина, К.В. Дёрина, А.П. Ильин, Е.И. Короткова, Д.В. Исмаилов……... 74

ДИФФУЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СТЕКЛОМЕТАЛЛОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ СТЕКЛА И СТАЛИ
А.В. Морковин, О.Н. Любимова…….. 76

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ САМОВСПЕЕНИВАЮЩЕГОСЯ КОМПОЗИТННОГО МАТЕРИАЛА ПУТЕМ АККУМУЛИРУЮЩЕЙ МНОГОСЛОЙНОЙ ПРОКАТКИ
Н.А. Морозов, С.С. Саркисов…….. 78

ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ ПРЕКУРСОРОВ НА ПРОДУКТ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СИТЕМЫ SI-C
А.Р. Насырбаев, С.О. Погорелова, Д.С. Никитин…….. 80

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С НАПОЛНИТЕЛЕМ ZrO2 И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ
Н.Н. Непомнящих, Н.З. Мадаминов…… 82

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОГО ДИОПСИДА НА ФОРМОВОЧНЫЕ СВОЙСТВА СУГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ
Н.Ю. Николаев……... 84

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СБОРА ЗАРЯДА АЛМАЗНЫХ ДЕТЕКТОРОВ
В.В. Охотников, С.А. Линник, А.В. Гайдайчук……. 86

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В МАРТЕНСИТНОМ СОСТОЯНИИ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ДВУСТОРОННЕГО ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ В МОНОКРИСТАЛЛАХ Ni53Mn25Ga22
М.В. Пичкалёва, Е.Е. Тимофеева, Е.Ю. Панченко…… 88

ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОДИСПЕРСНОГО ДИБОРИДА ТИТАНА
С.О. Погорелова, А.Р. Насырбаев, Д.С. Никитин…….. 90

ИСКРОВОЕ ПЛАЗМЕННОЕ СПЕКАНИЕ – НОВЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДЬ-МОЛИБДЕНОВОЙ КЕРАМИКИ
Ю.Н. Половинкина, Ю.Л. Шаненкова……. 92

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТРОПНОГО АДГЕЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОРОШКООБРАЗНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ С ПОЛИМЕРНЫМ СВЯЗУЮЩИМ
Н.В. Половникова, В.П. Ковалев, А.М. Громов, И.И. Теплова…… 94

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА НА ГРАФИТОВЫХ ЭЛЕКТРОДАХ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА
Э.И. Радченко……. 96

СТЕНОВАЯ КЕРАМИКА ИЗ ПЫЛЕВАТЫХ СУГЛИНКОВ МОДИФИЦИРОВАННАЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМИ ДОБАВКАМИ
Т.Л. Рудая……... 98

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СИСТЕМЫ TIZRCU (ПЛЕНКА)/AL-SI (ПОДЛОЖКА) (18-20 ВЕС.%) ОБРАБОТАННОГО ИОННО-ЭЛЕКТРОННО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ
М.Е. Рыгина, Е.А. Петрикова, А.Д. Тересов, В.В. Шугуров…… 100

ВОЗДЕЙСТВИЕ УГЛЕРОДА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОЙ КЕРАМИКИ КАРБИД ЦИРКОНИЯ / УГЛЕРОД (ZrC/C)
А.В. Рыгин, Ю.А. Мировой, А.Г. Бурлаченко, С.П. Буякова, С.Н. Кульков……... 102

ВЛИЯНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ Nb и Mo НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА
И.Е. Савин, А.А. Клопотов, Е.С. Марченко, В.Э.Гюнтер……. 104

СВОЙСТВА АМОРФНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ГИДОГЕНИЗИРОВАННЫХ ПЛЕНОК НА ГЕРМАНИИ. ИОННО-ЛУЧЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
А.И. Семерикова…… 106

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ПРОБИВКИ ЗАЩИТНО-КРЕПЯЩЕГО СЛОЯ НА ПРОЧНОСТЬ АДГЕЗИОННОГО СОЕДИНЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ С КОРПУСОМ ДВИГАТЕЛЯ
А.Ю. Скуратов, Е.А. Беспалова, Н.В. Половникова…….. 108

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ 3Д-ПЕЧАТИ БИОКОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА – ГИДРОКСИАПАТИТА
Н.Е. Торопков, Н.С. Антонкин, Т.С. Петровская, В.И. Верещагин……. 110

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА НАНЕСЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ БЕМИТА НА СВОЙСТВА МИКРОДУГОВЫХ КАЛЬЦИЙ-ФОСАФТНЫХ ПОКРЫТИЙ
В.В. Чебодаева, М.Б Седельникова……. 112

К ВОПРОСУ ОБРАЗОВАНИЯ ПОЛЫХ МИКРОСФЕР В ПОТОКЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ
В.В. Шеховцов, О.Г. Волокитин, Р.Е Гафаров …….. 114

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА СВС НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ ПРИ ХОЛОДНОМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ НАПЫЛЕНИИ
Ян Сяо, Б.С. Зенин…… 116

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ПРОЧНОСТЬ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ
А. А. Яхин…….. 118

СЕКЦИЯ 2
ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

ULTRA-HIGH SENSITIVE DETECTION WITH SURFACE-ENHANCED RAMAN SPECTROSCOPY
A.V. Ilchuk…….. 121

ELECTRONIC TATTOOS FOR HEALTH TRACKING BASED ON GRAPHENE OXIDE
A. Lipovka, G. Murastov, O. Nozdrina, E. Sheremet, O. Kanoun, A. Al-Hamry, V. Prakash, S. Mehta……... 123

ABRICATION OF 2D BASED PN JUNCTIONS WITH IMPROVED PERFORMANCE BY SELECTIVE LASER ANNEALING
Ma Bing, R. D. Rodriguez, A. Lipovka, T. Nekrasova, G. Murastov, O. Nozdrina……... 125

THIN CONDUCTORS OF rGO IN 2D GRAPHENE OXIDE STRUCTURE
G. Murastov, R. Rodriguez, A. Lipovka, O. Nozdrina, M. Bing,……... 126

AN ALTERNATIVE SUBSTRATE FOR THE INVESTIGATION OF TWO-DIMENSIONAL MATERIALS
T.D. Nekrasova, R.D. Rodriguez, E.S. Sheremet, Dietrich R.T. Zahn……... 128

ЭФФЕКТИВНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ОБЛУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ В ТЕПЛИЧНОМ ХОЗЯЙСТВЕ
А.А. Бактыбаев, С.Б. Туранов, К.А. Толеутаев…….. 130

РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ КОМПОЗИТА С ЛЮМИНОФОРОМ ДЛЯ БЕЛЫХ СД
В.А. Ваганов, А.Т. Тулегенова……. 132

ВОЗДЕЙСТВИЕ ОДНООСНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА РАСПРЯМЛЕНИЕ НАНОЦЕПЕЙ В ПЛЕНОЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ
Н. А. Воронова, А. И. Купчишин, М. Н. Ниязов, А.Т. Тулегенова, В.М. Лисицын……... 134

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОКЛАСТЕРОВ И ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДА
Н.А. Воронова, А.И. Купчишин, Б.Г. Таипова, А.Т. Тулегенова, В.И. Кирдяшкин, Л.М. Беркин……. 136

КИНЕТИКА НАКОПЛЕНИЯ ЦЕНТРОВ ОКРАСКИ В КРИСТАЛЛАХ LIF С ОКСИДАМИ МЕТАЛЛОВ
Гуанхуэй Гэ, П.В. Петикарь…… 138

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КИСЛОРОДНЫХ ЦЕНТРОВ В КРИСТАЛЛАХ LiF
Гуанхуэй Гэ, П.В. Петикарь, А.А. Липовка…… 140

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И ПРОЦЕССОВ НАГРЕВА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ЛЮМИНОФОРОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМОИТТРИЕВОГО ГРАНАТА
В.Д. Демчук, С.А. Степанов……. 142

НИЗКОПОРОГОВЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ПРОБОЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ МИШЕНЕЙ
К.А. Денисенко…….. 144

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ КЕРАМИК, НА ОСНОВЕ АЛЮМОМАГНИЕВОЙ ШПИНЕЛИ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ
Р.Г. Калинин, С.А. Степанов…… 146

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ АКТИВИРОВАННОЙ ВОЛЬФРАМОМ КЕРАМИКИ MgF2
Ж.Т. Карипбаев, Д.А. Мусаханов, А.Т. Тулегенова, А.А. Мархабаева……... 148

МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭВМ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПО ГЛУБИНЕ НАНОКЛАСТЕРОВ ВАКАНСИОННОГО ТИПА В МАТЕРИАЛАХ, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ
А.И. Купчишин, А.А. Купчишин, Т.А. Шмыгалева, С.М. Есхожаева……. 150

ВРЕМЯ РАЗРЕШЕННАЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ InGaN/GaN-КВАНТОВЫХ ЯМ
Ли Цзысюань, С.Г. Сысоева, В.И. Олешко……. 152

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ И ЗАЛИВАЮЩЕЙ ПОДСТВЕТКИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ДЕРЕВЯННОГО ЗОДЧЕТВА
А.В. Овсянникова, К.П. Толкачева…….. 154

ОПЕРАТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА СПЕКТРА КИНЕТИЧЕСКИХ ЭНЕРГИЙ ЭЛЕКТРОНОВ ПУЧКА ИМПУЛЬСНОГО УСКОРИТЕЛЯ
А.В. Полосков, И.С. Егоров, А.А. Курилова, А.А. Исемберлинова……. 156

АДРЕСНЫЕ ТАБЛИЧКИ С АВТОНОМНОЙ ПОДСВЕТКОЙ
Д.Е. Саттыбаев……... 157

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО И СТАТИЧЕСКОГО СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРИРОСТ МИКРОВОДОРОСЛИ ХЛОРЕЛЛЫ
О.А. Трофимчук……. 159

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ YAG:Ce ЛЮМИНОФОРА ПРИ УФ-ВОЗБУЖДЕНИИ
А.Т. Тулегенова, Цзюй Янян, В.А. Ваганов, С.А. Степанов……. 161

МОРФОЛОГИЯ И СТРУКТУРА ЛЮМИНОФОРОВ ТИПА СДЛ
А.Т. Тулегенова, Цзюй Янян, С.А. Степанов……. 163

БЕЗАППАРАТУРНОЕ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ С ПОМОЩЬЮ СМАРТФОНА
Э.В. Уразов, А.К. Посвященная……... 165

МЕТОД ЛАЗЕРНОЙ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ ДИАГНОСТИКИ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ МИОКАРДА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В УСЛОВИЯХ ОПЕРАТИВНОГО КАРДИОХИРУРГИЧЕСКОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА
Л.П. Цапко, А.В. Евтушенко, В.В. Евтушенко, В.П. Ципилев……. 167

УФ-ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ПРИМЕСНЫХ ЛЮМИНОФОРОВ НА ОСНОВЕ YAG:Ce
Цзюй Янян, В.А. Ваганов, А.Т. Тулегенова, С.А. Степанов……. 169

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВАНИЯ ЛЮМИНОФОРА ПРИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЧИПА
Рымхан Ауганбай Муратулы, Цзюй Янян…….. 171

СЕКЦИЯ 3
ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ

SYNTHESIS OF 2’’-(2-(PHENYLAMINO)ETHOXY)-PAROMOMYCIN
D.L. Avetian……..... 174

CO-DELIVERY OF DNA-ALKYLATING DRUGS BY CHITOSAN-FOLIC ACID NANOCOMPLEXES FOR MULTIDRUG CANCER THERAPY
A. Di Martino, S.S. Vlasov, P.S. Postnikov…… 176

FLOTATION SELECTION OF ELEMENTARY SULFUR FROM AUTOCLAVE CAKES AFTER LOW-TEMPERATURE LEACHING OF THE STEERING OF THE PYRINT GOLD-CONTAINING CONCENTRATE
Svetlana Alexandrovna Ivanik, Vodkailo Ekaterina Gabrielovna…….. 178

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА СЕМЯН ПШЕНИЦЫ
А.А. Исемберлинова, А.В. Полосков, С.А. Нужных, А.А. Курилова…….. 180

ИССЛЕДОВАНЕ СОРБЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ИОНОВ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД С ПОМОЩЬЮ КОМПОЗИТНОГО БИОСОРБЕНТА
А.С. Буянкина…… 181

СИНТЕЗ ИОДОНИЕВЫХ СОЛЕЙ НА ОСНОВЕ 2-ИОДФЕНИЛБЕНЗИМИДАЗОЛА
Ю.А. Власенко……... 183

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ БИОДЕГРАДИРУЕМЫХ СКАФФОЛДОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ
Р. О. Гуляев, С.И. Горенинский, К.С. Станкевич, В.В. Лисина…… 185

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОКСИЧНОСТИ СТОКОВ ТРАВЛЕНИЯ ТИТАНА
Т.З. Забиров, И.В. Овсянникова, Н.Н. Фанакова……... 186

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА КОЭФФИЦИЕНТ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЕНОСТЕКЛА
М. Р. Каймонов, К.В. Дорожкин…….. 188

СИНТЕЗ БИТОПНЫХ ЛИГАНДОВ – ПРОИЗВОДНЫХ ТРИАЗОЛА И БЕНЗОТРИАЗОЛА В ОСУТСТВИИ РАСТВОРИТЕЛЯ
М.А. Ключенко…….. 190

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПАРОВОДЯНОГО ЦИКЛА КАРАГАНДИНСКОЙ ТЭЦ-3
А.А. Ларичева…… 191

СОЗДАНИЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИММУНОМОДУЛИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ
В.В. Лисина, К.С. Станкевич, С.И. Горенинский, Р.О. Гуляев……. 193

ПЛАЗМЕННАЯ ОЧИСТКА ОБЛУЧЕННОГО РЕАКТОРНОГО ГРАФИТА ОТ РАДИОАКТИВНЫХ МИКРОПРИМЕСЕЙ
С.В. Макаревич, И.Ю. Новоселов, И.А. Ушаков……... 194

СОЗДАНИЕ БИРАДИКАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВЕРДАЗИЛЬНЫХ РАДИКАЛОВ ЧЕРЕЗ ОБРАЗОВАНИЕ АМИДНОЙ СВЯЗИ
Е.А. Мартынко, П.В. Петунин……. 196

СИНТЕЗ ДИ(1,2,4-ТРИАЗОЛИЛ) АДАМАНТАНОВ
Р.Д. Марченко…… 198

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛНОТЫ ВЫГРУЗКИ ЗАКИСИ-ОКИСИ УРАНА В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЛОКСИДАЦИИ ОЯТ
В.И. Мацеля, И.Н. Сеелев, А.В. Васильев, И.А. Курский……. 200

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ ОЯТ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ
В.И. Мацеля, И.Н. Сеелев, А.В. Васильев, И.А. Курский……. 201

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ НА ГХК
В.И. Мацеля, И.Н. Сеелев, А.В. Васильев, И.А. Курский……. 202

СИНТЕЗ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕАГЕНТОВ НА ОСНОВЕ ИОДБЕНЗОЛСУЛЬФОКИСЛОТ
И.А. Миронова……... 204

ЦИНК, КАК КАТАЛИЗАТОР ДЛЯ РЕАКЦИИ АЗИД-АЛКИНОВОГО ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЯ
М.А. Морозова, А.К. Куанышева, М.Е. Трусова, П.С. Постников…….. 206

ФЛУОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАТУРАЛЬНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ ПИЩЕВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ
А.А. Николаева…….. 208

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ОСНОВНОГО ОТХОДА ПРОИЗВОДСТВА СОДЫ МЕТОДОМ ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ
И.В. Овсянникова, Л.Н. Пучкова, Н.Н. Фанакова…….. 210

АРИЛИРОВАНИЕ ФЕНИЛБОРОНОВЫХ КИСЛОТ АРЕНДИАЗОНИЙ ТОЗИЛАТАМИ В ПРИСУТСТВИИ ZN-СОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ
К.В. Орлова…… 212

СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ IDA НА ОСНОВЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ КЕТОНОВ
Е.В. Подрезова……... 214

СТОЧНЫЕ ВОДЫ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНА И ИХ ПЕРЕРАБОТКА В МЕМБРАННОМ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЕ С МОНОПОЛЯРНЫМИ И БИПОЛЯРНЫМИ МЕМБРАНАМИ
В.С. Фанаков, Л.Н. Пучкова, Н.Н. Фанакова…….. 216

ЭЛЕКТРОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ В АРОМАТИЧЕСКИХ ТРИАЗЕНАХ
А.И. Швыркова, Н.В. Жукова…….. 218

СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ АЗОЛОВ С КОНФОРМАЦИОННО ЖЁСТКИМИ ЛИНКЕРАМИ
А.Э. Шмидт, А.С. Потапов……... 220

ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАЗОБЩАЮЩЕГО БЕЛКА UCP1 В АБДОМИНАЛЬНОМ ЖИРОВОМ ДЕПО АУТБРЕДНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ ПРИ ТЕРМОНЕЙТРАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ
А.В. Якуненков…….. 222

СЕКЦИЯ 4
РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
МИНЕРАЛЬНЫХ И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

FEATURES OF REMOTE SENSING APPLICATIONS FOR ENSURING SAFE AND RATIONAL MINING OPERATIONS
D.A. Ilyukhin, S.Yu. Novozhenin……... 225

WATER CONSERVATION IN CONDITIONS OF WATER WITHDRAWAL FROM SURFACE WATER SOURCES
A. Strelkov, S. Teplykh, P. Gorshkalev, A. Bystranova…… 227

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕРОЩЕБНЯ НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ-УНОСА В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНА
А.И. Анненков, И.В. Амеличкин, А.Б. Доржиева, У.В. Бедрицкая……. 229

КРИТЕРИИ УНИКАЛЬНОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА И ФАКТОРЫ РЕГИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ В ДРЕВНИХ КОМПЛЕКСАХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ
В.Б. Арчегов, Ю.В. Нефедов…… 231

СИНТЕЗ СПЕЦИАЛЬНЫХ КЛИНКЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ
А.Ю. Бабич……. 233

ПОЛУЧЕНИЕ ГРАНУЛИРОВАННОГО СЕРОЗОЛОБИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ
У.В. Бедрицкая, А.Б. Доржиева, А.И. Анненков…… 235

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ
Н.С. Бессонова, О.Н. Медведева…….. 237

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ AU-TE ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ САМОЛАЗОВСКОЕ (ЦЕНТРАЛЬНО-АЛДАНСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН, ЯКУТИЯ)
Я.Ю. Бушуев, В.И. Леонтьев…… 239

КИНЕТИКА ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ВЫСОКОКРЕМНИСТЫХ БОКСИТОВ СОЛЯНОЙ КИСЛОТОЙ
Д.В. Валеев……. 241

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ ИНТРОСКОПИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ
Р.А. Груздев……... 242

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ МИКРОТОМОГРАФИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД
А.М. Дурягина, И.В. Таловина, А.А. Штырляева, О.А. Попов…… 244

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И СОДЕРЖАНИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ В ЗОЛАХ УНОСА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ЮЖНОАФРИКАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
В.А. Желнорович, М.С. Полонский……. 246

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ВСКРЫТИЯ РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ БОРНОЙ КИСЛОТОЙ
Ю.А. Захарова, Л.Н. Малютин, О.И. Мишукова, И.В. Петлин…… 248

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ГАЗОИСПОЛЬЗУЮЩИХ АГРЕГАТОВ
Е.А. Изотова, О.Н. Медведева……. 250

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СНИЖЕНИЯ ПРОЧНОСТИ КУСКОВ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ
В.А. Ишейский, М.А. Маринин, С.И. Фомин……. 252

ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КУСКОВ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ
В.А. Ишейский, И.Е. Звонарев……. 254

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ
А.Е. Колесников, В.Р. Галеев……... 256

ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ В КАЧЕСТВЕ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩЕГО АГЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТОЧНЫХ ВОД
А. А. Курилова, А.В. Полосков, И. С. Егоров…… 258

РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТО-ТЕЛЛУРИДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ САМОЛАЗОВСКОЕ, АЛДАНСКИЙ ЩИТ
В.И. Леонтьев, К.А. Черниговцев…… 260

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТРЫВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗАРЯЖАЕМЫХ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН
А.А. Манаков, В.А. Ишейский……. 262

ИЗУЧЕНИЕ НАРУШЕННОСТИ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ОБРАЗЦОВ ПИРОКСЕНИТОВ АКУСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ
Д.В. Морозов, Иванов П.Н., С.С. Саркисов…… 264

ИЗМЕРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ШУНГИТА АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ
Н.А. Морозов, С.С. Саркисов……... 266

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В ОБРАЗЦАХ ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕД КОМПЛЕКСОМ МЕТОДОВ
И.А. Павлов…… 268

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВЫБРОСОВ ИНФРАКРАСНЫХ ГОРЕЛОК НОВОГО ТИПА
Н.С. Пичугин……. 270

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ 2,4-ДИХЛОРФЕНОКСИУКСУСНОЙ КИСЛОТЫ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ
А.К. Посвященная…… 272

ИЗОТОПНЫЙ АНАЛИЗ СЕРЫ СУЛЬФИДОВ AU-TE МЕТАСОМАТИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДГОЛЕЧНОЕ И САМОЛАЗОВСКОЕ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЛДАН)
Н.П. Русинова, В.И. Леонтьев…….. 274

ОПРЕДЕЛНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ МЕТАМОРФИЧЕСКОГО СЛАНЦА НА ОДНООСНОЕ СЖАТИЕ МЕТОДОМ УПРУГОГО ОТСКОКА
М.В. Сизиков…… 276

БЕТОНЫ ДЛЯ ПОДВОДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
Р.С. Федюк, Д.Е. Кузьмин, В.О. Батаршин, И.С. Гармашов……. 278

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ИСТОЧНИКА ГАЗОСНАБЖЕНИЯ
Г.С. Фоминых, О.Н. Медведева……... 280

СОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД
Хамитова К.К., Исмаилов Д.В……. 282

ФТОРАММОНИЙНАЯ ОБРАБОТКА ПРИРОДНОГО МАГНЕЗИАЛЬНОСИЛИКАТНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ СИНТЕЗА КЕРАМИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ
Ш.М. Шарафеев……. 284

СЕКЦИЯ 5
ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ МАШИНОСТРОЕНИЯ И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

SIMULATION OF TRANSLATIONAL DATA ACQUISITION SCHEME AND DEVELOPMENT OF RECONSTRUCTION ALGORITHM IN NON-DESTRUCTIVE TESTING USING X-RAY TOMOGRAPHIC PRINCIPLES
B.K. Afornu, A.H. Ozdiev……... 287

DYNAMIC RESPONSE OF THREE-DIMENSIONAL MULTI-DOMAIN PIEZOELECTRIC STRUCTURES VIA BEM
L.A. Igumnov, I.P. Markov, A.K. Lyubimov, V.V. Novikov……. 288

EFFECT OF DUAL SURFACE COOLING ON THE TEMPERATURE DISTRIBUTION OF NUCLEAR FUEL PELLET
Odii Christopher Joseph…….. 289

DYNAMIC ANALYSIS OF A THREE-DIMENSIONAL POROELASTIC BEAM USING BOUNDARY-ELEMENT METHOD
A.N. Petrov, S.M. Aizikovich, L.A. Igumnov…… 291

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ НА ТВЕРДОСТЬ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ПОКРЫТИЙ TiC + P6M5
А.В. Барановский, М.Г. Криницын, И.А. Фирсина…… 292

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С РЕГУЛЯТОРОМ
К.М. Бобобеков, Г.В. Трошина, А.А. Воевода……... 294

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СБОРКИ СТУПЕНИ ТУРБИНЫ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
М.А. Болотов, Н.В. Рузанов, И.А. Грачев, И.А. Щербаков …….. 296

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕРНО-ТОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
М.А. Болотов, В.А. Печенин, Н.В. Рузанов…… 298

ПРИМЕНЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ АЛГОРИТМОВ В УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНЫХ ФОРМ
Д.О. Долматов…… 300

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОГРУЗОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОМБАЙНОВ «УРАЛ-20Р»
И.Е. Звонарев……. 301

ЗАВИСИМОСТЬ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА ОТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ
И.Е. Звонарев, С.Ю. Кувшинкин, П.В. Иванова…… 303

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ГАУССА
А.С. Золкин, И.В. Черепков……. 305

РАНИЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ КОНЕЧНЫХ СОСТАВНЫХ ПОРОВЯЗКОУПРУГИХ ТЕЛ
А.А. Ипатов, Л.А. Игумнов, В.Ф. Овчинников, А.Н. Супрун…….. 307

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО КОНТАКТА ЗУБНОЙ ПАРЫ ЧЕРЕЗ ТРЕХСЛОЙНУЮ ПРОТЕТИЧЕСКУЮ КОНСТРУКЦИЮ
А.А. Каменских, Ю.И. Лесникова……... 309

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ УПРОЧНЁННЫХ ДЕТАЛЕЙ С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ
Киселев П.Е., Шляпников П.А., Сургутанов Н.А., Швецова А.А…… 311

ПРОЧНОСТЬ РЕЖУЩЕГО КЛИНА ПРИ ВРЕЗАНИИ
В.Н. Козлов, Ц. Чжан, И. Го, А.В. Герасимов…… 313

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ НАГРУЗОК ПРИ ВРЕЗАНИИ
В.Н. Козлов, Ц. Чжан, И. Го, С.К. Сабават……. 315

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СКОЛЬЗЯЩИМ ИНДЕНТОРОМ С РАЗЛИЧНЫМИ СХЕМАМИ ДВИЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА НА ОБРАБАТЫВАЮЩЕМ ЦЕНТРЕ
В.П. Кузнецов, В.В. Воропаев…….. 317

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ПРОУШИН ШАРНИРОВ МАНИПУЛЯТОРОВ МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН
И.А. Лагерев……... 319

ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИАЛЬНОГО ПОДХОДА ПРИ ОЦЕНКЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ШТАМПОВОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА
С.А. Малаканов, В.А. Арзамасцева…… 321

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТПУСКА НА ХАРАКТЕР МАГНИТОУПРУГОЙ РЕЛАКСАЦИИ СТАЛИ 30Х13
К.Р. Муратов, Р.А. Соколов., В.В. Проботюк……. 323

К ВОПРОСУ О ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ГАЗОПРОВОДАХ В СЕТЯХ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ
Назарова М.Н., Давыденко М.И., Ярославова Ю.Э……... 325

РАЗРАБОТКА КОНТАКТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГТД
Н.В. Рузанов, М.А. Болотов, В.А. Печенин, Е. Р. Матэк…….. 327
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА РОТОРНЫХ ДРОБИЛОК ПРИ РОИЗВОДСТВЕ ЩЕБНЯ
З.М. Сатторов……. 329

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КОНСТРУИРОВАНИЯ МАЛЫХ СПУТНИКОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И МЕТОДОВ ИХ УПРАВЛЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЦЕЛЕВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
С. Л. Сафронов, И. С. Ткаченко, С. С. Волгин……... 331

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛА В МЕТАЛЛИЗАЦИИ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ
Р.В. Тарновский, А.А. Дитц……. 333

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ БИНАРНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗНОЙ МАТРИЦЫ
А.В. Филонович, И.В. Ворначева, Е.А. Филатов, И.А. Макарова…… 335

ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ ГЛУБИННО-НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ СКВАЖИНЕ
Д.А. Фомин, А.Е. Антипов, Д.Г. Лапин…….. 337

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПАДА АУСТЕНИТА В ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЯХ
Ю.В. Якубович, Р.Н. Фисенко……. 339

СЕКЦИЯ 6
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ
А.В. Агаповичев, А.Г. Князева, В.Г. Смелов…….. 342

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ТОЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ
М.Н. Боголюбова, А.И. Афонасов,
Д.Э. Шавдуров, В.Н. Козлов…… 344

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУМЕРНОЙ СОПРЯЖЕННОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В СИСТЕМЕ ПАССИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ С ИЗМЕНЯЕМЫМ ФАЗОВЫМ СОСТОЯНИЕМ
Н.С. Бондарева, М.А. Шеремет…… 346

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ И РОДСТВЕННЫХ ЕЙ ТЕХНОЛОГИЙ
А. С. Бузин, Н.А. Астафьева…… 348

ИЗУЧЕНИЕ АТОМАРНОЙ СТРУКТУРЫ МЕЖЗЕРЕННЫХ ГРАНИЦ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ
Р.М. Герасимов…….. 350

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА В КВАДРАТНОЙ ПОЛОСТИ С ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИМ ИСТОЧНИКОМ ПОЛУЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ
Н.С. Гибанов…….. 352

ОБОБЩЕННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МАКРОМОДЕЛЬ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ
Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова……... 354

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРИКАМЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ВСЕМ УЧАСТКЕ РАБОТЫ РДТТ С ПОМОЩЬЮ ОБРАТНОГО МЕТОДА ЛАКСА-ВЕНДРОФФА
А. Е. Кирюшкин……. 356

К ОПИСАНИЮ УПРОЧНЕНИЯ ПРИ НЕУПРУГОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ МОНОКРИСТАЛЛОВ: УЧЕТ ДИСЛОКАЦИОННЫХ БАРЬЕРОВ
Н.В. Котельникова, Д.С.Грибов, П.С.Волегов……..... 358

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИНАХ
А.И. Кубряк…… 360

ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ РАСЧЕТЕ СПЕКТРА НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОДКРИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
И.О. Луцик, С.В. Беденко……. 362

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДСОРБЦИИ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ НА БИОСОВМЕСТИМЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТОВ
Е.В. Мараева…….. 364

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ
В.А. Микушина, И.Ю. Смолин…… 366

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТУРБУЛЕНТНЫЕ РЕЖИМЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ В ЗАМКНУТОМ КУБЕ
И.В. Мирошниченко……..... 368

ВЛИЯНИЕ ЛУЧИСТОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА НА МИНИМАЛЬНУЮ ЭНЕРГИЮ ИСКРОВОГО ЗАЖИГАНИЯ ВЗВЕСИ НАНОРАЗМЕРНОЙ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ
К.М. Моисеева, А.Ю. Крайнов……..... 370

РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА БОРНОЙ КИСЛОТЫ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА ВВЭР В СЛУЧАЕ АВАРИИ
А.В. Морозов, А.В. Питык, С.В. Рагулин, Н.С. Ильичева, Д.Ф. Закиров…..... 372

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕУПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ МНОГОФАЗНЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ УПРОЧНЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННОСТИ
В.С. Озерных…….. 374

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ПЛАМЕНИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОРИСТОЙ ГОРЕЛКЕ С УЧЕТОМ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
Ф.С. Палесский, С.С. Минаев…….. 376

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПРОЦЕССА ВНЕДРЕНИЯ ИОНОВ В ПОВЕРХНОСТЬ МЕТАЛЛА В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОМ ПРИБЛИЖЕНИИ
Е.С. Парфенова, А.Г. Князева…….. 378

ДИСЛОКАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ ПРЕРЫВИСТОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ
Ф.С. Попов……. 380

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ СМЕСЕВОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА СОДЕРЖАЩЕГО НАНОРАЗМЕРНУЮ ФРАКЦИЮ ПОРОШКА АЛЮМИНИЯ
В.А. Порязов, А.Ю. Крайнов…… 382

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАМЕЩЕНИЯ МЕТАНА В ГАЗОГИДРАТЕ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА
Г.Р. Рафикова, М.К. Хасанов…… 384

СРАВНЕНИЕ ДВУХ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЯЧЕЕК НАНОМЕМБРАНЫ ДЛЯ ЗАДАЧ РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСИ ГАЗОВ
Е.А. Тарасов……... 385

К ТЕОРИИ ЗАМЕЩЕНИЯ ГАЗОГИДРАТА В ПОРИСТОМ ПЛАСТЕ ПРИ НАГНЕТАНИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА
М.К. Хасанов, М.В. Столповский, С.Р. Кильдибаева…… 387

СИММЕТРИЧНЫЙ МЕТОД РАСЩЕПЛЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МАГНИТОГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ
Е.А. Шельмина, И.Г. Боровской…….. 389

ОБ АСИМПТОТИЧЕСКОМ ВИДЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОДНОЭТАПНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕПРЕРЫВНОЙ АВТОРЕГРЕССИИ
Шерстобитова А. О……... 391

К ВОПРОСУ ОБРАЗОВАНИЯ ПОЛЫХ МИКРОСФЕР В ПОТОКЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ
В.В. Шеховцов, О.Г. Волокитин, Гафаров Р.Е……... 393

СЕКЦИЯ 1

ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

INFLUENCE OF SIO_2 MICRO-PARTICLES ONTO MICROSTRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES AND WEAR RESISTANCE OF UHMWPE BASED COMPOSITE UNDER DRY SLIDING FRICTION

Noppanuch Puangmalee[1,a*], Narongrit Sonjaitham[2,b], Setthawit Saengthip[1,c], Noppanan mungnuae[1,d], Surachade Solklin[3,e] and Surat Wannasri[3,f]
[1]Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University
1061 Isaraphab Rd., Dhonburi, Bangkok, Thailand, 10600
[2]Faculty of Industrial Technology and Management, King Mongut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus, 129, T. Noenhom, A. Muang, Prachinburi, Thailand, 25230
[3]Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan,
744 Suranarai Rd., T. Nai-muang, A. Muang, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000.
[a]p_puangmalee@hotmail.com, [b]narongrit.s@fitm.kmutnb.ac.th, [c]witkub@hotmail.com,
[d]down_31@hotmail.com, [e]surachade@hotmail.com and [f]swanasri_1@hotmail.com

Keywords: UHMWPE, SiO_2, microstructure, mechanical properties, wear resistance.

Abstract. This research investigated the influence of silicon dioxide (SiO_2) with particle size of 5 micron on microstructure, mechanical properties and wear resistance of UHMWPE polymeric composite materials under dry sliding friction that was tested by Block–on–ring technique according to ASTM G77. Bulk UHMWPE composite specimen was reinforced with SiO_2 particles by weight fraction of 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1, 2, 3, 4 and 5 wt.%. Specimen was performed by hot compression process with the compression forming conditions at the temperature of 202.11°C, pressure of 9.73 MPa and exposure time of 76.97 minutes. It was found that, SiO_2 has the potential to cause cross-linking in the molecular chain of polymers and affect in increased crystallinity and density. For the case of the microstructure, SiO_2 particle fraction in the range of not more than 0.5 wt.% did not effect to change microstructure of the specimen which Its microstructure did not significantly different from the pure UHMWPE specimen due to SiO_2 particle was dispersed uniformly in the UHMWPE matrix. Its microstructure appeared in a lamellar form or flake pattern. However, the increasing of SiO_2 more than 0.5 wt.% effect to changed microstructure due to the increased SiO_2 particles separated from the matrix and accumulation at the grain boundary of UHMWPE powder particles. For the case of mechanical and wear resistance properties, the increasing of SiO_2 particle of 1 wt.% affect to increased various mechanical properties to have a maximum value and decreased wear rate to minimum value of $5.10 \times 10^{-11} \pm 1.26 \times 10^{-11}$ mm^3/Nm. After that, the increasing of SiO_2 particle effect to decreased mechanical and wear resistance properties except for the hardness that continuously increased according to the increasing of SiO_2.

Ti-Nb ALLOYS FOR APPLICATION IN MEDICINE

A.Thoemmes, I.V. Ivanov, R.I. Kuzmin
Scientific Supervisior: Associate Professor I.A. Bataev, PhD
Novosibirsk State Technical University,
Russia, Novosibirsk, Pr. Karla Marksa 20, 630073
E-mail: thoemmes.alexander@gmail.com

Introduction: The average life expectancy of people all over the world is increasing since the early 1950s and it is predicted that this trend will continue in future [1]. Geetha et. al payed attention to the fact that 90 % of population over the age of 40 suffer from degenerative diseases [2]. This tendency in combination with the wish to improve life quality of older people increases demands for biomedical implants. The nowadays mostly used biomedical materials are stainless steel, Cr-Co alloys and Ti - 6Al - 4V. One drawback of these alloys is that their Young's modulus are several times higher compared to Young`s modulus of human bones. This causes an effect called stress shielding [3] which leads to subsequent loosening of implants. To avoid the stress shielding effect metallic alloys with low Young's modulus should be used for manufacturing of the implants. Out of three aforementioned alloys Ti - 6Al - 4V possesses the lowest Young's modulus (~100 GPa). However, alloying elements such as aluminium and vanadium exhibit several disadvantages. Aluminium can be reason for Alzheimer`s or Parkinson's diseases whereas vanadium is a known as rather toxic element for human body[4]. In this study we report on some structural and mechanical peculiarities of Ti-Nb alloys which are currently considered to be promising for application in biomedicine due to their low Young's modulus and perfect biocomatibilty.

Materials and Methods: The ingots made of commercially pure (c.p.) Ti and binary Ti-Nb alloys with Nb content between 0 wt% and 37 wt% (hereafter wt% will refer to as %) were melted using a BUEHLER Arc Melter in a Ti-gettered argon atmosphere. Considering the difference in density (Ti:4,5 g/cm³; Nb: 8,57 g/cm³) and in melting point (Ti: 1941 K; Nb: 2750 K) between the initial materials and because of the relatively broad two phase field in the Ti-Nb phase diagram the samples were melted 16 times and flipped after every second melt to ensure chemical homogeneity. Before and after melting the weight was measured to detect the weight loss during melting. After melting the binary samples were annealed at 1000 °C for 24 h followed by quenching from 1000 °C into oil. Both heat treatments were conducted in vacuum. Microhardness measurements were done with a WOLPERT Group 402 MVD Vickers hardness tester. X-Ray diffraction analysis was implemented using a ARL X`TRA diffractometer using Cu-k$\alpha_{1,2}$ radiation in 2θ range from 30° to 80°.

Results and Discussion: The highest weight loss during melting was found to be 0.83 %. The niobium content as well as the different weight loss values are shown in Table 1. It is well known that in Ti alloys two stable phases, namely α and β and four nonequilibrium phases (martensitic α` and α``, ω and metastable β) can exist. The formation of martensitic phases in Ti-Nb alloys depends on the alloying content as well as on the quenching rate [6]. Metastable ω phase can be achieved in two cases: when the cooling rate is sufficiently high, or during aging. XRD patterns of the samples showed that after annealing the samples are composed of hcp α`and bcc β. The border between α` and β phases lies at 25% Nb. After quenching the samples mainly consist of martensitic α`` and β phase. Stable β phase is reached when the alloying content is above 37 %.

Table 1 - Chemical Composition, weightloss and microhardness of researched alloys

Alloy Code	Nb, %	Ti, %	Weight loss, %	Microhardness after annealing, $HV_{0.05}$	Microhardness after quenching, $HV_{0.05}$
c.p. Ti		100		165 ± 5	
Ti-14Nb	14 ± 0,7	Balance	0.83	233 ± 4	246 ± 6
Ti-24Nb	24 ± 0,8	Balance	0.10	271 ± 4	212 ± 5
Ti-29Nb	29 ± 0,2	Balance	0.13	393 ± 10	225 ± 5
Ti-34Nb	34 ± 0,5	Balance	0.01	322 ± 7	195 ± 3
Ti-37Nb	37 ± 0,4	Balance	0.04	245 ± 3	211 ± 4

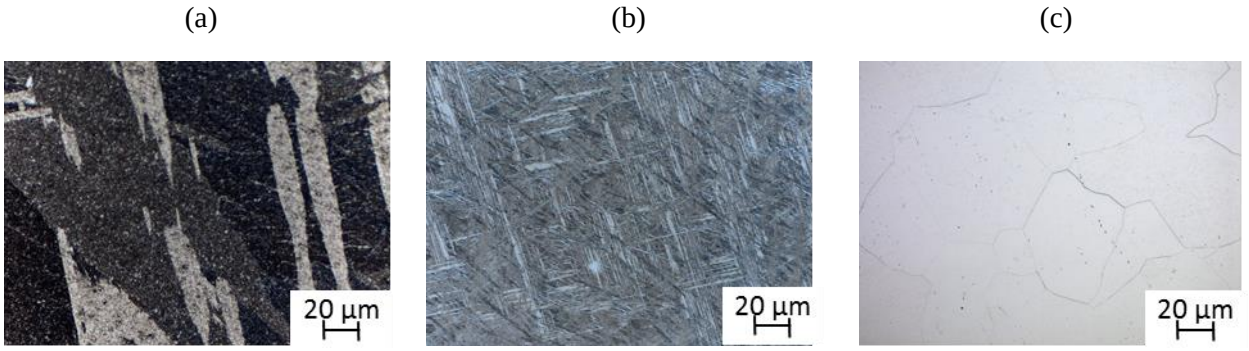


Fig. 1. Optical microstructures of a) c.p. Ti; b) annealed Ti-14Nb; c) quenched Ti-37Nb

Fig. 1 shows, that the cast c.p. Ti sample exhibit a typical lath-type morphology while the microstructure of the binary samples strongly depends on alloying content and heat treatment. The annealed sample with a Nb content of 14 % shows a fine acicular martensitic structure. When the alloying content reaches 25% Nb the needle like structure is replaced by a typical β structure. The quenched sample with 14% Nb exhibits a fine martensitic structure like the annealed sample. With increasing the alloying content the amount of martensitic structure increases. It is suggested that this happens because to the solute decreased martensite transformation starting temperature (Ms). The sample with 37% Nb shows a typical β structure where only the grain boundaries are visible. The results of the microhardness testing are also shown in Table 1. All binary alloys show a higher microhardness than c.p.-Ti. The microhardness value of the sample with 14% Nb is higher due to the solid solution strengthening effect due to Nb addition. For annealed alloys the microhardness increased further with increasing the alloying content up to a maximum of 393 $HV_{0.05}$. It is suggested that this happens because the samples were cooled down in the furnace after annealing. The cooling rate was so low that the samples were subjected to aging treatment. Mantani and Tajima showed with his research that 1h of aging treatment above a temperature of 573 K is enough to receive metastable ω phase in Ti-Nb alloys in an alloying range between 25 and 40 % [6]. It has to be mentioned that XRD and optical microscopy of annealed samples did not show the presence of ω phase, because of the nanometer size and low volume fraction of ω precipitations. For quenched samples the microhardness increased to a maximum of 225 $HV_{0.05}$. This microhardness value corresponds to the sample with 29% Nb which consists of α`` phase. When Nb content is above 34 % the microhardness decreases because the β phase dominates in structure.

REFERENCES

1. Recent metallic materials for biomedical applications / M. Niinomi // Metallurgical and Materials Transactions A. - 2002. - Vol. 33. iss. 3 - P. 477–486. - doi: 10.1007/s11661-002-0109-2.
2. Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants – A review / M. Geetha, A. K. Singh, R. Asokamani, A. K. Gogia // Progress in Materials Science. - 2009. - Vol. 54. iss. 3 - P. 397–425. - doi: 10.1016/j.pmatsci.2008.06.004.
3. Titanium-Based Biomaterials for Preventing Stress Shielding between Implant Devices and Bone / M. Niinomi, M. Nakai // International journal of biomaterials. - 2011. - Vol. 2011 - P. 836587. - doi: 10.1155/2011/836587.
4. Effects of alloying elements on the cytotoxic response of titanium alloys / A. Cremasco, A. D. Messias, A. R. Esposito, Duek, Eliana Aparecida de Rezende, R. Caram // Materials Science and Engineering: C. - 2011. - Vol. 31. iss. 5 - P. 833–839. - doi: 10.1016/j.msec.2010.12.013.
5. Influence of cooling rate on microstructure of Ti–Nb alloy for orthopedic implants / C. Afonso, G. T. Aleixo, A. J. Ramirez, R. Caram // Materials Science and Engineering: C. - 2007. - Vol. 27. iss. 4 - P. 908–913. - doi: 10.1016/j.msec.2006.11.001.
6. Phase transformation of quenched α″ martensite by aging in Ti–Nb alloys / Y. Mantani, M. Tajima // Materials Science and Engineering: A. - 2006. - 438-440 - P. 315–319. - doi: 10.1016/j.msea.2006.02.180.

ЭКСТРУДИРУЕМЫЕ ГЕТЕРОМОДУЛЬНЫЕ ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОЙ МАТРИЦЫ

В.О. Алексенко[1,2], Д.Г. Буслович[1,2], Ю.В. Донцов[2]
Научный руководитель профессор, д.т.н. С.В. Панин[1,2]
[1]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН.
Россия, г. Томск, Академический пр., 2/4, 634055,
[2]Национальный Исследовательский Томский политехнический университет.
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: svp@ispms.tsc.ru

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен, обладая приемлемыми для полимеров характеристиками прочности, а также низким коэффициентом трения, высокой износо- и химической стойкостью в агрессивных средах, используется для изготовления узлов трения машин и механизмов, а также широко используется в медицине в качестве деталей и узлов ортопедических имплантатов. Однако в силу большой длины полимерных цепей он имеет крайне низкий показатель текучести расплава (ПТР - 0.06 г/10 мин), что не позволяет перерабатывать порошковый СВМПЭ традиционными для конструкционных пластиков методами, такими как литье под давлением, шнековая экструзия и др. При этом вопросы повышения технологичности (экструдируемости) композитов на основе высокомолекулярной матрицы, в частности СВМПЭ, остаются не решенными. Для получения экструдируемых, износостойких, твердосмазочных полимерных композитов для использования в аддитивных технологиях производства исследованы механические и триботехнические характеристики полимер-полимерных композиций СВМПЭ с целью дальнейшего их использования в качестве матриц.

Исследованы смеси СВМПЭ с привитыми и блок–сополимерами полиэтилена низкого давления (HDPE-g-VTMS, HDPE-g-SMA, HDPE-b-EVA), полипропиленом (ПП), блок-сополимерами полипропилена и полиамида с линейным полиэтиленом низкой плотности (PP-b-LLDPE, PA-b-LLDPE) и блок-сополимером сшитого полиэтилена (PEX-b).

Выбор полимерных компонент для сверхвысокомолекулярной матрицы с целью увеличения технологичности (экструдируемости) СВМПЭ обусловлен поиском доступных (промышленно выпускаемых) и эффективных наполнителей для разработки износостойких экструдируемых полимерных композитов для 3D–технологий производства с целью изготовления прочных и износостойких изделий сложной формы для трибоузлов в машиностроении и медицине. Подход, основанный на усилении модифицирующих эффектов за счет образования более прочных связей на границе раздела фаз «полимер-полимер», является эффективным и перспективным на пути расширения перечня доступных износостойких экструдируемых полимерных материалов для успешного их использования в аддитивных технологиях.

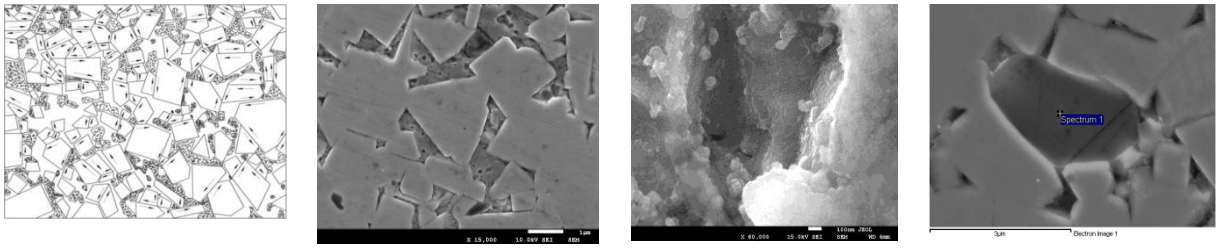
Исследованы механические характеристики, экструдируемость и износостойкость полимер-полимерных композиций на основе СВМПЭ при сухом трении скольжения в условиях различных скоростей и нагрузок. Показано, что величина износа полимерных смесей при большой скорости и умеренной нагрузке на образец (60 Н) возрастает по сравнению с чистым СВМПЭ, а при большой скорости и нагрузке на образец до 140 Н происходит кратное возрастание износа СВМПЭ и всех композиций на его основе (в 5-10 раз). Определены условия эксплуатации трибоузлов из композитов на основе СВМПЭ для машиностроения и медицины. Проанализированы наиболее эффективные наполнители для экструдируемой матрицы СВМПЭ и показано, что композиты на их основе могут быть использованы в аддитивных технологиях получения изделий в узлах трения в машиностроении и медицине.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы" Министерства образования и науки РФ; Соглашение № 14.604.21.0154, идентификатор проекта RFMEFI60417X0154.

КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ПОРОШКОВ WC-Co И НАНОЧАСТИЦ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Н.Е. Анистратенко, В.Б. Ясинский, А.С. Бинчуров
Научный руководитель: доцент, к.т.н. Гордеев Ю.И.
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
Россия, г. Красноярск, Свободный пр., 79/10, 660041
tms-mtf@rambler.ru

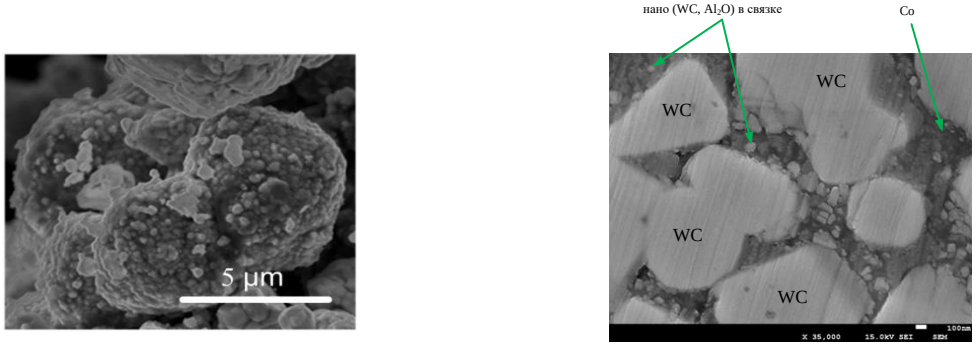
При использовании традиционных методов консолидации для получения высокой плотности твердосплавного композита необходима высокая температура и время выдержки при спекании, что приводит к увеличению начальных размеров карбидных зерен. Для получения в объеме материала субмикронных фрагментов структуры необходимо предотвратить рекристаллизацию за счет введения других частиц ингибиторов (оксидов, нитридов) [1]. В работах [2, 3] было показано, что эффективность модифицирования твердых сплавов наночастицами ингибиторов существенным образом зависит от размеров, концентрации и объемных долей, всех составляющих композита WC-Co-Al_2O_3(ZrO_2). Однако, при увеличении концентрации наночастиц в локальных объемах из-за недостаточной равномерности смешивания компонентов увеличивается степень их контактности и происходит образование агломератов. Реальная микроструктура твердосплавных композитов, модифицированных наночастицами является гетерогенной неоднородной по распределению и морфологии дополнительной оксидной фазы, сформированной из наночастиц. В процессе спекания реализуются различные конкурирующие процессы гомогенезации, происходят трансформации структуры. Это подтверждается результатами собственных электронно-микроскопических исследований (рис. 1) и данными других авторов [1, 4].



(a) (b) (c) (d)

Рис. 1. Реализация разных типов микроструктуры композита WC-Co-Al_2O_3(ZrO_2)

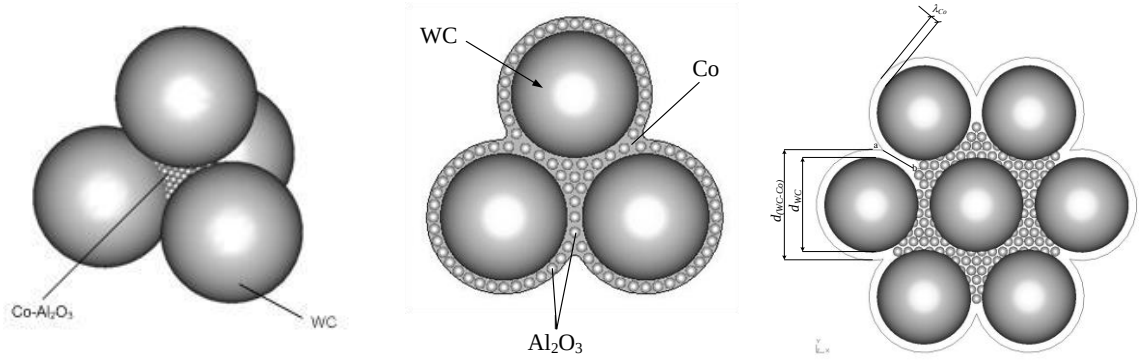
В случае использования композиционных слоистых порошков (WC-Co) субмикронных размеров в качестве основы и дополнительного легирования добавками наночастиц ингибиторов Al_2O_3, структура сформированная в результате простого спекания твердого сплава состоит из практически изолированных карбидных зерен (Рис. 2).



а) б)

Рис. 2. Морфология композитных порошков WC-Co (а) и микроструктура твердых сплавов полученных из композитных порошков (б)

На основании проведенных экспериментальных исследований предложена уточненная стереологическая модель [5] при реализации которой обеспечивается максимальная плотность упаковки и однородность взаимного распределения фазовых составляющих композита. Введенные в прослойку связующего изолированные и статистически однородно распределенные наночастицы способствуют уменьшению ее толщины $\lambda_{эфф} = f(l_1, l_2, n_2)$ (рис. 3, *а, б, в*), что в соответствии с положениями механики фаз должно обеспечить прирост прочности связующего и, как результат, твердосплавных композитов в целом.



а) б) в)

Рис. 3. Стереологическая модель трехфазного композита
а) − схема упаковки; б) − геометрическая модель системы d_m(WC-Co) – нанодобавки керамики d_f (Al_2O_{3f} , ZrO_{2f}); в) параметры трехфазной структуры

Одновременное применение нано и субмикрокристаллических композиционных карбидов и легирующих добавок наночастиц ингибиторов роста зерна основной фазы, можно рассматривать как перспективное направление производства наноструктурированных твердых сплавов с повышенным уровнем свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Panov, V.S., Zaitsev AA Trends of development the technology ultrafine and nanosized tungsten carbide WC-Co–A review //Proceedings of the universities. Powder metallurgy and functional coatings, 2014, no. 3, pp. 38–48.
2 Gordeev, Y.I., Abkaryan, A.K. Improving hard-alloy strength and tool life by thermomechanical treatment //Russian Engineering Research. – 2013. - vol. 33 no. 10, pp. 611–614.
3 Gordeev, Y. I., Abkaryan, A. K., Binchurov, A. S., & Jasinski, V. B. Design and Investigation of Hard Metal Composites Modified by Nanoparticles //Advanced Materials Research. – 2014. vol. 1040, pp. 13–18.
4 Fang Zak Z., Wang Xu, Taegong Ryu, Kyu Sup Hwang, Sohn H.Y. Synthesis, sintering, and mechanical properties of nanocrystalline cemented tungsten carbide – A review// Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials. - 2009. - vol. 27, pp. 288–299.
5. Y. I. Gordeev, A. K. Abkaryan, A. S. Binchurov, A. A. Lepeshev, V. B. Yasinski, "Influence of Additives of Nanoparticles on Structure Formation of Fine-Grained Hardmetals", Key Engineering Materials, Vol. 743, pp. 3-8, 2017.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА Э110 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ГАЗОФАЗНОГО НАВОДОРОЖИВАНИЯ

М.Н. Бабихина[1], В.Н. Кудияров[1], М.С. Сыртанов[1], З.С. Винокуров[2]
Научный руководитель: ассистент В.Н. Кудияров
[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
[2]Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева 5
E-mail: m.babihina@mail.ru

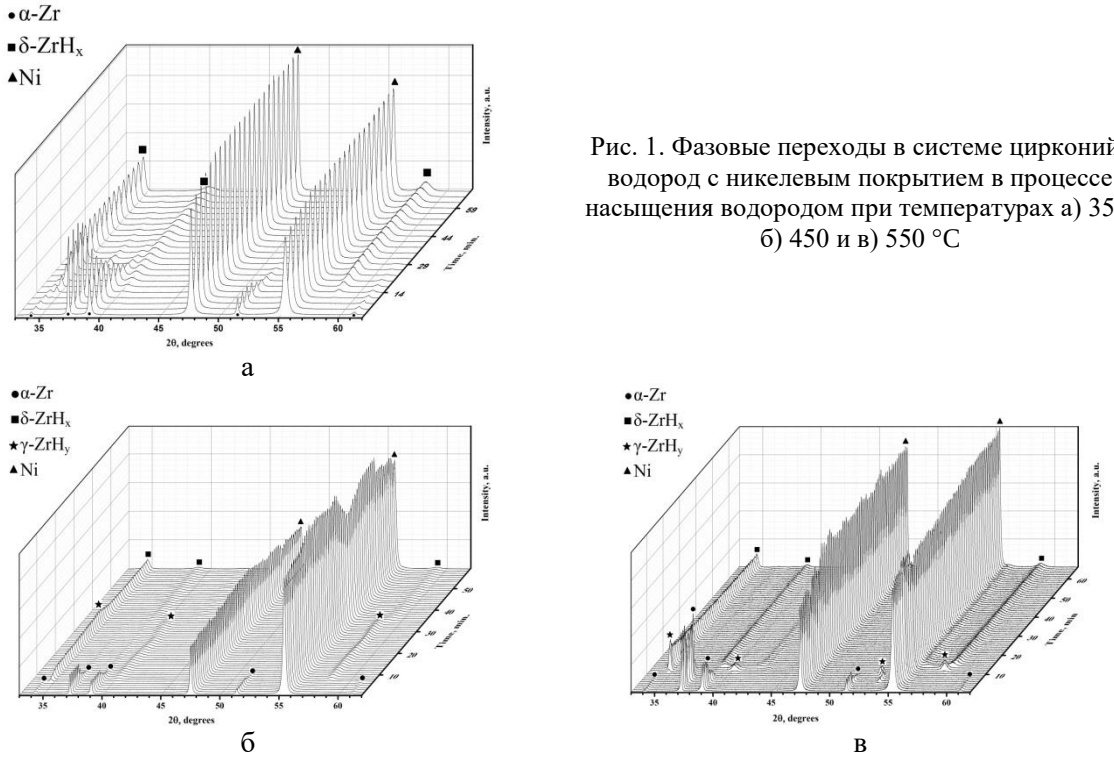
Аннотация. Исследованы образцы циркониевого сплава Э110 (Zr1%Nb) с никелевым слоем микронной толщины для сорбционной способности водорода. Проводились *In-situ* рентгенографические измерения процесса насыщения водородом образцов. С ростом температуры происходит увеличение скорость поглощения водорода сплавом Zr1%Nb. Фазовые переходы существенно влияют на скорость поглощения водорода при постоянной температуре. При температуре 350 °С процесс насыщения вызывает формирование только α-фазы циркония с последующим переходом в δ-гидрид. При температурах 450 – 550 °С происходит формирование промежуточной метастабильной тетрагональной фазы гидрида циркония с последующим переходом в δ-гидрид циркония.

Введение. Циркониевые сплавы получили широкое применение в качестве конструкционных материалов, используемых в активной зоне ядерных реакторов [1]. При эксплуатации таких сплавов в условиях контакта с водородосодержащими средами в них проникает водород, который существенно влияет на физико-химические и механические свойства материала [2]. Для исследования влияния накопления водорода на свойства циркониевых сплавов необходимо подготавливать экспериментальные образцы с различными концентрациями водорода и его различным распределением. Однако процесс наводороживания может быть затруднен из-за наличия тонкой оксидной пленки на поверхности образцов, что в значительной мере отразится на распределении водорода по объему материала. Нанесение никелевого покрытия способствует увеличению скорости сорбции водорода, а также никель обладает высокой проницаемостью для водорода. Более того, окисление никеля происходит менее активно, чем циркония, что способствует абсорбции водорода.

Материалы и методы. Для исследования использовались образцы циркониевого сплава Э110 размерами 20×20×0,5 мм. Образцы подверглись механической шлифовке с последующим высокотемпературным вакуумным отжигом при температуре 580 °С в течение 3 часов для снятия внутренних напряжений. Затем образцы подверглись ионной очистке с последующим нанесением слоя никеля на вакуумной установке «Радуга-спектр». После чего образцы насыщались из газовой среды на установке Gas Reaction Controller LPB. Фазовые переходы в системе цирконий-водород со слоем никеля при газофазном гидрировании исследовались *in-situ* на станции «Прецизионная дифрактометрия II» Института катализа СО РАН на 6 канале синхротронного излучения накопителя электронов ВЭПП-3.

Результаты. Фазовые переходы в системе цирконий-водород со слоем никеля при температуре 350 °С и давлении в камере 1 атм. представлены на рис. 1.

В начальный момент времени на рентгенограммах наблюдаются рефлексы характерные гексагональной решетке α фазы циркония и кубической фазы никеля. Сигналы, соответствующие гидриду циркония отсутствуют. Этот факт указывает на то, что водород находится в решетке в растворенном состоянии, либо захватывается различными типами дефектов или неоднородностями кристаллической структуры. После 10 минут наводороживания в системе цирконий-водород появляются рефлексы соответствующие кубической фазе δ гидрида циркония. Последующее насыщение водородом приводит к росту интенсивности фазы δ гидрида циркония и снижению интенсивности α фазы циркония, что свидетельствует об активном образовании гидридов по всему анализируемому объему образца.



а б в

Рис. 1. Фазовые переходы в системе цирконий-водород с никелевым покрытием в процессе насыщения водородом при температурах а) 350, б) 450 и в) 550 °C

После 60 минут насыщения водородом дифракционные рефлексы, соответствующие α фазе циркония, исчезают. Дальнейшее гидрирование не приводит к существенному изменению дифракционной картины. Это связано со структурно-фазовым переходом δ гидрида циркония в ξ гидрид циркония близкий к стехиометрической формуле ZrH_2. Интенсивность рефлексов кубической фазы никеля в процессе насыщения водородом изменяется незначительно.

Исследование фазовых переходов в системе цирконий-водород с никелевым покрытием также проводилось в процессе наводороживания при температурах 450 °C и 550 °C при давлении в камере 1 атм. Результаты данного исследования представлены на рисунках 2.

Заключение. Исследовано взаимодействие водорода с циркониевым сплавом Zr1%Nb с нанесенным слоем никеля при газофазном гидрировании при температурах 350, 450 и 550 °C. Скорость поглощения водорода Zr1%Nb сплава увеличивается на порядок при повышении температуры. Фазовые переходы существенно влияли на скорость поглощения водорода при постоянной температуре. Исследования дифракции in-situ с использованием синхротронного излучения показали, что гидрирование сплава в температурном интервале 350-550 °C происходило по-разному. При температуре 350 ° C гидрирование приводит только к фазовому переходу α-циркония к δ-гидриду цирконию, тогда как при 450 и 550 °C процесс протекает с образованием метастабильной тетрагональной фазы гидрида циркония с последующим переходом в кубический гидрид циркония. Кроме того, время жизни метастабильной фазы уменьшалось с увеличением температуры гидрирования примерно от 30 минут при 450 °C до нескольких минут при 550 °C. Дальнейшее гидрирование сплава не меняет фазовый состав. Однако, δ-гидрид циркония имеет тенденцию к стехиометрическому ZrH2, что наблюдается сдвигом отражений до более низких углов дифракции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Steuwer A., Santisteban J. R., Preuss M., Peel M. J., Buslaps T., Harada M. Evidence of stress-induced hydrogen ordering in zirconium hydrides /A. Steuwer, J. R. Santisteban, M. Preuss, M. J. Peel, T. Buslaps, M. Harada // Acta Materialia. – 2009. – V. 57. – №. 1. – P. 145-152.
2. Кудияров В.Н., Пушилина Н.С., Лидер А.М., Тимченко Н.А. Особенности накопления и распределения водорода при насыщении титанового сплава ВТ1-0 электролитическим методом и из газовой среды /В.Н. Кудияров, Н.С. Пушилина, А.М. Лидер, Н.А. Тимченко// Журнал технической физики. – 2014. – Т. 84. – №. 9. – С. 117-121

ТОНКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ B_4C-Ni-P

В.А. Безрукова, Е.Е. Корниенко
Новосибирский государственный технический университет
E-mail: vikabezrukova1995@mail.ru

Введение

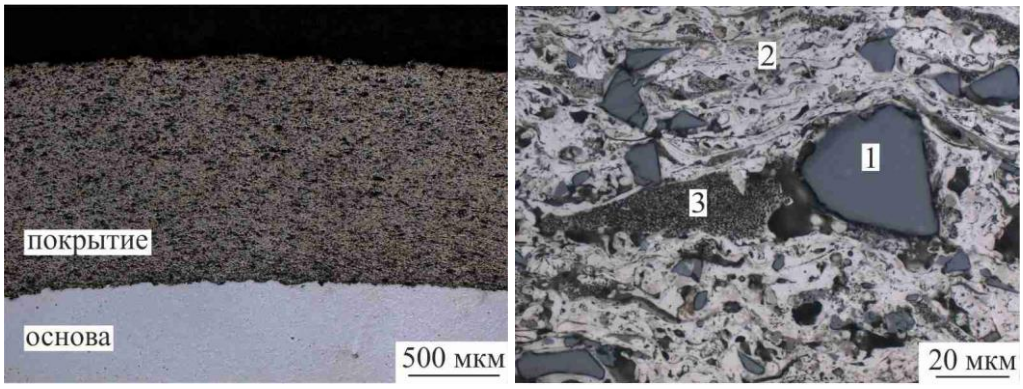
Актуальной проблемой современного материаловедения является разработка износостойких материалов. Одним из наиболее перспективных материалов является карбид бора (B_4C). Интерес к данному материалу обусловлен комплексом его уникальных свойств: высокой микротвердостью (30...48 ГПа) и износостойкостью, низкой плотностью (2,51...2,55 г/см^3), а также высокой коррозионной стойкостью [1]. Наряду с указанными достоинствами карбид бора обладает такими недостатками, как отсутствие пластичности, что значительно усложняет механическую обработку объемных изделий из B_4C. Решением данной проблемы является нанесение покрытий. Это позволяет не только сформировать качественные износостойкие покрытия, но и значительно продлить срок службы изделия за счет восстановления изношенных поверхностей. Стоит отметить, что качественное покрытие из карбида бора возможно сформировать только при наличии пластичной связки (Ni, Co, Al, Ti). Наиболее простым и экономичным способом нанесения покрытий является воздушное плазменное напыление [2]. Известно, что сверхвысокие скорости охлаждения позволяют зафиксировать аморфные и нанокристаллические структуры в покрытиях. Вероятность формирования аморфной структуры возрастает при добавлении элементов-металлоидов (B, C, P). Стоит отметить, что подобных исследований в литературе ограниченное количество. Таким образом, целью настоящей работы является исследование структуры плазменных покрытий из B_4C-Ni-P на различных масштабных уровнях.

В качестве напыляемого материала использовали порошок B_4C, плакированный 30 мас. % Ni. В качестве основного материала использовали трубы из стали 20 диаметром 25 мм и толщиной стенки 3 мм. Напыление проводили в ИТПМ СО РАН на установке плазменного напыления «Термоплазма 50-01» с использованием технологии распределенного кольцевого ввода порошка в плазменную струю. В качестве плазмообразующего и транспортирующего газов использовали воздух, в качестве защитного – смесь воздуха и пропан-бутана. Режимы напыления: ток дуги – 180 А, напряжение – 180 В. Дистанция напыления – 170 мм.

Результаты и обсуждения

На рисунке 1(а) видно, что плазменные покрытия имеют толщину ~ 1200 мкм. Покрытия состоят из темных частиц, распределенных в металлической матрице (рисунок 1 (б)), а также участков с эвтектической структурой, расположенных вокруг темных частиц. Рентгенофазовым анализом было установлено, что основными фазами покрытий являются B_4C, Ni, бориды никеля (Ni_4B_3, Ni_3B, NiB) и оксиды бора и никеля (B_2O_3, NiO, Ni_2O_3). Результаты микрорентгеноспектрального анализа показали, что частицы 1 на рисунке 1 (б) имеют в своем составе бор и углерод, а металлическая матрица (2 на рисунке 1 (б)) и эвтектические участки (3 на рисунке 1 (б)) – никель, бор и фосфор. Полученные данные позволяют сделать следующий вывод: частицы 1 на рисунке 1 (б) – частицы B_4C, металлическая матрица представляет собой бориды никеля.

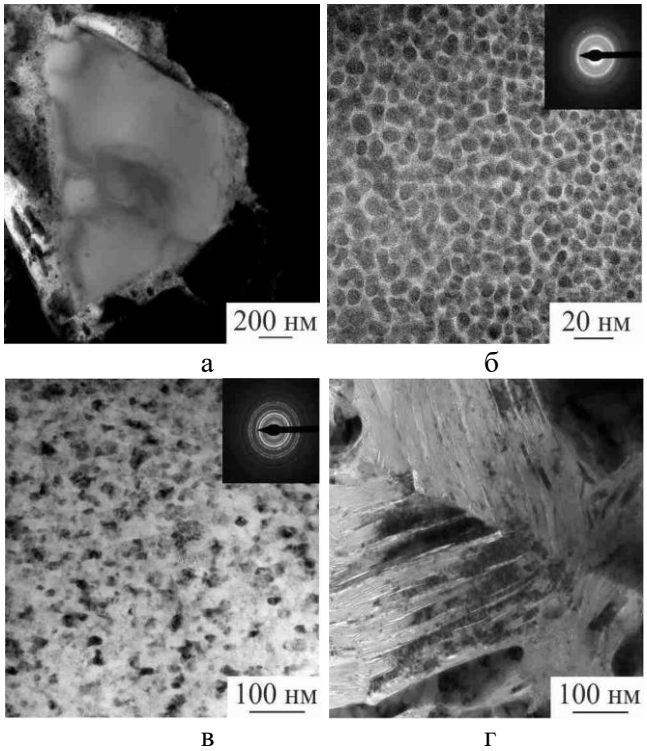
Исследования тонкой структуры покрытий проводили с использованием метода просвечивающей электронной микроскопии. Было обнаружено наличие переходной зоны шириной 500 нм вокруг частиц карбида бора (рисунок 2 (а)), что свидетельствует о высоком уровне когезии между частицами карбида бора и матрицей. Материал переходной зоны характеризуется аморфно-кристаллической структурой (рисунок 2 (б)), о чем свидетельствует полученная картина микродифракции: диффузное кольцо говорит о наличии аморфной составляющей, а отдельные рефлексы – о нанокристаллической.



а б

Рис. 1. Оптическая микроскопия: а) композиция «основной металл - покрытие»; б) микроструктура покрытий. 1 – частицы карбида бора; 2 – металлическая матрица; 3 – эвтектические участки

Металлическая матрица характеризуется наличием участков с нанокристаллической (рисунок 2 (в)), а также столбчатой структурой (рисунок 2 (г)). Образование пакетов столбчатых кристаллов шириной до 20 нм связано с высокими степенями деформации напыляемых частиц при соударении с затвердевшим материалом.



а б

в г

Рис. 2. Просвечивающая электронная микроскопия: а) частицы карбида бора и переходная зона; б) аморфно-кристаллическая структура переходной зоны; в) нанокристаллическая структура металлической матрицы; г) столбчатые кристаллы

Список литературы:

1. Рисованый В. Д., Захаров А. В., Клочков Е. П., Гусева Т. М. Бор в ядерной технике. - Димитровград: ОАО «ГНЦ НИИАР», 2011. - 668 с.
2. Zhengping Mao, Jing Ma, Jun Wang, Baode Sun. Comparison of the coatings deposited using Ti and B_4C powder by reactive plasma spraying in air and low pressure // J Mater Sci. - 2009. - Vol. 44. - P. 3265-3272.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРЕВА ЧАСТИЦ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА ПРИ НАНЕСЕНИИ ПЛАЗМЕННЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

В.И. Богданович, М.Г. Гиорбелидзе
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва
Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34, 443086
E-mail: bogdanovich@ssau.ru; m.giorbelidze@ssau.ru

Для защиты и придания ответственным изделиям машиностроения необходимых свойств широкое распространение получил плазменный газотермический метод нанесения покрытий. Как показывает практический опыт [1-5], благодаря возможности использования широкой номенклатуры порошковых материалов и высокой технологичности метода, плазменные покрытия способны обеспечить высокую термостойкость, жаростойкость, эффективную защиту против высокотемпературной газовой коррозии, каплеударной эрозии материала и интенсивного износа контактирующих поверхностей. Однако, для того чтобы полностью использовать потенциальные свойства применяемых материалов необходимо разработать технологические режимы нанесения, учитывающие влияние основных физических процессов на качество и структуру получаемого покрытия. Одним из основополагающих при формировании плазменных покрытий является тепловой фактор [1,4,5,8-10], включающий нагрев и плавление частиц напыляемого материала в плазменном потоке.

Решение задачи нагрева и проплавления частиц порошкового материала является важной частью технологии, позволяющей управлять микроструктурой и свойствами формируемого покрытия. Данная задача относится к так называемой проблеме Стефана и из-за своей сложности имеет только приближенные решения, среди которых самым известным является решение Л.С. Лейбензона [6,7], которое активно используется и в настоящее время.

В работе представлена математическая модель нагрева частиц порошкового материала в газовом потоке при нанесении плазменных газотермических покрытий. Учитывалось, что при движении в плазме частица нагревается за счет механизмов конвективного теплообмена и теплообмена излучением. Для обеспечения точности и корректности расчета выделены две характерные области: ядро, в котором температура, плотность, вязкость плазмы и другие параметры считаются постоянными, а также область от ядра до напыляемой поверхности, в которой данные параметры являются функциями от координаты плазменного потока. В качестве допущений принято, что форма частиц близка к шарообразной, а тепловой поток действует на поверхность частицы равномерно. Особое внимание уделено корректному выбору значения критерия Bi, что позволило упростить решение и свести его к обыкновенному дифференциальному уравнению первого порядка, получаемому из уравнения баланса тепла в частице.

В работе представлено решение задачи, полученное методом дифференциальных рядов, которое показало, что используемые классические приближенные решения дают хорошее приближение только для начальной стадии плавления. В связи с этим, погрешности в определении полного времени расплавления частицы могут достигать сотен процентов.

Получено точное аналитическое решение для полного времени расплавления частицы при постоянной температуре, что соответствует участку ядра плазменного потока:

$$Fo_m = St(2 + Bi_p) \Big/ \left[6Bi_p(\theta'_Г - 1) \right],$$

где $Bi = \dfrac{\alpha R}{\lambda}$ – критерий Био; α – коэффициент конвективного теплообмена, λ – коэффициент теплопроводности; R – радиус частицы; $\theta'_Г = \dfrac{T_Г}{T_m}$; T_m – температура плавления материала частицы; $T_Г$ – температура газа в плазменном потоке; $St = \dfrac{L}{c_p T_m}$ – критерий Стефана; L – скрытая теплота фазового перехода материала из твердой в жидкую фазу; c – удельная теплоемкость; индекс «р» в параметрах означает, что они отнесены к материалу в расплавленном состоянии.

В области за ядром плазменного потока из-за нелинейности задача нагрева частицы решалась в численной конечно-разностном виде.

Результаты численного моделирования определения температуры нагрева и степени проплавления напыляемых частиц различного диаметра показали, что в зависимости от режимов и грануляции напыляемого порошка термическое состояние частиц различного диаметра отличается существенно, что, несомненно, оказывает решающее влияние на формирование слоистой структуры плазменного газотермического покрытия. На основе результатов моделирования предложены рекомендации по назначению режимов нанесения покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барвинок В.А. Плазма в технологии, надежность, ресурс. – М.: Наука и технологии, 2005. – 456 с.
2. Бобров Г.В., Ильин А.А., Спектор В.С. Теория и технология формирования неорганических покрытий. – М.: Альфа-М, 2016. – 928 с.
3. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления. – М.: Издательство МГТУ, 2003. – 458 с.
4. Ильющенко А.Ф., Шевцов А.И., Оковитый В.А., Громыко Г.Ф. Процессы формирования газотермических покрытий и их моделирование. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 357 с.
5. Барвинок В.А., Богданович В.И., Докукина И.А. Математическое моделирование и физика процессов нанесения плазменных покрытий из композиционных плакированных порошков. – М.: Международный центр НТИ, 1998. – 96 с.
6. Карташев Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. – М.: Высшая школа, 2001. – 550 с.
7. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600с.
8. Joshi S.V. Plasma spraying of Wc-Co part I. Theoretical investigation of particle heating and acceleration during spraying // Journal of Thermal Spray Technology. – 1993. – Vol. 2. – P. 127-131.
9. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical simulation of surface heating during plasma spraying // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 177, Issue 1. – P. 1-7, article number 012057.
10. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Metallographic Study of Mesostructure-Ordered Plasma Ceramic Coatings // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 743. – P. 118-123.

КОНСОЛИДАЦИЯ КУБИЧЕСКОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

О.А. Болотникова
Научный руководитель: к.т.н. А.Я. Пак
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: bolotnikovaoa@gmail.com

В мире современных материалов керамике принадлежит значительная роль, обусловленная широким диапазоном ее разнообразных физических и химических свойств. Интерес к конструкционной и функциональной керамике вызван возможностью получения новых материалов с требуемыми свойствами. По сравнению с металлами керамика обладает более высокими механическими характеристиками, высокой коррозионной стойкостью и устойчивостью к радиационным воздействиям, что обуславливает долговечность керамических конструкций в агрессивных средах. С 70-х годов прошлого столетия происходит значительное улучшение параметров керамики. Это происходит за счет усовершенствования микроструктуры керамики, повышения термостойкости, разработки новых керамических композиций, улучшения качества поверхности за счет удаления трещин, дефектов и остаточных напряжений.

SiC керамика обладает большим потенциалом для широкого использования в качестве носителей катализатора, теплообменников, фильтров для горячих газов и расплавов металлов, применения в установках для сжигания газов, в качестве конструкционного материала для высокотемпературных устройств. Для различных применений требуется как высокоплотная керамика без пор, так и пористые материалы. В последнем случае материал должен обладать заданным размером пор и распределением в объеме. Пористая SiC керамика вызывает интерес благодаря ее высоким параметрам – низкому коэффициенту теплового расширения, высокой теплопроводности, и высоким механическим характеристикам [1].

Использование различных методов консолидации и синтеза исходного порошкового сырья приводят к различным свойствам керамики. Свободное спекание является наиболее простой технологией спекания, заключающейся в нагреве порошкового материала (или предварительно спрессованного брикета) в муфельных печах. Недостатком данной технологии является отсутствие возможности приложения давления в процессе спекания, в результате чего спеченный материал обладает остаточной пористостью [2]. Плазменное искровое спекание является одним из перспективных методов консолидации керамических материалов. В нашей работе был использован метод искрового плазменного спекания при следующих параметрах: максимальная температура спекания 1800 °С, давление – 60 МПа. В качестве исходного сырья использовали карбид кремния SiC (99,5), полученного в плазме дугового разряда постоянного тока согласно разрабатываемой в Томском политехническом университете метода [3]. Плотность полученного образца составила около 2,1 г/см^3, что составляет около 65% от плотности монокристаллического образца. Низкая плотность может объясняться наличием пор в спеченном образце ввиду наличия агломератов частиц в исходном порошке и неоптимальными условиями спекания для данного сырья. Микроскопия поверхности керамического образца подтверждает наличие значительного количества пор (рис. 1).

Результаты, полученные в данной работе, могут быть использованы при получении материалов на основе карбида кремния методом плазменно-искрового спекания. С помощью имеющихся данных можно найти оптимальные параметры процесса спекания для получения тех или иных свойств, изменяя в дальнейшем давление и температуру спекания, а также подвергая исходные реагенты обработке (к примеру, механоактивации, согласно известным методикам). Дальнейшие исследования будут проводиться в области спекания образов керамики при различных параметрах, а также анализа их физико-механических свойств.

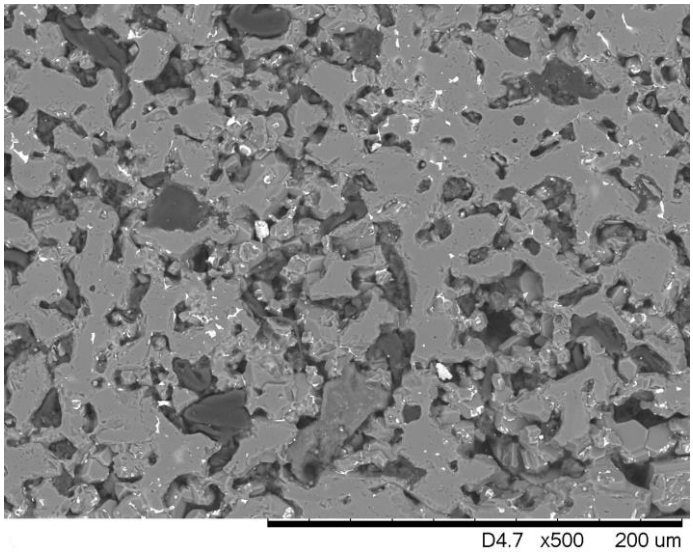


Рис. 1. Микроскопия поверхности спеченного керамического образца

По совокупности представленных данных можно судить об успешном получении керамического образца карбида кремния из порошкового прекурсора, синтезированного в плазме электрической дуги постоянного тока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карбид кремния: технология, свойства, применение / Агеев О.А., Беляев А.Е, Болтовец Н.С., Киселев В.С., Конакова Р.В., Лебедев А.А., Миленин В.В., Охрименко О.Б., Поляков В.В., Светличный А.М., Чередниченко Д.И. / Под общей редакцией член-корр. НАНУ, д.ф.-м.н. проф. Беляева А.Е. и д.т.н., проф. Конаковой Р.В. – Харьков: «ИСМА». 2010. – 532 с.
2. Болдин М.С. Физические основы технологии электромпульсного плазменного спекания: учеб.-метод. пособие / Нижегород. гос. ун-т. – Нижний Новгород, 2012. – 59 с.
3. Болотникова О. А. , Пак А. Я. Получение ультрадисперсных мате- риалов на основе графита в плазме дуги постоянного тока // Тинчуринские чтения: материалы докладов XII Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 26-28 Апреля 2017. - Казань: КГЭУ, 2017 - Т. 1 - С. 257-258.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРУНДОВОЙ И МУЛЛИТО-КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ

Ван Дакунь, Ван Ифань, С.В. Матренин
Научный руководитель: доцент, к.т.н. С.В. Матренин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: msv@tpu.ru

Введение

Оксид алюминия является одним из перспективных керамических материалов для широкого спектра конструкционных и трибологических применений благодаря сочетанию высокой твердости, термостойкости, химической инертности, с одной стороны, и доступности – с другой [1]. Керамики на основе Al_2O_3, полученные с использованием традиционных технологий порошковой металлургии, во многих случаях имеют неоднородную крупнозернистую структуру. Это приводит к низким значениям твердости и трещиностойкости, высокой чувствительности к абразивному износу, ограничивающей применение данных керамик в качестве материалов пар трения, работающих при повышенных нагрузках [2, 3].

В связи с этим встает задача повышения эксплуатационных характеристик керамик за счет создания композиционной структуры путем добавления в порошок Al_2O_3 порошков керамик с более высокими прочностными характеристиками (SiO_2, TiO_2, MgO) и оптимизации режимов компактирования, обеспечивающих получение плотной, однородной и мелкозернистой структуры [4].

Эксперимент

Основной кристаллической фазой муллитовой и муллито-корундовой керамики являются муллит $3Al_2O_3$-$2SiO_2$ и корунд α-Al_2O_3. Эти керамические материалы называют высокоглиноземистой керамикой. Добавочное количество оксида алюминия вводят обычно с глиноземом или электрокорундом. Таким образом, высокоглиноземистая керамика включает составы с содержанием Al_2O_3 от 45 до 100%.

Отжиг смесей при 1450°С проводили при в электрическсой печи сопротивления в воздушной атмосфере,для получения α-Al_2O_3. С целью получения порошковых шихт заданных составов, улучшения технологических их характеристик и повышения активности отожженные порошки и добавки обрабатывали в энергонапряженной планетарной шаровой мельнице «Активатор 2SL» в течение 20 минут при частоте вращения размольных сосудов 20 Гц.

Пластифицированные порошки формовали методом одноосного прессования в стальной пресс-форме, давление прессования составляло 300 МПа. Полученные прессовки представляли собой цилиндры диаметром 25±0,01 мм и высотой 5±0,01 мм. Спекание прессовок проводили в высокотемпературной печи сопротивления при температуре 1700℃.

Индентирование осуществляли с помощью прибора Nano Indenter G200. В качестве индентора использовали пирамиду Берковича, нагрузка составляла 500 мН (50 г). Конструкция прибора позволяет выводить диаграмму внедрения индентора на монитор в режиме реального времени. Первичные данные – нагрузка и глубина внедрения пирамиды. По диаграмме внедрения прибор автоматически рассчитывал модуль упругости E_{IT} и микротвердость H_{IT} в соответствии со стандартом ISO 14577.

С помощью прибора Nano Indenter G 200 определяли модуль упругости E_{IT}, твердость H_{IT} и прочность $\sigma_в$ спеченной керамики по методике «Scratch Testing». Суть метода заключается в нанесении на исследуемую поверхность царапины заданной длины (200 мкм) под действием линейно возрастающей нагрузки (от 0 до 4 г), последующем определении глубины и ширины профиля. Прочность образцов рассчитывалась по формулам:

$$\sigma = \frac{F_n}{A_s sin\alpha} \text{ и } A_s = \frac{a^2}{2\sqrt{3}sin\alpha} + \frac{ah}{cos\alpha},$$

где Fn – нормальная нагрузка, As – проекционная площадь отпечатка от пирамиды Берковича, a и h – ширина и глубина профиля царапины на дистанции 200 мкм соответственно, α - угол, для пирамиды Берковича равный 65°.

Трещиностойкость спеченных образцов определяли с помощью метода отпечатков, её значения рассчитывали по формулам:

$$K_{Ic}=0.16HV\cdot a^{1/2}\cdot(c/a)^{-3/2}\ [МПа*м^{1/2}],$$
$$HV=1.8544\cdot(p/d^2)$$

В таблице 1 приведены физико-механические характеристики спеченных образцов, определенных по методике наноиндентирования.

Таблица 1 - Физико-механические свойства спеченной керамики

Состав, мас. %	E_{IT}, МПа	H_{IT}, МПа	σ, МПа	K_{ic}, МПа*м$^{1/2}$
99,6% Al_2O_3 – 0,4% MgO	422217	19870	18	6,1
98,6% Al_2O_3 – 0,4% MgO – 1% TiO_2	400126	23286	272	3,4
97,6% Al_2O_3 – 0,4% MgO – 2% TiO_2	440494	22658	78	-
95,6% Al_2O_3 – 0,4% MgO – 4% TiO_2	178267	9913	38	3,7
94,6 % Al_2O_3 – 0,4% MgO – 5% SiO_2	427240	17495	480	7,9
89,6 % Al_2O_3 – 0,4% MgO – 10% SiO_2	292791	19992	48	-

Заключение

1. Добавление 5 % по массе SiO_2 к Al_2O_3 реализует механизм жидкофазного спекания керамики, что приводит к повышению ее плотности и прочности до 480 МПа (табличное значение прочности при изгибе высокоплотной корундовой керамики не превышает 400 МПа). Данный состав соответствует муллито-корундовой керамике.
2. Наименьшую пористость имели спеченные образцы составов 98,6% Al_2O_3 – 0,4% MgO – 1% TiO_2 и 94,6 % Al_2O_3 – 0,4% MgO – 5% SiO_2. Эти данные коррелируют с результатами определения плотности, твердости и прочности спеченных образцов.
3. Наибольшую трещиностойкость имел образец №5, со составами: 94,6 % Al_2O_3 – 0,4% MgO – 5% SiO_2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матренин С.В., Слосман А.И. Техническая керамика: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.–75 с.
2. Briegleb F., Geuther A. – Libigs Ann., 1962, 123,238.
3. Смирнов А.И. Конструкционная керамика // Итоги науки и техники ВИНИТИ. Сер. Порошковая металлургия. – 1990. – С. 64–106.
4. Лукин Е.С., Макаров Н.А. и др. Прочная и особопрочная керамика на основе оксида алюминия и частично стабилизированного диоксида циркония // Стекло и керамика. – 2003. – № 9. – С. 32–34.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Ван Ифань, Ван Дакунь, С.В. Матренин
Научный руководитель: доцент, к.т.н. С.В. Матренин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: msv@tpu.ru

Введение

Керамика на основе диоксида циркония является весьма перспективным конструкционным и функциональным материалом [1,2]. Наиболее распространенными методами получения прочной циркониевой керамики являются методы порошковой технологии [3,4].

Целью работы являлось исследование закономерностей консолидирования керамики на основе диоксида циркония с различным содержанием оксидов алюминия и иттрия и изучение физико-механических свойств спеченной керамики.

Эксперимент

В качестве исходных компонентов использовались промышленный нанокристаллические оксидные порошки (НП) Al_2O_3 - ZrO_2 - Y_2O_3, полученные методом плазмохимического синтеза.

Порошки обрабатывали в планетарной шаровой мельницей «Активатор 2SL» Обработанные порошки пластифицировали водным раствором карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) из расчета: 5 мас. % КМЦ – 95 % порошка. Пластифицированные порошки формовали методом статического одноосного прессования, прессовки спекали в высокотемпературной печи сопротивления при температуре 1700ºС.

С помощью прибора Nano Indenter G 200 определяли модуль упругости E_{IT}, твердость H_{IT} и прочность $\sigma_в$ спеченной керамики по методике «Scratch Testing». Суть метода заключается в нанесении на исследуемую поверхность царапины заданной длины (200 мкм) под действием линейно возрастающей нагрузки (от 0 до 4 г), последующем определении глубины и ширины профиля. Прочность образцов рассчитывалась по формулам:

$$\sigma=\frac{F_n}{A_s sin\alpha} \text{ и } A_s=\frac{a^2}{2\sqrt{3}sin\alpha}+\frac{ah}{cos\alpha},$$

где Fn – нормальная нагрузка, As – проекционная площадь отпечатка от пирамиды Берковича, a и h – ширина и глубина профиля царапины на дистанции 200 мкм соответственно, α - угол, для пирамиды Берковича равный 65°.

Трещиностойкость спеченных образцов определяли с помощью метода отпечатков (рис. 1.), её значения рассчитывали по формулам:

$$K_{Ic}=0.16HV\cdot a^{1/2}\cdot(c/a)^{-3/2}\ [МПа*м^{1/2}],$$
$$HV=1.8544\cdot(p/d^2).$$

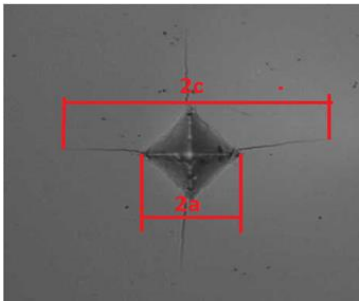


Рис.1. Отпечаток индентора Виккерса на полированной поверхности образца диоксида циркония

В таблице 1 приведены физико-механические характеристики спеченных образцов, определенных по методике наноиндентирования.

Таблица 1 - Физико-механические свойства спеченной керамики

№	Состав, мас. %	E_{IT}, ГПа	H_{IT}, ГПа	$\sigma_в$, МПа	K_{Ic}, МПа·м$^{1/2}$
1	76,1% Al_2O_3– 21,8% ZrO_2– 2,1% Y_2O_3	356,0	18,5	71	5,6
2	31,7% Al_2O_3 – 62,2% ZrO_2– 6,1% Y_2O_3	329,2	22,1	193	5,2
3	16,6% Al_2O_3 – 76% ZrO_2– 7,4% Y_2O_3	439,2	24,3	274	9,47
4	92,9% ZrO_2– 7,1% Y_2O_3	230,8	14,9	93	11,59

Видно, что значения модуля нормальной упругости твердости керамики на основе корунда в целом соответствуют табличным (19-21 ГПа), в то время, как разброс значений прочности, определенной по методике царапания значителен. В целом, следует отметить, что методика скрэч-тестирования требует весьма качественную подготовку поверхности образцов. При этом они должны иметь минимальную остаточную пористость.

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Из образцов керамической системы Al_2O_3 – ZrO_2 – Y_2O_3 исследованных составов повышенную плотность после спекания имел образец заэвтектического состава 76,1% Al_2O_3 – 21,8% ZrO_2 – 2,1% Y_2O_3.
2. Наибольшую плотность имел образец № 4 состава 92,9% ZrO_2 – 7,1% Y_2O_3. Данный состав соответствует частично-стабилизированному диоксиду циркония.
3. Из исследованных составов керамической системы Al_2O_3 – ZrO_2 – Y_2O_3 наиболее высокий уровень физико-механических свойств имела композиция заэвтектического состава 16,6% Al_2O_3 – 76% ZrO_2 – 7,4% Y_2O_3. В данной композиции одновременно реализованы два механизма упрочнения: трансформационное упрочнение за счет *t-m* – перехода в ZrO_2 (перехода тетрагональной модификации в моноклинную) [5] и дисперсное упрочнение высокомодульными частицами α- Al_2O_3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинович Д.Ф., Кузнецова Л.И., Денисенко Э.Т. Диоксид циркония: свойства и применение // Порошковая металлургия.-1987.-№1.-с. 98-102.
2. Шевченко А.В., Рубан Ф.К., Дудник Е.В. Высокотехнологичная керамика на основе диоксида циркония // Огнеупоры и техниче- ская керамика. – 2000. – № 9. – С. 2 – 8.
3. Балкевич В. Л. Техническая керамика: Учеб. пособие для втузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
4. Матренин С.В, Слосман А.И. // Техническая керамика: Учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 80 с.
5. M. Dehestani, E. Adolfsson. Phase stability and mechanical properties of zirconia and zirconia composites // Appl. Ceram. Technol. 2013. V. 10, № 1. P. 129-141.

ДУГОВОЙ СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР В ЖИДКОЙ ФАЗЕ

М.Т. Габдуллин[1], Х.А. Абдуллин[1], А.П. Ильин[2], Д.В. Щур[3], Д.В. Исмаилов[1],
Д.С. Керимбеков[1], М.Н. Султангазина[1]
Научный руководитель: доктор PhD, М.Т. Габдуллин
[1]Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа при КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан
[2]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, ИФВТ, КОХХТ, г. Томск, Россия
[3]Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, г. Киев, Украина
E-mail: ismailov_daniyar_v@bk.ru

Наночастицы – частицы, физические размеры которых лежат в диапазоне от 10 до 100 нм. Они имеют ряд необычных свойств: повышенная адсорбция, каталитическая активность, оптические характеристики и т.д. Поэтому нанопорошки находят широкое применение в различных областях промышленности, энергетике и медицине.

На сегодняшний день существуют большое количество методов синтеза различных наноматериалов: газофазный метод получения нанопорошков, основанный на нагреве и испарении массивного материала, с дальнейшей конденсацией на подложке в потоке несущего газа [1], метод импульсно-дугового испарения, способ получения нанопорошков в высокочастотном индукционном плазмотроне [2], метод электрического взрыва проводников [3] и т. д. Это обусловлено разнообразием состава и свойств наноматериалов, что позволяет расширить виды веществ и создать новые образцы композитных материалов, сплавов, металлов и их химических соединений.

В данной работе изучен метод синтеза нано- и микропорошков в дуговом разряде в водной среде. На рисунке 1 представлены принципиальная схема электродуговой установки в жидкой фазе и фотография самой установки.

Дуговой разряд в жидкой фазе является удобным методом для получения различных наноструктур. Этот метод обладает рядом преимуществ: он не требует использования вредных газов, требуется несложное оборудование, поскольку не требуется вакуумное оборудование или дорогие лазеры. Предложенный метод, используемый в данной работе дает, возможность получения многих видов материалов при варьировании условий их синтеза. Этот метод позволяет изменять химический состав, как электродов, так и среды, в которой проводится синтез. [4]

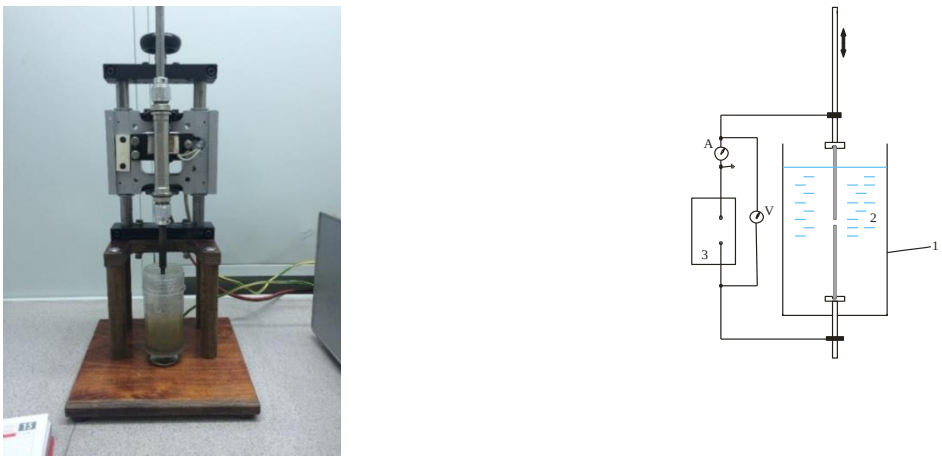
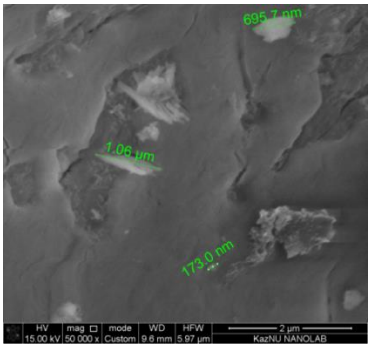


Рис. 1. Фотография электродуговой установки в жидкой фазе и ее структурная схема - 1– сосуд реакционной зоны, 2 – рабочая жидкостная среда, 3 – источник переменного тока

Синтез нанопорошков медного купороса осуществляли в этиловом спирте с использованием сконструированной установки. Напряжение между электродами было выбрано 78 В. Полученный раствор с сажевым продуктом фильтровали и высушивали для дальнейших исследований с использованием аналитических установок. Размеры частиц определяли при помощи сканирующего электронного микроскопа. Результаты экспериментов показали, что размеры частиц варьируются от 173нм до 1мкм (рис.2а).



а)

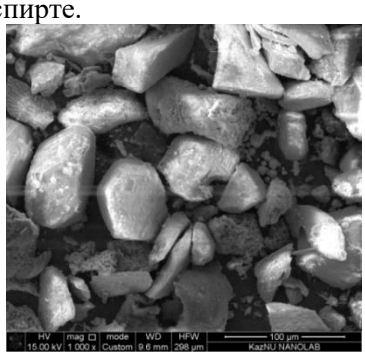
Element	Wt%	At%
CK	75.51	85.79
OK	13.13	11.20
SK	2.26	0.96
CaK	0.77	0.26
CuK	8.34	1.79
Matrix	Correction	ZAF

б)

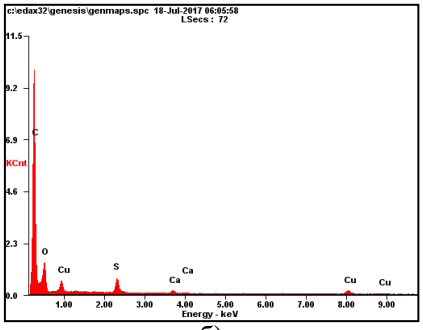
Рис. 2. а) микрофотография микроструктуры синтезированных веществ, б) состав восстановленных веществ в атомных соотношениях

Элементный анализ показал, что полученный наноматериал состоит из пяти компонентов (углерод, кислород, сера, кальций, медь). Атомное соотношение каждого вещества показано на рисунке 2б.

На рисунке 3 представлены микрофотографии электронной микроскопии (SEM) и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS) при напряжении 78 В, полученные в этиловом спирте.



а)



б)

Рис. 3. а) микрофотография полученного материала, б) элементный состав материала, полученный с помощью энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии

Результаты СЭМ снимков показали, что морфология поверхности представляет из себя частиц размерами порядка более700 мк, а элементный состав показал, что пресудствует медь. На данный момент отрабатываются режимы проведения синтеза, для того чтобы можно было регулировать выход продуктов по размерам и количественному составу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kurland H.-D., StotzelCh.,Grabow J., Zink I., Muller E., Staupendahl G., Muller F.A.//J.Amer. Ceramic Society. – 2010. – V.93.-№ 5. – P. 1282-1289.
2. Г.Н. Залогин, М. И. Зимина, А. В. Красильников, Н. Ф. Рудин, Д. Д. Титов ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» 141070 г. Королев, Моск. обл., Россия // Перспективные материалы. – 2011.- С.19.
3. А. П. Ильин, О.Б. Назаренко, Д.В. Тихонов, Г.В. Яблуновский // Известия Томского политехнического университета. – 2005.-Т.308.-№4
4. Габдуллин М.Т., Рамазанов Т.С., Абдуллин Х.А., Батрышев Д.Г., Исмаилов Д.В., Оразбаев С.А., Керимбеков Д.С., Матенова Ш. Синтез нанопорошков меди методом электродугового диспергирования в жидкой фазе // Сб. Трудов 8-ого Международного симпозиума «Физика и химия углеродных материалов/наноинженерия». 2014.С. 295-297.

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛОФУЛЛЕРЕНОВ МЕТОДОМ ДУГОВОГО СИНТЕЗА В ИНЕРТНОЙ СРЕДЕ

М.Т. Габдуллин[1], Д.В. Щур[2], Д.В. Исмаилов[1], Д.Г. Батрышев[3], Д.С.Керимбеков[3], Ж.Е. Аяганов[1]
Научный руководитель: доктор PhD, М.Т. Габдуллин
[1]Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа при КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан
[2]Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, г. Киев, Украина
[3]Лаборатория инженерного профиля при КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан
E-mail: ismailov_daniyar_v@bk.ru

Интерес к изучению металлофуллеренов обусловлен возможностью их широкого применения в различных областях науки и техники. Металлофуллерены имеют специфические электронные свойства и являются предметом интереса IT-индустрии как возможные кандидаты на материалы для устройств хранения данных наномасштаба. Исследование свойств этих систем стимулировало наблюдение сверхпроводимости в кристаллах C60 с примесями щелочных металлов [1]. Металлофуллерены могут быть синтезированы обычно двумя способами, подобно синтезу пустых фуллеренов, которые заключаются в формировании углерод-насыщенного пара или плазмы в атмосфере гелия или аргона. На сегодняшний день чаще всего применяют два метода для получения макроскопических количеств металлофуллеренов: высокотемпературное лазерное испарение или метод «лазерной печи» и метод электродугового разряда на постоянном токе. В этих методах одновременно формируется смесь пустых фуллеренов (C_{60}, C_{70}, C_{76}, C_{84} и т.д.) с металлофуллеренами. Производство металлофуллеренов требует последующих процессов экстракции из сажи и сепарации/очистки металлофуллеренов от пустых фуллеренов[1-4].

Применяя метод электрической дуги, можно испарять 1) графитовый стержень, предварительно пропитанный раствором, содержащим ионы металлов или 2) полый графитовый стержень с требуемым металлом или оксидом металла.

В нашей лаборатории были синтезированы металлофуллерены методом электродугового разряда. Процедура подготовки графитового электрода с металлическим наполнением проводилась следующим образом: первоначально брался целый графитовый стержень диаметром 6 мм, далее просверливалось отверстие диаметром 2,5 мм вдоль его оси, затем вводился кусочки лантановой пластинки путем прессования для его заполнения, как видно из рисунка 1.



Рис. 1. Этап подготовки композитного электрода для синтеза металлофуллеренов

Далее полученный электрод помещался в камеру реактора, в котором проводили плазмохимический синтез в атмосфере гелия известным методом дугового распыления. После проведения синтеза, продукты реакции извлекались из камеры – это депозит и сажа, которые изображены на рисунке 2.



Рис. 2. Депозит и сажа сформировавшиеся на композитном электроде графит/Al в результате дугового разряда

На следующем этапе полученный сажевый продукт растворяют в бензоле или толуоле в течение суток. Полученный раствор подвергают фильтрации. Очевидно, что слабовзаимодействующие молекулы обладали меньшим временем задержки на фильтре и поэтому проходили сквозь него в первую очередь.

Идентификация сепарированных фуллеренов качественно оценивается по цвету. Различные фуллерены определялись по цвету их раствора в различных растворителях. Например, в толуоле C_{60} дает пурпурный или фиолетовый раствор, в то время как C_{70} окрашивает раствор в красновато-оранжевый цвет [2]. В нашем случае, в результате растворения и фильтрации получалась прозрачная жидкость. В нашей работе был применен упрощенный метод «drip-and-dry». Для точного количественного анализа полученный после фильтрации раствор фуллеренов в толуоле наносился на кремниевые и стеклянные подложки и подвергался сушке при комнатной температуре. Кроме того, для изучения элементного анализа данные кристаллы были изучены методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX). Однако, важно отметить, что для точной идентификации эндоэдральных металлофуллеренов требуется более тщательный анализ, в частности, применение жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии.

Данная работа была поддержана Комитетом науки МОН РК в рамках программы ПЦФ 0265/2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.F. Hebard, M.J. Rosseinsky, R.C. Haddon, D.W. Murphy, S.H. Glarum, T.T.M. Paltsra, A.P. Ramirez, A.R. Kortan. Nature .350, 660.
2. Lu X., Echegoyen L., Balch A.L., Nagase S., Akasaka T. Endohedral Metallofullerenes: Basics and Applications. CRC Press, 2014. P.281.
3. Amer M.S. Raman Spectroscopy, Fullerenes and Nanotechnology. - Royal Society of Chemistry, 2010. P. 287.
4. Liu H., Li Y., Jiang L., Luo H., Xiao S., Fang H., Li H., Zhu D., Yu D., Xu J. and Xiang B. Imaging As-Grown [60]Fullerene Nanotubes by Template Technique // Journal of the American Chemical Society. 2002. Vol. 124.P. 13370–13371.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОШКА TINI, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОРИСТО-ПРОНИЦАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.С. Гарин, С.Г. Аникеев, Н.В. Артюхова, В.Н. Ходоренко
Научный руководитель: к. ф.-м. н. С.Г. Аникеев
Национальный Исследовательский Томский Государственный Университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: Stik-020@mail.ru

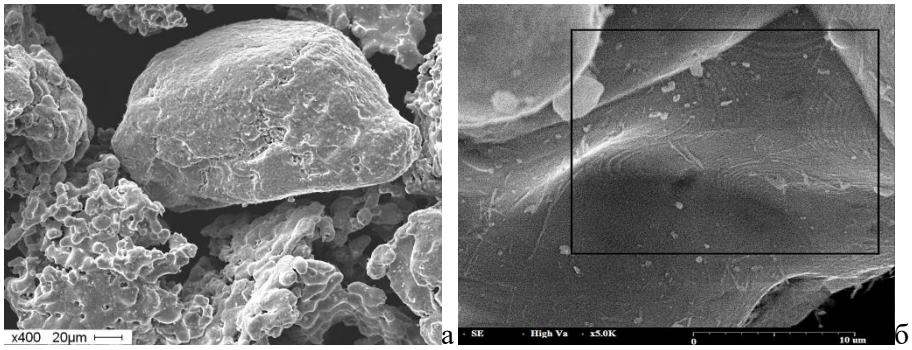
Методами порошковой металлургии получают биосовместимые имплантируемые конструкции на основе пористого никелида титана для использования в ортопедии, стоматологии, челюстно-лицевой хирургии [1 ,2]. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) и спекание являются наиболее эффективными способами получения пористо-проницаемых материалов на основе никелида титана с регулируемыми структурными и физико-механическими параметрами. Преимуществом метода спекания порошка никелида титана является получение материала с более гомогенной пористой структурой в сравнении с методом СВС [3]. Кроме того спекание порошка TiNi позволяет получать пористый материал с повышенной величиной удельной поверхности металлической матрицы за счет создания террасовидных структур, что повышает адгезионные свойства пористо-проницаемых имплантатов при взаимодействии с клеточными популяциями организма человека [2]. Особый интерес в этой связи представляет исследование морфологических и структурных особенностей исходного порошка TiNi, так как используемый порошок определяет структурные и физико-механические свойства спеченного сплава на основе никелида титана. Целью данной работы является определение морфологических параметров порошка никелида титана.

В работе представлены структурные исследования порошка никелида титана марки ПВ–Н55Т45 (ПАО «Тулачермет», г. Тула), полученного методом гидридно-кальциевого восстановления. Для изучения макро- и микроструктуры порошка готовили шлифы путем его помещения в полимерный состав. Шлифовку образцов производили на шлифовальном станке с наждачной бумагой (Р493, Р600, Р3000). Для выявления структуры поверхность образцов обрабатывали в водном растворе азотной и плавиковой кислот (2 части HNO_3, 1 часть HF и 3 части H_2O). Контроль состояния поверхности в процессе шлифовки и металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Axiovert–40 MAT с дифференциальной интерференционно-контрастной (ДИК) системой. Морфологические особенности поверхности порошка изучали методами растровой электронной микроскопии с использованием системы с электронным и сфокусированным ионным пучками Quanta 3D. Концентрационный состав фаз определяли с помощью интегрированного энергодисперсионного микроанализатора EDAX ECON IV.

В основе получения интерметаллида TiNi методом гидридно-кальциевого восстановления лежит реакция: $TiO_2+Ni+2CaH_2 \rightarrow TiNi+2CaO+2H_2\uparrow$. Температура и время выдержки, гранулометрический состав исходных порошков определяют фазовый состав получаемого порошка TiNi [3]. Выдержка при температуре 1100–1150 ^{O}C в течение 8 ч требуется для получения однородного соединения TiNi в двухфазном состоянии B2 и B19′. В процессе восстановительной реакции диоксида титана расплавом гидрида кальция при температурах 900–1200 ^{O}C происходит синтез интерметаллида никелида титана, который можно разделить на несколько этапов согласно диаграмме состояния системы Ti–Ni. Процесс синтеза порошка TiNi начинается по механизму твердожидкого взаимодействия восстановленного Ti и Ni с появлением наиболее легкоплавкой эвтектики Ti_2Ni при температуре 942 ^{O}C. Причем синтез интерметаллида проходит на крупных частицах восстановленного титана, вследствие преимущественной диффузии никеля в титан [4]. Результатом такой диффузии становится образование продукта реакции, который состоит из тонкой прослойки – Ti_2Ni, более массивной – TiNi, и граничащей с никелевой частицей фазой $TiNi_3$. Дальнейшее повышение температуры приводит к гомогенизации получаемого сплава по фазовому составу, вследствие интенсификации процессов диффузии в расплаве кальция.

Установлено, что порошок на основе никелида титана имеет двойную морфологию – компактную и губчатую (рис. 1, а). Размер частиц порошка лежит в интервале 100–140 мкм, средний размер частиц порошка – 60 мкм. Губчатое строение частиц порошка наследуется от исходных порошков диоксида

титана. Компактная форма приобретается при механической обработке готового интерметаллида никелида титана. Исследование шлифов порошка TiNi показало, что частицы порошка имеют характерное внутреннее строение с множественными структурными элементами на основе выделений вторичных фаз.



а б

Рис. 1. Морфологическое строение порошка TiNi: а – компактная и губчатая типы частиц; б – террасовидная структура поверхности губчатой частицы порошка TiNi

На поверхности некоторых губчатых частиц порошка обнаружен слабовыраженный террассовидный рельеф (рис 1, б). Согласно модели «терасс–ступеней–изломов» (TLK), формирование рельефа осуществляется посредством присоединения адатомов к поверхностям излома, которые находятся на поверхности любого кристалла, вследствие термических флуктуаций атомов. Объемная диффузия атомов, поверхностная диффузия адатомов и их взаимодействие с дефектами подложки (изломы, ступени, границы зерен, дислокации, двойники, вторичные включения) при кристаллизации расплава приводят к появлению террасовидного рельефа. Необходимо отметить, что ограниченная температура синтеза до 1200 ^{O}C при производстве порошка интерметаллида TiNi недостаточна для интенсификации процессов диффузии с целью получения развитой шероховатой поверхности частиц порошка. Контуры террас располагаются в местах свободных от частиц вторичных фаз и огибают их, меняя направление распространения. Установленные морфологические особенности террасовидного рельефа порошка TiNi обеспечат условия для создания развитой шероховатой поверхности порового пространства материала, что определяет его высокую биосовместимость.

Таким образом, в результате проведенного исследования показано, что порошок на основе никелида титана имеет двойную морфологию. Частицы порошка имеют сложную микроструктуру с множеством фазовых выделений, обогащенных как по титану, так и по никелю. На поверхности губчатых частиц зафиксирован слабовыраженный террасовидный рельеф, который является результатом действия процессов поверхностной и объемной диффузии при синтезе порошка никелида титана методом гидридно-кальциевого восстановления.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-10123).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы / Под ред. В. Э. Гюнтера. – Томск: Изд-во «МИЦ», 2011. – Т. 1. – 534 с.
2. Anikeev S.G. et al. Fabrication and Study of Double Sintered TiNi-Based Porous Alloys // Smart Materials and Structures. – 2017. – Vol. 26. – № 5.
3. Касимцев А. В и др.. Фазовые и структурные превращения при получении порошков интерметаллидов // Порошковая металлургия и функциональные покрытия. Известия вузов. – 2009. – № 3. – С. 5–12.
4. Artyukhova N. V. Shape-memory effect in porous alloys obtained by the reaction sintering of the Ti-Ni system // Russian journal of non-ferrous metals. – 2013. – Vol. 54. – № 2. – P. 178–185.

ТРАВЛЕНИЕ СТАЛЕЙ РАСТВОРОМ С ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

Е.Ю. Головина
Научный руководитель: доцент, к.х.н, Г.В Лямина
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 2 ст1.
E-mail: katerina_14.10@mail.ru

Использование жидких травителей позволяет удалять окисленные слои с поверхности металла и уменьшать шероховатость. Однако, зачастую, они приводят к увеличению скорости коррозии металлической детали за счет увеличения дефектов на поверхности. Эту проблему можно решить, добавляя в состав раствора водорастворимые полимеры [1].

Цель данной работы – разработка травителя для анизотропной стали, позволяющего снизить скорость травления и создать на поверхности металла тонкую защитную пленку. Для этого был использован раствор соляной и азотной кислот с добавлением различных количеств полиэтиленгликоля (ПЭГ).

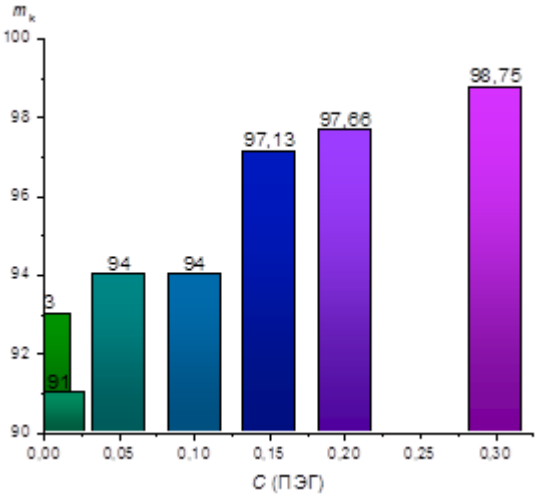


Рис. 1. Гистограмма изменения массы образцов в конце процесса травления

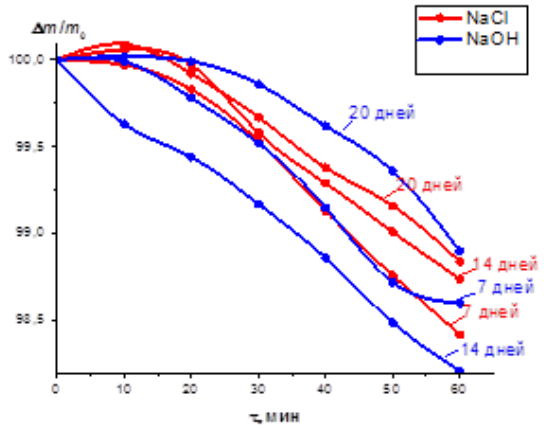


Рис. 2. Кривые травления в растворе травителя с добавлением ПЭГ 0,3 моль/л стали, выдержанной в NaOH и NaCl

Влияние концентрации ПЭГ можно оценить по рис.1, где отражено изменение массы образцов в конце процесса травления[2]. При малых концентрациях ПЭГ до 0,1 моль/л зависимость не столь явная. Начиная с концентрации 0,15 моль/л закономерность четко прослеживается: скорость травления уменьшается при увеличении концентрации полимера в растворе.

Травитель был опробован для модельных образцов, подвергшихся коррозии в различных электролитах. На рис 3 (а–в) изображена сталь, подвергшаяся искусственной коррозии в растворе NaCl7, 14 и 20 дней. Видно, что в течение 7 дней на поверхности стали появились язвы и сформировался оксид железа, через 20 дней язвы становятся большего диаметра.

По сравнению с хлоридом натрия, сталь корродирует слабее в гидроксиде натрия. Вид поверхности образцов стали, выдержанных в гидроксиде натрия в течение 7, 14 дней сходен, лишь на 20 день появляются небольшие дефекты на поверхности.

Модельные образцы, подвергшиеся искусственной коррозии, были протравлены в растворе соляной и азотной кислот с содержанием ПЭГ 0,3 моль/л. На рис.2 отражено изменение массы анизотропной стали от времени травления. Как видно из графика, все образцы стали плавно теряют массу. На образцах, находившихся в NaCl 14, 20 дней и NaOH 20 дней в первые 10 минут, наблюдается прирост массы. Очевидно, что это формирование окисленных форм металла.

На рис.3 (г–е) изображена сталь подвергшаяся травлению после выдержки в хлориде натрия. Видно, что после травления язвы продуктов коррозии уже не наблюдается и поверхность стала менее дефектной.

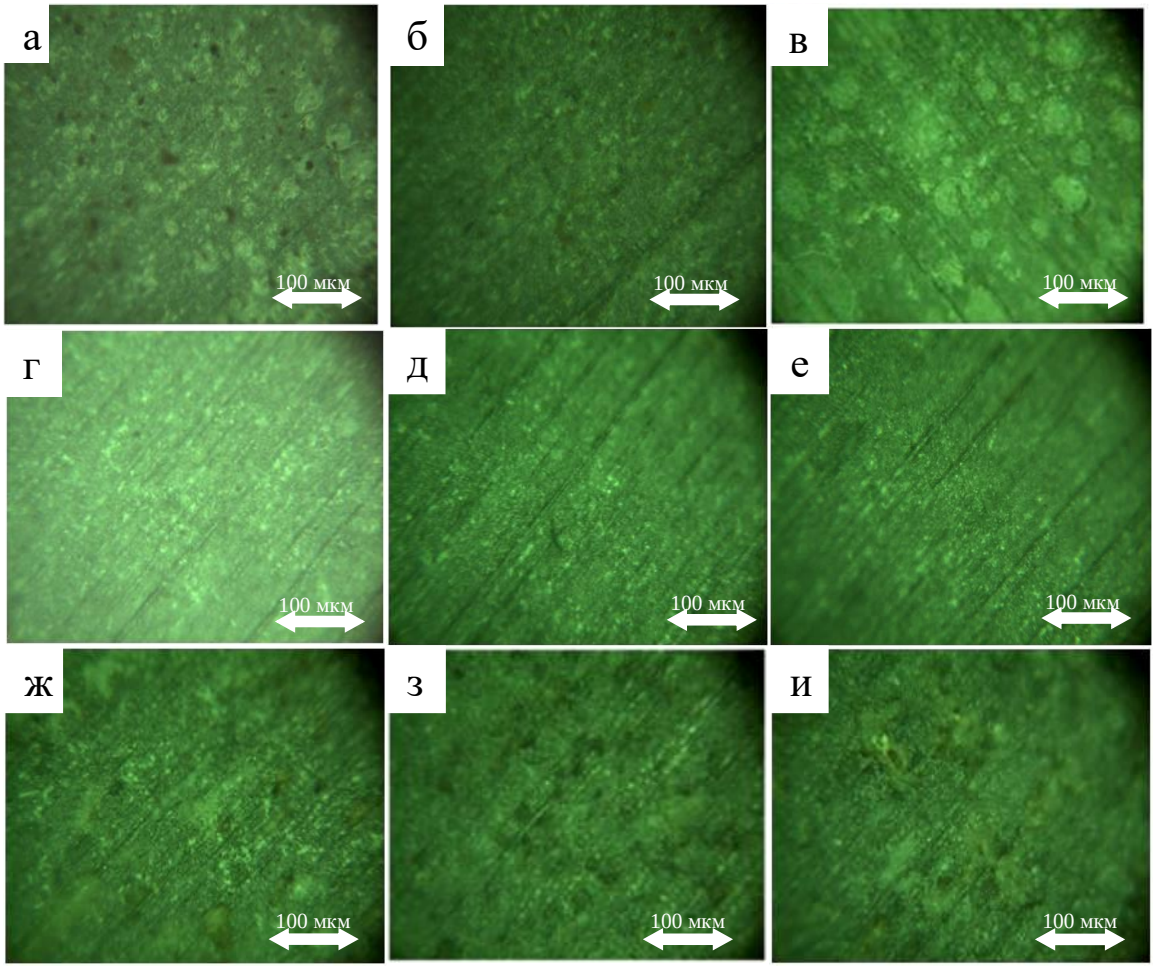


Рис. 3. Оптические изображения стали в процессе коррозии вратворе NaCl (а, б, в); после выдержки в растворе NaOH (ж, з, и) и NaCl(г, д, е) и травления в растворе с ПЭГ: 7дней (а, г, ж), 14 дней (б, д, з) и 20 дней (в, е, и)

На рис. 3 (ж–и) изображены фотографии стали, подвергшейся травлению, после выдержки в NaOH. Поверхность недостаточно очистилась, на всех образцах наблюдаются продукты коррозии, язвы по - прежнему находятся на поверхности.

Модельные образцы проверяли на устойчивость к атмосферной коррозии. Показано, что образцы, протравленные в растворе с полиэтиленгликолем, более устойчивы к атмосферной коррозии. Предлагаемый травитель готовится из дешевого и доступного сырья и позволит существенно сократить производственные издержки на предприятиях, использующих растворы кислот для обработки металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jezowski P., Nowicki M., Grzeszkowiak M., Czajka R., Beguin F.. Chemical etching of stainless steel 301 for improving performance of electrochemical capacitors in aqueous electrolyte//Journal of Power Sources № 279. - 2015. – P. 555-562
2. Лямина Г.В, Вайтулевич Е.А., Божко И.А., Панина А.А.. Методы диагностики эксплуатационных свойств материалов: учебное пособие Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 106 с.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОСАЖДЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК

А.С. Гренадёров[1], К.В. Оскомов[1], С.В. Работкин[1], А.А. Соловьёв[1,2], В.С. Сыпченко[2]
Научный руководитель: зав. лаб., к.т.н. А.А. Соловьёв
[1]Институт сильноточной электроники СО РАН,
Россия, г. Томск, пр-т Академический 2/3, 634055
[2]Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: 1711Sasha@mail.ru

На сегодняшний день актуальным является поиск универсального покрытия, используемого для защиты от повреждений и просветления оптических элементов и ИК-систем, работающих, в частности, в агрессивных средах. Большую популярность приобрели алмазоподобные (DLC) покрытия, обладающие такими достоинствами как высокая твердость, прозрачность и химическая стойкость. Серьезный недостаток DLC пленок заключается в свойственных им высоких остаточных (внутренних) напряжениях (> 6 ГПа), что способствует деградации (разрушению) покрытия и выходу из строя рабочего элемента [3-9]. Для минимизации остаточных напряжений целесообразно использовать отжиг при высокой температуре (>400ºС), но не все подложки могут быть подвергнуты такой обработке. Кремний-углеродные (a-C:H:Si:O) пленки имеют низкие внутренние напряжения (< 1 ГПа), не подвержены графитизации и при этом обладают всеми достоинствами DLC [7, 8].

В данной работе исследовано влияние таких параметров осаждения, как рабочее давление аргона и амплитуда биполярного напряжения смещения подложки на механические и оптические свойства кремний-углеродных пленок. Осаждение пленок проводилось в плазме несамостоятельного дугового разряда с накалённым катодом в парах кремнийорганической жидкости [10] на подложки из монокристаллического кремния и стекла. Установлено, что увеличение рабочего давления аргона в вакуумной камере от $2 \cdot 10^{-2}$ Па до $2.5 \cdot 10^{-1}$ Па приводит к повышению прозрачности кремний-углеродных пленок с 70 до 90 %, увеличению их коэффициента преломления с 1,7 до 2,1, а также повышению твердости и модуля упругости пленок с 3 до 9 ГПа и с 35 до 80 ГПа, соответственно. Показано, что увеличение амплитуды биполярного напряжения смещения от 100 до 1300 В способствует увеличению твердости пленок с 3 до 14 ГПа и их коэффициента преломления с 1,9 до 2,45, а также снижению прозрачности пленок (на длине волны 550 нм) с 80 до 10 %.

Кроме этого, морфология полученных кремний-углеродных пленок исследовалась с помощью атомно-силовой микроскопии, а отношение атомов углерода с sp3 и sp2-гибридизаций атомных орбиталей в пленке определялось посредством спектроскопии комбинационного рассеяния света.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mansaro R.D., Ruas R., Mousinho A.P. et al Use of Diamond-like Carbon with Tungsten (W-DLC) films as Biocompatible materials // Surface & Coatings Technology. – 2008. – V. 202. – P. 2813-2816.
2. Yan-Yu Liao, Wei-Bo Liao, Cheng-Chung Jaing et al Optical Properties of Transparent Diamond-like Carbon Thin Films // Optical Interference Coatings. – 2016. – P. 3.
3. Paul R., Bhattacharyya S., Bhar R., Pal A. Modulating of Residual Stress in Diamond-like Carbon Films with Incorporation of Nanocrystalline Gold // Applied Surface Science. – 2011. – V. 257. – P. 10451-10458.
4. Yue W., Gao X., Wang C. et al Microstructure and Friction Reducing Performance of Sulfurized W Doped Diamond-like Carbon Film // Materials Letters. – 2012. – V. 73. – P. 202-205.
5. Veverkova J., Hainworth S. Effect of Temperature and Counterface on the Tribological Performance of W-DLC on a Steel Substrate // Wear. – 2008. – V. 264. – P. 518-525.
6. Mangolini F., Rose F., Hilbert J. et al Thermally induced evolution of hydrogenated amorphous carbon // Applied Physics Letters. – 2013. – V. 103. – P. 161605-1 – 161605-5.

7. Choi H. W., Moon M.-W., Kim T.-Y. et al The Thermal Annealing Effect on The Residual Stress and Mechanical Property in the Compressive Stressed DLC Film // Materials Science Forum. – 2005. – V. 475-479. – P. 3619-3622.
8. Randeniya L.K., Bendavis A., Martin P.J. et al Molecular structure of SiOx-incorporated diamond-like carbon films; evidence for phase segregation // Diamond & Related Materials. – 2009. – V. 18. – P. 1167-1173.
9. Damasceno J.C., Camargo S.S. Plasma Deposition and Characterization of Silicon oxide-containing Diamond-like carbon films obtained from CH4:SiH4:O2 gas mixtures // Thin Solid Films. – 2008. – V. 516. – P. 1890-1897.
10. Гренадёров А.С., Оскомов К.В., Соловьёв А.А., Работкин С.В. Осаждение кремний-углеродных покрытий из плазмы несамостоятельного дугового разряда с накальным катодом // Журнал технической физики. – 2016. – Т. 86. – Вып. 5. – С. 51-56.

О ВЗАИМОСВЯЗИ 3D ТОПОГРАФИЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОДЛОЖКИ И ПОВЕРХНОСТИ ОЛОВЯННОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МАССАХ ПОКРЫТИЯ

Е.В. Губарев, Д.О.Беглецов, А.В. Папшев, Н.Г. Гофман
Научный руководитель: профессор, к. ф.-м. н. В.К. Белов
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова
НИЦ “Микротопография" МГТУ Россия, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. 455000
ПАО «ММК» г. Магнитогорск, ул. Кирова, 93. 455000
E-mail: john_g@mail.ru

Нанесение толстых оловянных покрытий производятся методом горячего лужения с массами покрытий трёх классов: [I -(23.0-25.0; II -(28.0-33.6); III -(33.5-39.5)] г/м^2 [1]. Данный вид жести в настоящее время меньше востребован по сравнению с жестью белой электролитического лужения, которая имеет значительно более тонкие покрытия с массами от 0.7 до 11.2 г/м^2, а значит имеет более низкую стоимость.

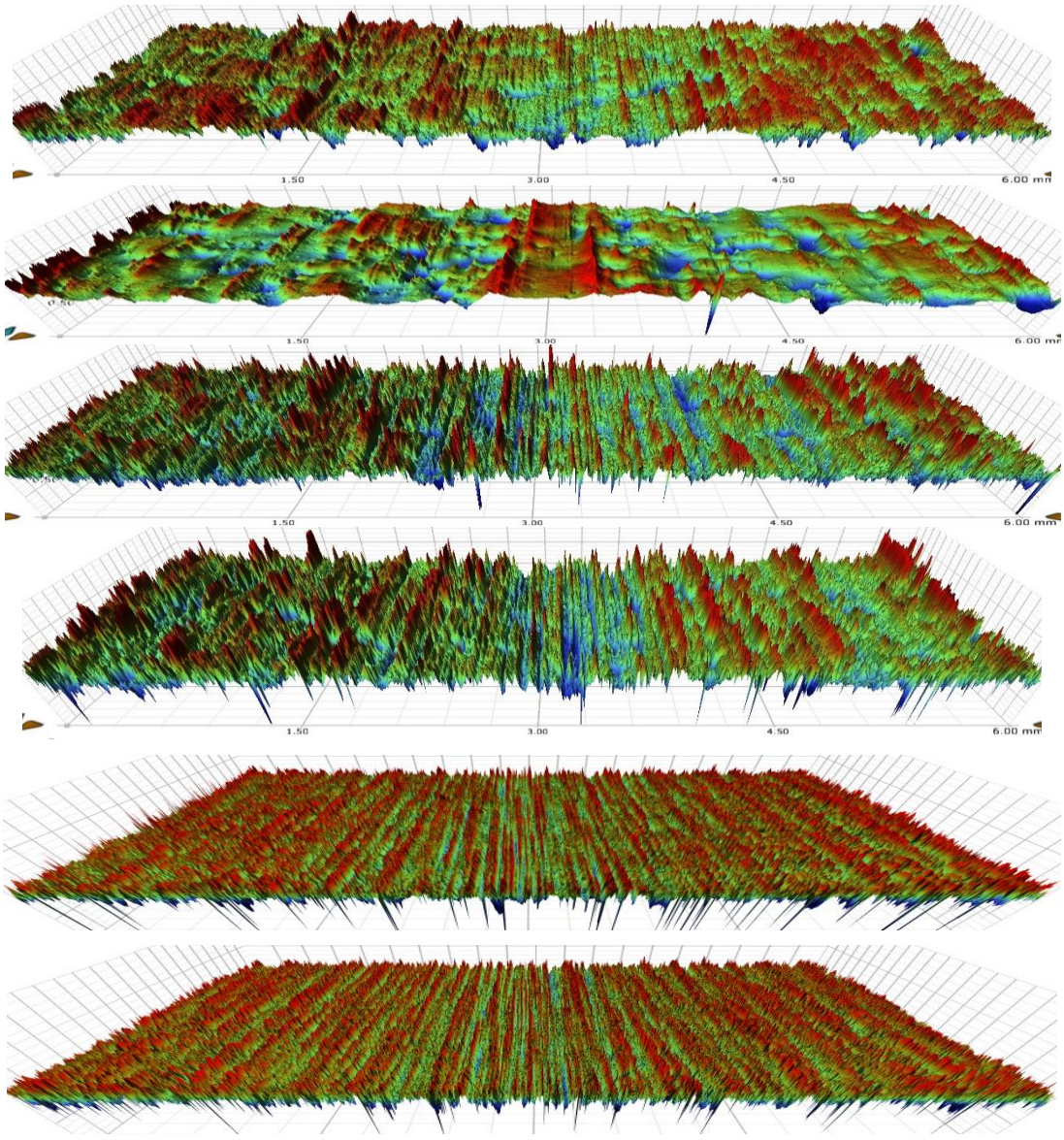


Рис.1 Микротопографии поверхности:
a) до и после горячего лужения второй группы поверхности (A1, A2);
b) до и после горячего лужения первой группы поверхности (B1, B2);
c) после электролитического лужения и после стравливания покрытия (C1, C2)

Основное назначение оловянного покрытия - защита металла от коррозии. Но также важен внешний вид покрытия, микротопография его поверхности, регламентируемая как группа отделки поверхности: полированная, шлифованная, насечённая, матовая и другие виды отделки. Вид покрытия необходимо учитывать при изготовлении деталей автомобилей, мебели, корпусов бытовых приборов и т.д. [2,3]. Здесь малоизученным является вопрос о влиянии подложки покрытия на микротопографию поверхности лужённой жести [4].

Первая серия образцов использовалась для сравнения микротопография поверхности перед и после горячего лужения на агрегате ПАО ММК.

Вторая серия образцов определялась при различных технологиях электролитического лужения на агрегатах ПАО ММК. На этих образцах определялись: 1) параметры микротопографии образцов до стравливания электролитического покрытия; 2) после стравливания; 3) масса покрытия, определялась стандартным способом [1]. Области поверхности, где производились изменения фиксировались методом кернения.

Измерения микротопографии поверхности производилось на оптическом профилометре Contour GT K1 (Bruker) по стандартам [5,6]. На рис.1 приведены фрагменты микротопографии таких поверхностей.

При получении толстых оловянных покрытий (2 класса) методом горячего лужения микротопография поверхности покрытия становиться более ровной и однородной: высотные параметры шероховатости (Sa, Sq) уменьшаются, число пиков Sds значительно уменьшается, объём пустот шероховатого слоя Vvc уменьшается (см. рис.1a)

При создании методом горячего лужения более тонких оловянных покрытий (1 класса) параметры (Sa, Sq) незначительно увеличиваются, число пиков Sds незначительно уменьшается, объём пустот Vvc незначительно увеличивается. Эти процессы объясняются тем, что частички олова осаждаются более эффективно на вершинах неровностей (см.рис.1b).

По 3D амплитудным, шаговым и объёмным параметрам микротопография электролужённого покрытия повторяет микротопографию подложки при массе покрытия в пределах до 3.42 г/м^2 при технологиях, используемых на ПАО "ММК" (см.рис.1c).

Данную информацию необходимо учитывать при изготовлении деталей из жести с оловянным покрытием с улучшенным внешним видом поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 52204-2004 Жесть холоднокатаная черная и белая.
2. Белов В.К. Требования к микротопографии поверхности листовой продукции и возможности металлургической промышленности – прошлое, настоящее, будущее. Часть 1. Требования заказчика и возможности технологии в настоящее время. 2D параметры микротопографии // Бюллетень «Черная металлургия» №7. С. 51 –59.
3. Белов В.К. Требования к микротопографии поверхности листовой продукции и возможности металлургической промышленности – прошлое, настоящее, будущее. Часть 2. 3D параметры микротопографии их связь с эксплуатационными свойствами листа. Новые разрабатываемые 3Д параметры микротопографии поверхности и перспективы их использования// Бюллетень «Черная металлургия» 2015. №8. С.73 – 81. С. 73 – 81.
4. Гнусин Н.П., Коварский Н.Я. Шероховатость электроосаждённых поверхностей, Новосибирск: Наука, 1970, 234с.
5. ANSI/ASME B46.1 (2009) Surface texture, surface roughness, waviness and lay. American National Standards Institute, Washington
6. ISO 25178-2 2012 Geometrical product specification (GPS)—surface texture: areal—International Organization for Standardization

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ДЕФОРМАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

А.Е. Гулин
Научный руководитель: доцент, к.т.н. М.А. Полякова
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова
Россия, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, 455000
E-mail: walter_chel@mail.ru

Развитие техники и технологий требует поиска новых решений для получения металлоизделий с повышенными эксплуатационными свойствами. Особую важность приобретают вопросы обеспечения стабильности структуры и свойств материалов, масштабирование обрабатываемых заготовок, расширение номенклатуры обрабатываемых материалов. Базовые методы обработки металлов давлением (прокатка, прессование, волочение, гибка и другие) в большинстве случаев исчерпали свои возможности по деформационно-скоростным режимам, поэтому в настоящее время на первый план выходят так называемые комбинированные или совмещенные процессы, что позволяет устранить или в значительной степени нивелировать недостатки, присущие какой-либо одной схеме обработки, и объединить преимущества базовых методов, обеспечивая получение продукции с новым комплексом свойств [1-4].

Перспективным процессом комбинированной деформационной обработки является метод, разработанный на основе базовой операции волочения, суть которого заключается в последовательном деформационном воздействии кручением и изгибом на движущуюся между двумя волоками проволоку [5]. Технологическими параметрами разработанного способа являются величина обжатия в волоках, количество оборотов кручения, диаметр и расстояние между роликами изгибного устройства. Полученные результаты экспериментов свидетельствуют о том, что изменением режимов комбинированной деформационной обработки углеродистой проволоки одного химического состава можно получать различной сочетание прочностных и пластических свойств [6-9]. Следовательно, рациональная оценка эффективности комбинированной деформационной обработки с точки зрения интенсивности влияния ее режимов на изменение микроструктуры и механических свойств обрабатываемой проволоки является важной задачей.

На рисунке представлена функциональная блок-схема разработанного метода комбинированной деформационной обработки проволоки волочением с кручением и изгибом[10]. Функциональный блок входных переменных включает переменные, характеризующие показатели механических свойств проволоки в исходном состоянии. Управляющими переменными являются количество оборотов кручения, абсолютное обжатие в волоках, скорость волочения проволоки, исходный диаметр проволоки. Функциональный блок объекта управления включает параметры микроструктуры обрабатываемой стали. Функциональный блок выходных переменных включает показатели механических свойств стали после комбинированной деформационной обработки. Функциональный блок сравнения и оценки включает процедуру сравнения показателей механических свойств, полученных в результате комбинированной деформационной обработки, с заданными показателями механических свойств, необходимых по условиям эксплуатации или дальнейшей переработки проволоки. Критерии эффективности процесса включают множество целевых функций, характеризующих эффективность управления комбинированной деформационной обработкой.

Таким образом, разработанный методологический подход прогнозирования формирования структуры и механических свойств в ходе комбинированной деформационной обработки углеродистой проволоки может быть использован для решения как прямой, так и обратной задачи [11]. Решение прямой задачи заключается в прогнозировании параметров микроструктуры и уровня механических свойств проволоки после комбинированной обработке при известных начальных значениях параметров структуры и механических свойств и заданных технологических режимах процесса. При решении обратной задачи следует определить значения параметров микроструктуры и механических свойств в исходном состоянии, которые обеспечат необходимый уровень свойств углеродистой проволоки после комбинированного воздействия.

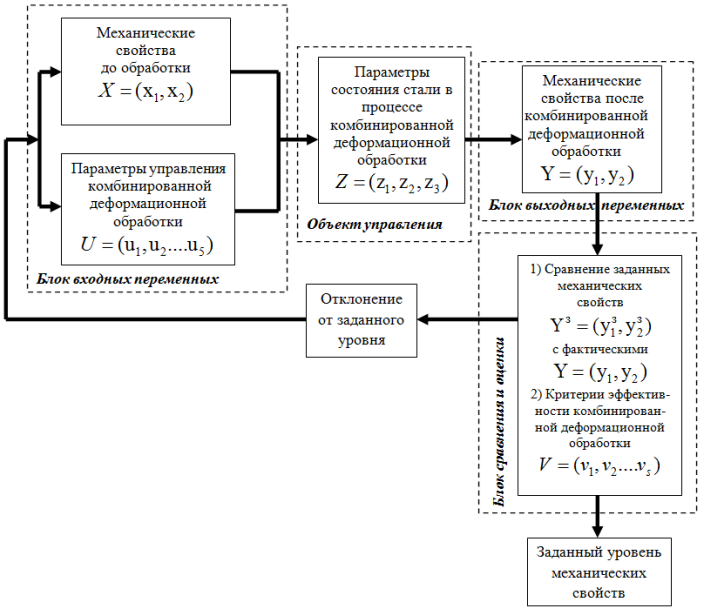


Рис. 1. Схема управления свойствами и структурой углеродистой проволоки в процессе комбинированной деформационной обработки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Загиров Н.Н. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов. - М: МАКС Пресс, 2005. - 344 с.
2. J. Jolda, C. Sjogren. Solutions to seven common problems in wire straightening. // WCTS. – 2001. – P. 57-61.
3. K. Muszka, L. Madej, J. Majta. The effects of deformation and microstructure inhomogeneities in the Accumulative Angular Drawing. // Materials Science & Engineering A. – 2013. – Vol. 574. – P. 68-74.
4. I. Saunders, J. Nutting. Defromation of metals to high strains using combination of torsion and compression. // Metal Science. – 1984. - Vol. 18. - Issue 12. – P. 571-575.
5. Пат. 2467816 RU. МПК B21C 1/04, B21C 1/00. Способ получения ультрамелкозернистых полуфабрикатов волочением с кручением. Чукин М.В., Полякова М.А., Голубчик Э.М., Рудаков В.П., Носков С.Е., Гулин А.Е. Заявл. 28.02.2011. Опубл. 27.11.2012. Бюл. № 33.
6. M. Polyakova, A. Gulin, D. Constantinov. Investigation of microstructure and mechanical properties of carbon steel wire after continuous method of deformational nanostructuring. //Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 436. – P. 114 – 120.
7. A. Gulin, M. Polyakova, E. Golubchik. Effect of Stress-Strain State During Combined Deformation on Microstructure Evolution of High Carbon Steel Wire. // Solid State Phenomena. – 2016. - Vol. 870. – P. 460-465.
8. M. Polyakova, I. Calliari, A. Gulin. Effect of microstructure and mechanical properties formation of medium carbon steel wire through continuous combined deformation. // Key Engineering Materials. – 2016. - Vol. 716. – P. 201-207.
9. M. Polyakova, E. Golubchik, Yu. Efimova, A. Gulin. Modern engineering techniques for designing materials with a specified set of properties. // Key Engineering Materials. - 2017. - Vol. 724. – P. 77-86.
10. Корчунов А.Г., Полякова М.А., Гулин А.Е. Оценка эффективности метода непрерывного деформационного наноструктурирования проволоки. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Металлургия. - 2013. - Том 13. - № 1. - С. 122 – 128.
11. Чукин М.В., Корчунов А.Г., Голубчик Э.М., Полякова М.А., Гулин А.Е. Анализ метода непрерывного деформационного наноструктурирования проволоки с использованием концепции технологического наследования. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2012. - № 4. - С. 61 – 65.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СТАЛИ 04Х14Н, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Ш. Дай[1], К. Чжан[1], Д. Кэ[1,2], Е.А. Даренская[1]
[1]Томский политехнический университет, Россия
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
[2]Шэньянский политехнический университет, Китай
Китай, г. Шэньян, 110168
E-mail: shuay1@tpu.ru

В настоящее время большое внимание уделяется развитию высоких технологий мало- и безотходных производств изделий. В первую очередь к ним относятся технологии, берущие начало от порошковой металлургии. Одним из недостатков таких технологий является пористость получаемых изделий, которая влияет на срок их службы [1, 2]. В данной работе исследованы образцы стали, полученные спеканием прессовок из порошковой смеси 04Х14Н. При формовании прессовок использовали разное давление прессования (255, 510 и 764 МПа) для оценки его влияния на пористость, плотность и структуру стали 04Х14Н.

В работе проведены металлографический анализ с помощью микроскопа ЛабоМет-1, определение микротвердости образца на микротвердомере ПМТ-3, определение пористости образца с помощью программы SIAMS.

Установлено, что увеличение давления прессования приводит к росту плотности прессовок и спеченных образцов и уменьшению пористости, табл. 1. Распределение пор во всех образцах равномерное, при этом размер пор при повышении давления прессования уменьшается, рис. 1.

Таблица 1 – Пористость образцов

Давление прессования, МПа	Плотность прессовок, г/см^3	Плотность после спекания, г/см^3	Пористость, %
255	5,38	6,98	8,00
510	5,94	7,09	7,32
764	6,25	7,22	5,60

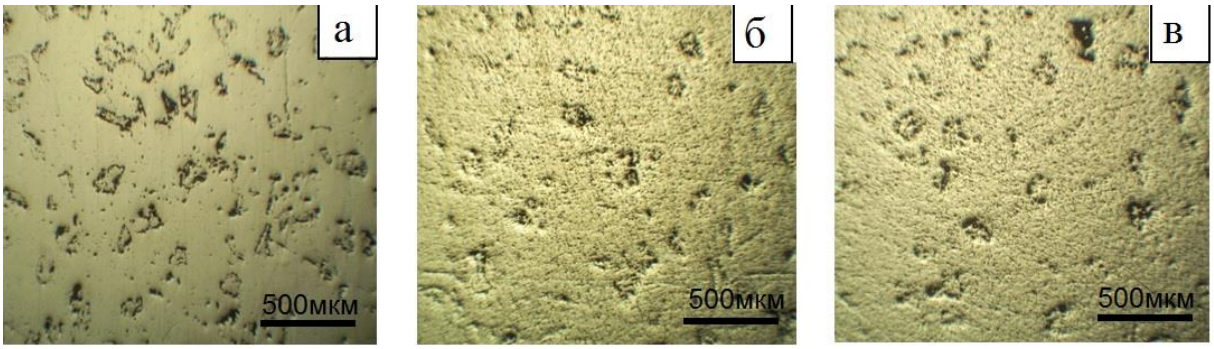


Рис. 1. Структуры поверхности нетравленых спеченных образцов:
а – давление прессования 255 МПа, б – 510 МПа, в – 764 МПа

Структуры спеченных образцов не зависят от давления прессования и имеют одинаковый вид, рис. 2. Структура представляет собой ферритные зёрна и зёрна с игольчатым строением (мартенсит), средний размер зёрен 116-118 мкм. Все образцы имеют близкие значения микротвёрдости – 1150±20 МПа.

Таким образом, мы исследовали структуру стали 04Х14Н, полученную методом порошковой металлургии, и показали, что давление прессования оказывает влияние на её плотность и пористость.

Повышение давления прессования в три раза привело к увеличению плотности стали на 3 % и снижению пористости на 30 %.

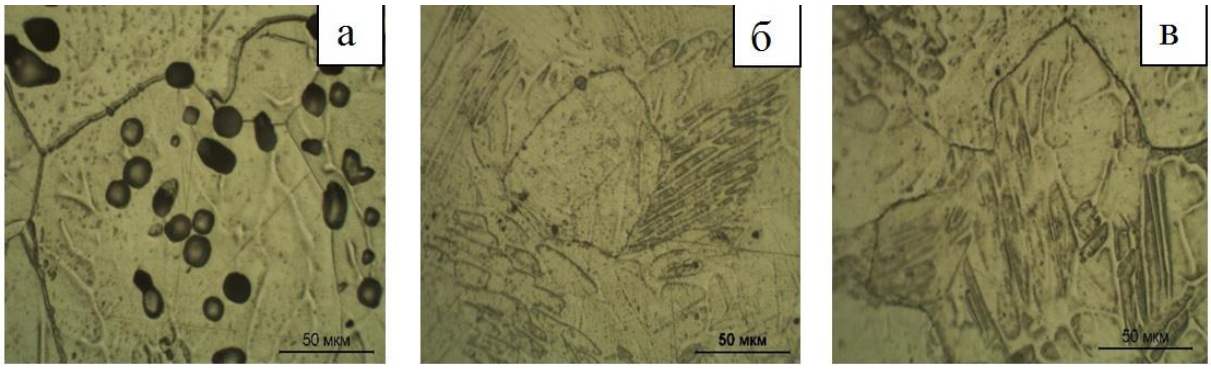


Рис. 2. Структура поверхности травленых спеченных образцов:
а – давление прессования 255 МПа, б – 510 МПа, в – 764 МПа

Список литературы

1. Сибилёв А.В., Мишин В.М. Влияние пористости порошковой стали на характеристики хладноломкости // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 3. – С. 72-72; URL: https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=31518 – 05.05.2017.
2. Калашникова О.Ю., Гуляев И.А., Довгань Е.И. Возможность снижения пористости сталей из частично-легированного железного порошка // Металлург. – 2004. – № 1. – С. 46-49.

ПОЛУЧЕНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ МАТРИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДИСПЕРСИОННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА МЕТОДОМ СВС

О.Ю. Долматов, Д.К. Колядко, С.С. Чурсин
Научный руководитель: к.ф.-м.н. О.Ю. Долматов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: chursinss@tpu.ru

Топливная проблема является одной из центральных для современного общества. В современном мире источником производства основного количества потребляемой энергии в мире служит органическое топливо: уголь, нефть и природный газ. По ресурсо-экономическим и экологическим соображениям это топливо требует замены новым более богатым по запасам и более экологичным в использовании. Известно несколько «нетрадиционных» источников энергии, основные из них: ядерная, термоядерная, солнечная и геотермальная энергия. В настоящее время альтернативой энергетике на органическом топливе, в промышленных масштабах, служит только атомная промышленность.

Однако для развития атомной энергетики необходимо решить большое количество научно-технических задач, одна из которых это применение новых видов ядерного топлива. Дисперсионное ядерное топливо обладает ключевыми преимуществами по сравнению с традиционно используемым диоксидом урана [1]. Сердечник твэла дисперсионного типа выполнен из металлического или интерметаллидного соединения, в котором диспергированы частицы топлива.

На данный момент дисперсионное топливо производится ресурсозатратными традиционными методами металлургии, альтернатива которым – самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВ-синтез).

Основа данного физико-химического метода в экзотермической реакции между компонентами исходной шихты [2]. При локальном инициировании реакция начинает распространятся в автоволновом режиме – процесс является самоподдерживающимся [2]. Скорость распространения фронта волны горения лежит в промежутке от нескольких миллиметров до десятков сантиметров в секунду, что обеспечивает большую производительность данного метода [3].

В данной работе рассматривается синтез алюминида циркония. Так как это соединение подходит для использования в качестве матрицы для дисперсионного ядерного топлива. Исходными реагентами являлись: алюминиевая пудра ПАП-2 со средним линейным размером 20-30 мкм, а так же порошок циркония ПЦрК-1, со средним линейным размером менее 100 мкм [4]. Компоненты брались в стехиометрическом соотношении 1:1. Смешивание порошков осуществлялось в кубическом смесителе штырькового типа в течение 30 минут.

Давление прессования варьировалось от 5 МПа до 30 МПа. В данном диапазоне было выбрано оптимальное давление равное 25 МПа. Если давление было ниже 25 МПа, температура инициации синтеза была мала, материал получался с высоким содержанием пор, а сам СВ-синтез проходил не в полном объеме – в конечном продукте наблюдались фазы непрореагировавших исходных компонент. При давлении свыше 25 МПа наблюдалось более резкое энерговыделение, в тоже время из-за увеличения площади контакта частиц исходных компонент, увеличивался теплоотвод, и максимальная температура синтеза уменьшалась.

Время прессования не оказывает значительного влияния на синтез в системе Zr-Al. Уже при 5 минутах прессования наблюдается сохранение формы запрессованной заготовки. Однако происходила быстрая релаксация – образец начинает крошиться и расслаиваться в течение 10 минут после окончания прессования, оптимальное время прессования – 15 минут.

После проведения пробоподготовки, осуществлялся синтез в техническом вакууме (10^{-1} Па). Первоначально после прохождения синтеза образец не выдерживался до полного остывания, но как показал рентгенофазовый анализ (РФА), проведенный на рентгеновском дифрактометре

Shimadzu XRD 7000, основную часть конечного продукта составляли нецелевые соединения: ZrN (42,12 % масс.), ZrO_2 (2 % масс). Таким образом, происходило взаимодействие системы с атмосферным кислородом и азотом в процессе остывания образца, вследствие чего появлялись примеси в целевом материале.

Для исключения взаимодействия с воздухом после проведения синтеза проводилась выдержка в техническом вакууме в течение 1 часа для снижения температуры образца до ~30 ºС. Результаты РФА показали отсутствие примесных соединений – конечный продукт состоял из соединений Zr и Al. Данные по фазовому составу готового продукта были сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Фазовый состав продуктов СВ-синтеза системы Zr-Al, полученных при различных условиях

Фаза	Содержание фазы, об. %		
	Синтез на воздухе	Синтез в вакууме с выдержкой	Синтез в вакууме без выдержки
Al_2Zr	–	18,74	8,22
Al_3Zr	22,82	74,32	38,97
α-Zr	2,97	6,94	–
ZrO_2	35,62	–	2,04
ZrN	21,61	–	42,12
$Zr_5Al_3O_{0,5}$	13,98	–	8,65

Таким образом, установлен режим проведения СВ-синтеза, при котором не образуются примесные соединения в готовом продукте, однако наблюдается фаза α-Zr, что говорит о не полном взаимодействии всех реагентов исходной системы. Для детального представления фазовых превращений рассмотрены температурные поля в образце во время протекания СВ-синтеза. Установлено, что для изменения соотношения между фазами возможно изменять начальное соотношение реагентов в определенных соотношениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

12. Самойлов А.Г. Дисперсионные твэлы. В 2 т., Т. 2., М.: Энергоиздат, 1982 – 256 с.
13. Мержанов А.Г., Мукасьян А.С. Твердопламенное горение. – М.: Торус пресс, 2007, – 336 с.
14. Итин В.И., Найбороденко Ю.С. Высокотемпературный синтез интерметаллических соединений. Томск: ТГУ. 1989 – 214 с.
15. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник / Под. ред. Ю. В. Левинского. М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 520 с.
16. Физическое материаловедение: Учебник для вузов. В 6 т. Том 6, Часть 1, Конструкционные материалы ядерной техники / Под общей ред. Б.А. Калина, – М.: МИФИ, 2008, – 672 с.
17. Вол А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем: в 4 т., т.1 – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959, 757 с.
18. Интерметаллиды Ni_3Al и TiAl: микроструктура, деформационное поведение. / Гринберг Б.А., Иванов М.А. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 360 с.

ВЛИЯНИЕ ВИДОВ ГОРЮЧЕГО НА ПРОДУКТЫ Р-СВС СИСТЕМЫ CU-CR-O

А.А. Жадяев
Научный руководитель: ассистент кафедры «МПМН» В.А. Новиков
Самарский государственный технический университет,
Россия, г.Самара, Молодогвардейская ул., 244, 443100
E-mail: Alexander-zhadyaev@yandex.ru

Современные исследования соединений состава Cu-Cr-O выявили каталитическую активность у следующих соединений – шпинелей $CuCr_2O_4$ и $CuCrO_2$,[3] (Рисунок 1).

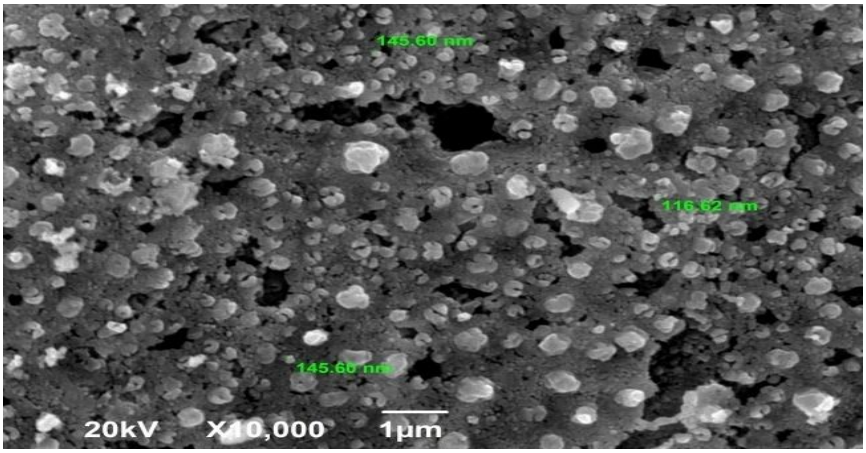


Рис. 1. Поверхность синтезируемого порошка методом Р-СВС, с наличием в нем шпинелей $CuCr_2O_4$ и $CuCrO_2$

В проделанных ранее работах, было изучено влияние исходных компонентов шихты на продукты растворного самораспространяющегося высокотемпературного синтеза системы Cu-Cr-O[1-3].

В статьях [4-6] описано получение, методом горения в растворах, наноматериалов на основе системы Cu-Cr-O (в том числе шпинелей $CuCr_2O4$ и $CuCrO_2$). Синтез наноматериалов проводился , в том числе $CuCrO_2$, с использованием растворов $Cu(NO_3)_2$ и $Cr(NO_3)_3$ и горючего. В качестве горючего использовалась мочевина[4].

Исследования заключались в определении необходимого состава исходных прекурсоров, с целью получения порошка, обладающего оптимальными свойствами.

Целью данной работы стало изучение влияния одного из компонентов реакции — горючего, на свойства синтезируемого продукта:

- Фазовый состав;
- Морфологию размер и частиц;
- Каталитическую активность;
- Площадь удельной поверхности.

В данной работе в качестве горючего использовалась мочевина $CO(NH_2)_2$, лимонная кислота $C_6H_8O_7$, глицин $C_2H_5NO_2$, уротропин $C_6H_{12}N_4$, их содержание в смеси исходных компонентов представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Содержание исходных компонентов

№ образца	$Cu(NO_3)_2{\cdot}3H_2O$, г	$Cr(NO_3)_3{\cdot}9H_2O$, г	Масса горючего, г	Название горючего
1	2,4	8,0	11,2	Мочевина $CO(NH_2)_2$
2	2,4	8,0	11,2	Лимонная кислота $C_6H_8O_7$
3	2,4	8,0	11,2	Глицин $C_2H_5NO_2$
4	2,4	8,0	11,2	Уротропин $C_6H_{12}N_4$

Порошки, так же как и в работах [1-3] засыпались и смешивались в 100 мл дистилированной воды.

Сжигание проводилось с использованием специальной емкости, помещенной на бытовую электроплитку, для нагрева и выпаривания жидкости, что в последствии приводит к синтезу.

Синтезированные порошки, после остывания, собирались и отправлялись на анализы, так же проводилось измерение температуры начала синтеза и максимальной температуры синтеза. Для описания типа горения, производилась съемка на цифровую видеокамеру с кадровой частотой - 60 кадров/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.А. Новиков, А.В. Комзолов, А.А. Жадяев. Исследование растворного СВС нанопорошков сложных оксидов меди и хрома и их применения в каталитическом окислении CO // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия технические науки, июнь - 2017 г., 2(54), 182–190 с.
2. Новиков В.А., Жадяев А.А., Романова Е.В. Растворный свс, как способ синтеза наноразмерных катализаторов для каталитического окисления монооксида углерода // Новые решения в области упрочняющих технологий: взгляд молодых специалистов: сборник научных статей материалы Международной научно-практической конференции (22-23 декабря 2016 года) / редкол.: Романенко Д.Н. (отв. ред.); Юго-Зап. гос. ун-т. В 2-х томах, Том 2. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2016. С. 174-177.
3. Жадяев А.А. Описание режимов горения растворного СВС наноразмерных, пористых, порошков хромита меди CuCr2O4 // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: Сборник научных трудов 7-ой Международной научно-практической конференции (01-02 июня 2017 года) / редкол.: Горохов А.А. (отв. Ред.); Юго-Зап. гос. ун-т., ЗАО «Университетская книга», Курск, 2017 г.
4. Yung-Tang Nien, Mon-Ru Hu, Te-Wei Chiu, Jaw-Shiow Chu. Antibacterial property of CuCrO2 nanopowders prepared by a self-combustion glycine nitrate process// Materials Chemistry and Physics 179 (2016) 182-188.
5. Pengfei Wang, Peng Li, Ting-Feng Yi, Xiaoting Lin, Yan-Rong Zhu, Lianyi Shao, Miao Shui, Nengbing Long, Jie Shu. Fabrication and electrochemical properties of CuCrO2 anode obtained by a sol–gel method// Ceramics International 41 (2015) 6668–6675.
6. Wei Li, Hua Cheng. Cu-Cr-O nanocomposites: Synthesis and characterization as catalysts for solid state propellants// Solid State Sciences 9 (2007) 750-755.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ИОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ ГРАФИТА

А.С. Золкин, А.С. Ежак, А.И. Семерикова, Д.А. Романов
Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. Золкин А.С.
Новосибирский национальный исследовательский государственный Университет
Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова 2, 630090
E-mail: shuraamogo@gmail.com

Введение. Покрытие на основе нанотрубок демонстрирует практически идеальное поглощение в ультрафиолетовых и оптической областях спектра и сохраняет свои свойства в очень широком интервале длин волн, в который попадают и ультрафиолет, и дальнее инфракрасное излучение [1]. Новое покрытие применяется при изготовлении научных приборов, которые должны работать в условиях криогенных температур, где характеристики многих традиционных поглощающих материалов ухудшаются.

Характеристики оптического покрытия определяются спектральными параметрами, адгезией к поверхности подложки, геометрическими размерами, рельефом поверхности, коэффициентами преломления, оптической прочностью, др. аспектами, а также зависят от согласованного выбора типа подложки, на которую наносится покрытие, ее показателя преломления, шероховатости поверхности подложки, др.

Зависимость коэффициентов отражения на разных частотах углеродных пленок на полимерных подложках изучена слабо, что не позволяет получать пленки высокого качества во всем видимом диапазоне. Соответственно с этим возникает необходимость дополнительных исследований по оптимизации условий напыления.

Цель работы – измерение и сравнение коэффициентов отражения, пропускания и поглощения углеродных покрытий на полимерных подложках и покрытия из нанотрубок.

Методика синтеза. В качестве углеродных пленок использовался углерод, нанесенный методом мегнетрон-распылительной системы. Распыление проводилось при давлении рабочего газа Ar от 6 до $8 * 10^{-2}$ Па. Ток разряда составлял 0.9 – 1.7 А при напряжении 640−740 В. Полученные пленки имели толщину 2 - 4 мкм

Методика исследования. Оптические свойства углеродных пленок на поверхности полимера исследовались методами спектрофотометрии зеркального отражения. Измерения отражательной способности поверхности пленок при нормальном падении зондирующего луча показали, что пленки являются оптически неоднородными по площади и глубине [2].

Измерение коэффициентов зеркального отражения, пропускания и поглощения углеродных пленок на полимерной подложке проводилось в диапазоне частот 90,9– 1580 ТГц (3300-190 нм) на спектрофотометре SHIMADZU UV-3600. Технические характеристики установки приведены в [4]. В качестве полимерной подложки использовался полиметилметакрилат (оргстекло) толщиной D = 2 мм.

Исследуемый образец, модель которого приведена на рис. 1, помещался в кювету спектрофотометра. Влияние кюветы на измеряемые данные исключалось путем корректировки базовой линии. Далее производилось сравнение двух монохроматических пучков, один из которых прошел через образец. Как видно из модели, образец имел две исследуемые области, обозначенные на рис. 1.

Изначально имелась только область №1 толщиной $l \approx 500$ нм, поверх которой напылялась область №2 толщиной 500 нм. В итоге получали область №2 толщиной d ≈ 1 мкм. Область №1 использовалась как пробное испытание магнетронно-распылительного метода и имела меньшую плотность, серое покрытие в отличие от области №2, чёрное покрытие. Исследовалось только зеркальное отражение (далее «отражение»).

Зависимости коэффициентов пропускания и отражения от длины волны регистрировались с помощью программного обеспечения UVProbe.

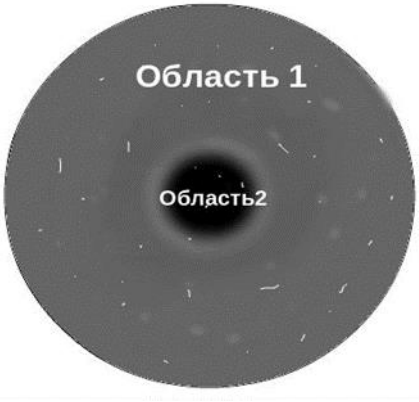


Рис. 1. Исследуемый образец. Область №1- серое покрытие. Область 2 – исследуемая область чёрного покрытия

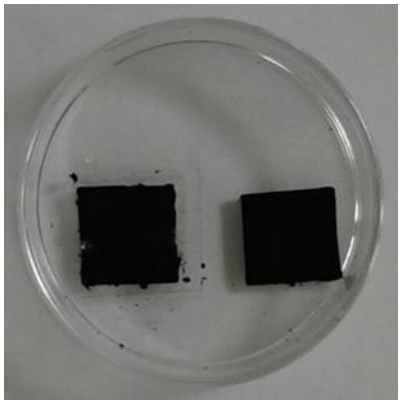


Рис 2. Углеродные нанотрубки выращенные на металлической подложке [5]

Результаты и обсуждение. Полученные зависимости коэффициентов пропускания и поглощения от длины волны позволяют оценивать качество напыления материала на подложку используя численные значения коэффициентов отражения и поглощения как оценочные критерии.

Сравнение коэффициентов отражения для углерода и углеродных нанотрубок проводилось в ультрафиолетовом, видимом и ближнем инфракрасном диапазонах.

Углеродные нанотрубки на рис. 2 предоставлены Институтом неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН. В ультрафиолетовом, видимом и ближнем инфракрасном диапазонах коэффициент отражения углерода меньше, чем коэффициент отражения углеродных нанотрубок. Соответственно с этим, углерод, напыленный на полимерную подложку, имеет перспективы практического использования наряду с углеродными нанотрубками.

Выводы. Проведены измерения коэффициентов отражения, поглощения и пропускания подложки с углеродным напылением в диапазоне от 190 до 2100 нм позволили выявить область селективного отражения света шириной 700 нм для области 2, в которой присутствует интерференционный максимум на длине волны 850 нм и два минимума 660 и 1150 нм.

Установлены эмпирические зависимости для коэффициентов поглощения и пропускания от длины волны для подложки с напылением.

Определены критерии для оценки качества напыления по отражательным характеристикам. Использование этих критериев позволило установить, что качество напыления углерода было лучше, чем напыление углеродных нанотрубок.

Работа выполнена по Проекту «Развитие учебно-научного практикума «Лаборатория экспериментальной физики ФФ НГУ» в рамках Программы САЕ НГУ-2017: «Нелинейная фотоника и квантовые технологии».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. James J. Butler, Georgi T Georgiev, June L. Tveekrem, John G. Hagopian Initial Studies of the Bidirectional Reflectance Distribution Function of Carbon Nanotube Structures for Stray Light Control Applications. October 2010. 14 p.
2. Колфилд Г. М., Оптическая голография в 2-х томах,: Мир, 1982.
3. Кузьмичев А. И. Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления. // «Аверс», Киев, 2008. – 244 с.
4. Руководство по эксплуатации. Спектрофотометр УФ – видимый ИК области фирмы Шимадзу UV-3600 (206-2300).
5. Образцы с выращенными нанотрубками любезно предоставлены проф. А.В. Окотрубом, Институт неорганической химии СО РАН.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ МАГНЕТРОН-РАСПЫЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НАНЕСЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК

А.С. Золкин, С.В. Семенов
Научный руководитель к.ф.-м.н., доцент А.С. Золкин
Новосибирский национальный исследовательский государственный Университет
Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, 630090
E-mail: gb2semenov@gmail.com

Для реализации технологии магнетронного распыления требуется специализированный ИП, который во много определяет возможности МРС и успех всей технологии. Опыт показывает, что для получения покрытий с заданными свойствами следует использовать различные источники питания: источники напряжения или тока. Многое зависит от материала распыляемой поверхности. Например, для распыления графита и получения пленок углерода предпочтительно использовать источники тока. В любом случае требуется специальная настройка источника, включая характеристики импульса.

Основными параметрами импульсного источника питания для МРС являются: диапазон амплитуд напряжения и тока выходного сигнала, частотный диапазон следования импульсов, диапазон регулирования коэффициента заполнения, время реакции на пробой и возможность поджига.

Диапазоны амплитуд напряжения и токов определяются характеристиками МРС: рабочее напряжение, как правило, находится в диапазоне от 300 до 1100В [1], что определяется, например материалом мишени и ожидаемыми свойствами покрытий, а значение токов определяется параметрами необходимой мощности.

Преимущество импульсного магнетронного распыления на повышенной частоте, определяющим высокую эффективность использования этого вида питания в технологиях магнетронного распыления, является возможность снижения вероятности возникновения электрических дуг на катоде магнетрона и ограничение её энергии [2]. Ключевыми параметрами следования импульсов являются частота и скважность (коэффициент заполнения).

Также для подавления дуг используют временное отключение питающего напряжения с помощью ключевых элементов. При этом энергия горения дуги определяется скоростью реакции ИП и величиной энергии, запасаемой в выходных цепях. Благодаря использованию современных полупроводниковых приборов (IGBT, MOSFET) [3] удается уменьшить время отключения выходного напряжения до нескольких мкс (1мкс для IGBT рис.1), что соответствует уменьшению энергии дуги до десяток или даже единиц мДж, при средней выходной мощности несколько кВт.

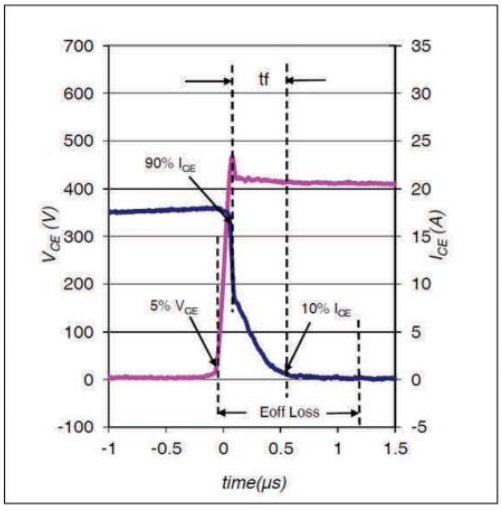


Рис.1. Форма сигнала при отключении IGBT-транзистора. Время спадания тока ($E_{off\ Loss}$) составляет около 1 мкс [3]

В реальных процессах можно наблюдать следующую картину (рис. 2), Возникновение дуг (пробоя) сопровождается возрастанием тока и резким падением напряжения разряда Электронное устройство в

схеме ИП фиксирует падение напряжения ниже заданного уровня и, если при этом ток разряда не равен нулю, дает команду на снятие питающего напряжения. В тех же условиях скорость нарастания тока при пробое имеет определенную постоянную величину, определяемую индуктивностью выходных цепей ИП. Благодаря этому, задавая различные значения предельного тока, можно менять момент срабатывания схемы защиты.

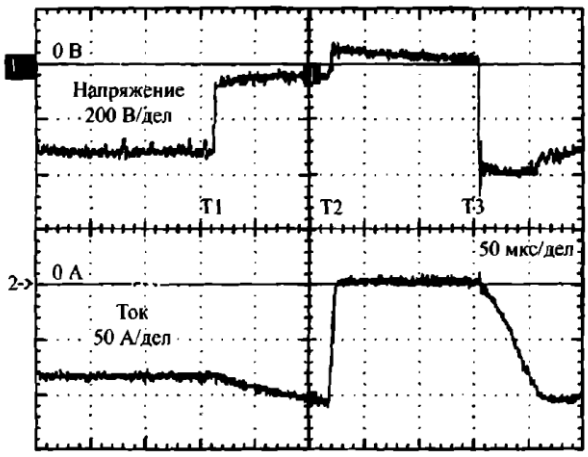


Рис.2. Форма импульсов напряжения и тока во время процесса подавления дуги в импульсном ИП постоянного тока [1].(T1 – момент обнаружения дуги, T1-T2 – регулируемое время задержки, T2 – момент выключения ИП или подачи реверсного импульса, T3 – момент включения ИП и начала восстановления процесса)

Импульсные режимы питания магнетронов позволяют снизить тепловые нагрузки на подложку и мишень, за счет увеличения скважности импульсов, а также наносить многокомпонентные покрытия путем поочередного распыления нескольких мишеней. В результате получаются покрытия практически однородного состава. Кроме того, в импульсном режиме можно увеличить плотность разрядного тока и повысить степень ионизации распыленного вещества до 40% и выше [4].

В докладе проведено сравнение источников питания двух типов: источника тока и источника напряжения и влияние их характеристик на свойства покрытий.

Работа выполнена по Проекту «Развитие учебно-научного практикума «Лаборатория экспериментальной физики ФФ НГУ» в рамках Программы САЕ НГУ-2017: «Нелинейная фотоника и квантовые технологии».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлин Е.В. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии / Е.В. Берлин, Л.А. Сейдман // М.: Техносфера. – 2010. – 544 с.
2. Тимаков С.В. Импульсный источник питания для магнетронного распылителя./ «Надежность и качество». Труды Международного симпозиума. В 2-х т. Пенза: Издательство ПТУ, 2010. т.2 Стр. 192-194.
3. . IGBT Characteristics. Application Note AN-983. IR, 2012.
4. Работкин С.В. Нанесение прозрачных проводящих покрытий на основе оксида цинка методом магнетронного распыления канд. физ.-мат. наук. – Томск, 2009.

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕКСТУРЫ ТИТАНА ВТ1-0 НА ЕГО КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ

И.В. Иванов, А. Тёммес
Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.А. Батаев
Новосибирский Государственный Технический Университет,
Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса 20, 630073
E-mail: i.ivanov@corp.nstu.ru

Металлические материалы, такие как нержавеющая сталь, сплавы Co-Cr, а также титан и его сплавы широко используются для изготовления медицинских имплантатов [1]. Среди отмеченных сплавов наибольшее распространение в медицине находят сплавы титана, из-за их низкой цитотоксичности и модуля упругости, а также высокой удельной прочности и коррозионной стойкости [2]. Для повышения механической и биологической совместимости титана используются различные методы. Существуют способы создания развитой поверхности материала путем ее окисления [3-5], нанесения покрытий фосфата кальция [6], формированию ультра- и нанозернистой структуры [7,8].

Известно, что ультрамелкозернистый и нанокристаллический титан, полученный методами интенсивной пластической деформации (ИПД) имеет более высокие показатели механических свойств, биологической совместимости и коррозионной стойкости. Однако, вопрос о влиянии поверхностной текстуры на свойства титана, и прежде всего его биологическую и механическую совместимость с тканями организма, поднимается в литературе довольно редко и поэтому все еще глубоко не изучена [2,9].

В работе делается попытка исследования влияния поверхностной текстуры α-титана на его коррозионную стойкость и некоторые механические свойства.

В качестве материалов исследования использовался технически чистый α-титан, обработанный методами горячей и холодной прокатки, вневакуумной электроннолучевой наплавки, а также электродуговой плавки.

В работе потенциометрическими методами исследовалась коррозионная стойкость образцов α-титана в растворе Хэнка (pH ~ 8). Исследуемые образцы и их обозначение в работе: образцы после холодной прокатки со степенью деформации 30% (CR30) и степенью деформации 60% (CR60); образец полученный методом вневакуумной электроннолучевой наплавки (EBC).

Благодаря применению разных методов пробоподготовки, полученные материалы обладали различающейся поверхностной текстурой. Образцы, полученные холодной прокаткой имеют преимущественно базальной текстурой (0001) <1010>. Однако образец, полученный методом вневакуумной электроннолучевой наплавки обладает текстурой (0112) <1120>.

На рис. 1 представлены кривые зависимости потенциала разомкнутой цепи со временем образцов α-титана после холодной прокатки со степенью деформации 60% (CR60), 30% (CR30), а также образца, полученного методом электронно-лучевой наплавки (EBC). Видно, что потенциал разомкнутой цепи зависит от текстуры материала. Образец после холодной прокатки со степенью деформации 60% обладает наибольшей коррозионной стойкостью по сравнению с другими образцами. В табл.1 обобщены результаты коррозионных исследований.

В результате исследований было выявлено что поверхностная текстура α-титана влияет на коррозионную стойкость материала. Согласно литературным данным и проведенному текстурному анализу, наибольшая коррозионная стойкость соответствует материалу, имеющему преимущественно базальную поверхностную текстуру ((0001), (0002)) [10].

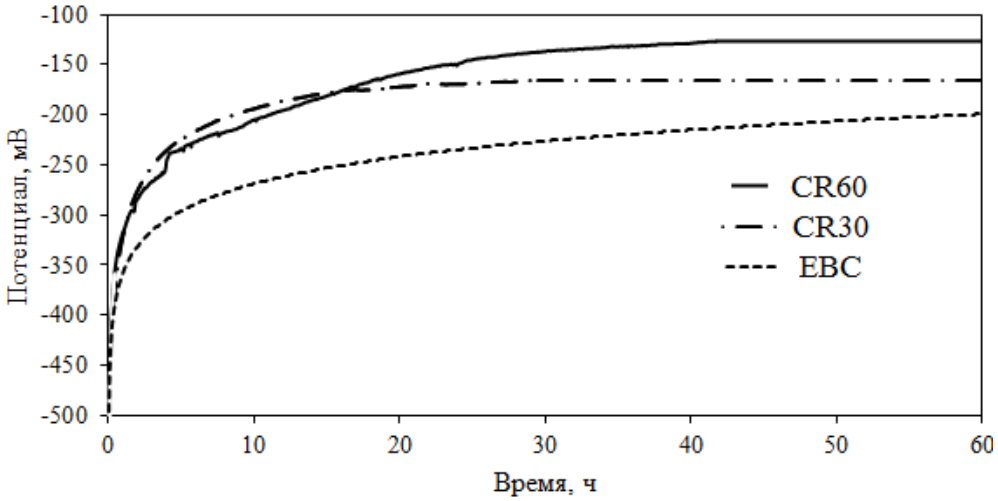


Рис. 1. Кривые изменения потенциала разомкнутой цепи со временем для образцов α-титана после холодной прокатки со степенью деформации 60% (CR60), 30% (CR30), а также образца, полученного методом электронно-лучевой наплавки (EBC)

Таблица 1 - Потенциал разомкнутой цепи и время его стабилизации для образцов α-титана в растворе Хэнка (pH~8)

Образец	Потенциал, мВ	Время, ч
CR60	-126,7	40
CR30	-165,96	30
EBC	-202,35	60

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Valiev RZ, Semenova IP, Latysh VV, Rack H, Lowe TC, Petruzelka J, Dluhos L, Hrusak D, Sochova J. Nanostructured titanium for biomedical applications. Adv Eng Mater 2008;10: B15–B17.
2. The importance of crystallographic texture in the use of titanium as an orthopedic material
3. Sul Y. T. The significance of the surface properties of oxidized titanium to the bone response: special emphasis on potential biochemical bonding of oxidized titanium implant //Biomaterials. – 2003. – Т. 24. – №. 22. – С. 3893-3907.
4. Yang B. et al. Preparation of bioactive titanium metal via anodic oxidation treatment //Biomaterials. – 2004. – Т. 25. – №. 6. – С. 1003-1010.
5. Khodaei M. et al. The side effects of surface modification of porous titanium implant using hydrogen peroxide: Mechanical properties aspects //Materials Letters. – 2016. – Т. 178. – С. 201-204.
6. Sharkeev Y. P. et al. The structure and physical and mechanical properties of a novel biocomposite material, nanostructured titanium–calcium-phosphate coating //Composite Interfaces. – 2009. – Т. 16. – №. 4-6. – С. 535-546.
7. Zhang R. et al. Preparation of micro-nanostructure on titanium implants and its bioactivity //Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2016. – Т. 26. – №. 4. – С. 1019-1024.
8. Faghihi S. et al. Cellular and molecular interactions between MC3T3-E1 pre-osteoblasts and nanostructured titanium produced by high-pressure torsion //Biomaterials. – 2007. – Т. 28. – №. 27. – С. 3887-3895.
9. Faghihi S. et al. The significance of crystallographic texture of titanium alloy substrates on pre-osteoblast responses //Biomaterials. – 2006. – Т. 27. – №. 19. – С. 3532-3539.
10. Bahl S., Suwas S., Chatterjee K. The importance of crystallographic texture in the use of titanium as an orthopedic biomaterial //RSC Advances. – 2014. – Т. 4. – №. 72. – С. 38078-38087.

ВЛИЯНИЕ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФАЗУ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В НАНОПОРОШКЕ АЛЮМИНИЯ

И.К. Калинич, А.В. Мостовщиков, А.П. Ильин, А.В. Коршунов, П.Ю. Чумерин, Д.В. Исмаилов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: avmost@tpu.ru

Порошки алюминия широко применяют в металлургии и аддитивных технологиях. Вместе с тем, для порошковых материалов существенной проблемой является их быстрое окисление при хранении в атмосфере воздуха. Восстановление окисленных порошков алюминия возможно проводить в среде восстановителя (например, водорода) при отжиге. Возможность восстановления оксида алюминия до металла в виде относительно устойчивых кристаллитов Al в оксидной матрице при воздействии электронного пучка с энергией 100-300 кЭв показана в работе [1]. Таким образом, актуальным является исследование возможности улучшения характеристик окисленного порошка алюминия.

В работе использованы нанопорошки алюминия, полученные методом электрического взрыва проводника в среде аргона [2, 3]. Установлено, что при различных видах высокоэнергетических воздействиях на нанопорошки алюминия происходит увеличение содержания металлического алюминия, т.е. происходит восстановление алюминия из оксидной оболочки. Более подробно методики генерации высокоэнергетических излучений и методики облучения алюминия приведены в работах [4, 5].

Содержание металлического алюминия в образцах порошка Al после энергетического воздействия определяли при помощи волюмометрического метода по объему водорода, выделившегося при взаимодействии навески порошка с раствором щелочи. Волюмометрическая установка состояла из колбы Вюрца (V=250 мл), бюретки (V=50 мл) и уравнительной воронки. При взаимодействии Al с раствором выделяющийся H_2 вытесняет уравнительный раствор (насыщенный раствор NaCl) из бюретки в воронку, совмещение уровня раствора в воронке и бюретке позволяет определить объем H_2. Раствор в колбе Вюрца V=100 мл содержал NaOH концентрацией 0,2 М на фоне насыщенного раствора NaCl (использован для снижения влияния растворимости H_2 в растворе на результаты измерений). Измеренный объем H_2 корректировали с учетом давления насыщенных паров воды, приводили к нормальным условиям и использовали для расчета содержания металлического Al по уравнению: $2Al + 2NaOH + 6H_2O = 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2$.

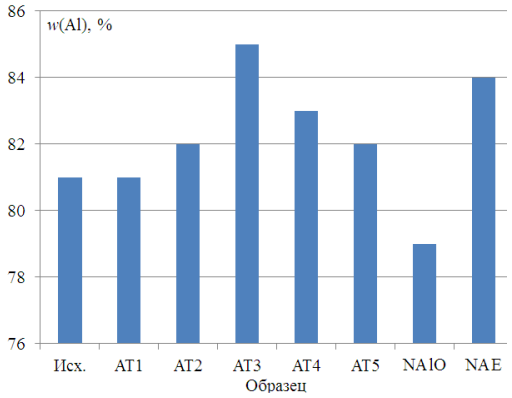


Рис. 1. Среднее содержание металлического Al в образцах (мас. %) по данным волюмометрического анализа (массы навесок 15-25 мг, трёхкратное повторение)

Из полученных данных (рис. 1) следует, что в зависимости от вида воздействия, его энергии и продолжительности содержание металлического Al выше, чем в контрольном образце. Наибольший эффект получен при действии СВЧ-излучения (рис. 1, образец АТ-3) Этот эффект обусловлен восстановлением оксида Al в составе оксидно-гидроксидной оболочки частиц Al до металла.

Таким образом, высокоэнергетические излучения можно использовать для уменьшения толщины оксидной оболочки на нанопорошках алюминия.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, проект № 11.1928.2017/4.6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bonevich J. E., Marks L. D. Electron radiation damage of α-alumina // Ultramicroscopy. – 1991. – V. 35. – P. 161-166.
2. Назаренко О.Б. Электровзрывные нанопорошки: получение, свойства, применение. – Томск: Изд-во ТГУ, 2005. – 148 с.
3. Мостовщиков А.В., Ильин А.П., Захарова М.А. Запасание энергии нанопорошком алюминия в напряженно-деформированном состоянии кристаллической решетки // Известия ТПУ. Инжиниринг. – 2016. – Т. 327. – № 2.– С. 77–82.
4. Ильин А.П., Мостовщиков А.В., Пак А.Я. Влияние однородных магнитного и электрического полей на микроструктурные и субструктурные характеристики продуктов сгорания нанопорошка алюминия в воздухе // ЖТФ. – 2016. – Т. 86. – Вып. 12. – С. 95–98.
5. Мостовщиков А.В., Ильин А.П., Чумерин П.Ю., Юшков Ю.Г., Ваулин В.А. Влияние СВЧ-излучения на термическую стабильность нанопорошка алюминия // Письма в ЖТФ. – 2016. – Т. 42. – Вып. 7. – С. 17–22.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ НАНОПОРОШКОВ МЕДИ ИЗМЕРЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ НАГРЕВАНИИ В ВОЗДУХЕ

И.К. Калинич, А.В. Мостовщиков, А.П. Ильин, И.К. Забродина, Д.В. Исмаилов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: avmost@tpu.ru

Нанопорошки металлов после их осаждения в воздухе и коагуляции представляют собой аэрогели, насыпная плотность которых в десятки раз меньше, чем стандартные значения плотностей металлов, например, насыпная плотность нанопорошка алюминия может составлять 0,08 г/см^3. После пассивирования поверхность наночастиц металлов покрыта оксидной оболочкой толщиной от 2 до 10 нм. В свою очередь, покрытые адсорбированными веществами поверхности частиц не контактируют между собой, поэтому в свободно насыпанном состоянии нанопорошки металлов являются широкозонными полупроводниками или диэлектриками. Исследование взаимосвязи термической устойчивости и электропроводности нанопорошков при нагревании в воздухе является важной практической задачей, так как по трудоёмкости измерение температурной зависимости сопротивления менее энергозатратно, чем метод дифференциального термического анализа [1].

В качестве объекта исследований был выбран нанопорошок меди, так как он имеет невысокую температуру начала окисления (~ 190° С), и при нагревании претерпевает фазовый переход, сопровождающийся изменением валентности меди [2]. Нанопорошки меди перспективны в качестве компонентов паст для нанесения проводников электрического тока по аддитивной технологии, припоев и различных порошковых сплавов. Для меди в массивном состоянии характерна устойчивость к окислению в воздухе. При промышленном использовании нанопорошков меди очевидна необходимость предварительного исследования особенностей физико-химических процессов, протекающих в них при нагревании и взаимодействии с кислородом воздуха, влияния релаксационных процессов в наночастицах и нанопорошках на их устойчивость при транспортировке, хранении и нагревании.

Результаты исследования окисления меди в массивном состоянии при нагревании в воздухе приведены во многих монографиях и статьях, и разработаны достаточно хорошие модели протекающих процессов массо- и электропереноса. Применять же полученные результаты к нанопорошкам меди и системам на основе нанопорошков меди следует с осторожностью: нанопорошки металлов представляют собой метастабильные системы, хотя часть их характеристик может изменяться во времени и непрерывно. Доля атомов на поверхности наночастицы сравнима с долей атомов в объеме. Это приводит к тому, что процессы на поверхности частицы оказывают влияние на всю частицу в целом. Как следствие, металлы в наносостоянии при их активировании проявляют более высокую химическую активность, чем эти же металлы в массивном состоянии. Для исследований были использованы нанопорошки меди, полученные электрическим взрывом медного проводника в среде аргона с помощью установки УДП-4Г [3].

При приложенном постоянном напряжении на прессованный образец нанопорошка сила электрического тока является характеристикой термической устойчивости нанопорошка меди и проводимости материала образца в воздухе. Резкое нарастание электропроводности прессованных образцов меди наблюдалось в диапазоне 250-260 °С. В то же время, температура начала окисления свободно насыпанного нанопорошка меди составляла 190 °С. Таким образом, нанопорошки меди не могут быть использованы в виде датчиков температуры, потому что при нагревании – охлаждении процессы протекают необратимо.

Экспериментальные результаты, полученные в результате измерения изменения проводимости прессованного нанопорошка в зависимости от температуры, согласуются с результатами дифференциального термического анализа. Это свидетельствуют об однозначной зависимости проводимости нанопорошка меди от протекающих в нем химических превращений, что позволяет рекомендовать этот метод исследования в качестве экспресс-диагностики нанопорошков меди.

Необходимо отметить, что применимость этого метода для диагностик других нанопорошков, в том числе модифицированных высокоэнергетическими излучениями [4], требует дополнительной проверки. Тем не менее, в сочетании с такими методами, как дифференциальный термический анализ, электрохимические методы исследования, рентгеноструктурный и рентгенофазовый [5] анализы, предложенный в статье метод может быть использован для исследования физико-химических процессов, протекающих в нанопорошках при нагревании и окислении.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, проект № 11.1928.2017/4.6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уэндландт У. Термические методы анализа. – Москва: Мир, 1978. – 527 с.
2. Хауффе К. Реакции в твердых телах и на их поверхности. Часть 2. – Москва: Изд-во ин. лит., 1963. – 276 с.
3. Назаренко О.Б. Электровзрывные нанопорошки: получение, свойства, применение. – Томск: Изд-во ТГУ, 2005. – 148 с.
4. Ильин А.П., Мостовщиков А.В., Пак А.Я. Влияние однородных магнитного и электрического полей на микроструктурные и субструктурные характеристики продуктов сгорания нанопорошка алюминия в воздухе // ЖТФ. – 2016. – Т. 86. – Вып. 12. – С. 95–98.
5. Мостовщиков А.В., Ильин А.П., Захарова М.А. Запасание энергии нанопорошком алюминия в напряженно-деформированном состоянии кристаллической решетки // Известия ТПУ. Инжиниринг. – 2016. – Т. 327. – № 2.– С. 77–82.

СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ TIAL, УПРОЧНЕННОГО ЧАСТИЦАМИ TiB_2

А.А. Кашимбетова[1], М.А. Есиков[1,2], Е.Д. Зыкова[1]
Научный руководитель: к.т.н. Д.В. Лазуренко
Новосибирский государственный технический университет,
Россия, г. Новосибирск, пр. К. Марска, 20, 630073
Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,
Россия, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15, 630090
E-mail: pavlyukova_87@mail.ru

Разработка новых материалов для авиационных систем преобразования энергии является широко обсуждаемым вопросов в последние десятилетия. Сплавы на основе TiAl являются перспективными для применения в указанной области промышленности, поскольку отвечают многим требованиям, предъявляемым к материалам для изготовления деталей газотурбинных двигателей (высокая рабочая температура, низкий удельный вес). Сплавы такого типа демонстрируют уникальное сочетание физических, химических и механических свойств, например, высокая температура плавления, высокая прочность и жесткость, структурная стабильность, повышенная стойкость к окислению и коррозии в сочетании с низкой плотностью. Для улучшения таких свойств алюминидов титана, как сопротивление ползучести, пластичность и трещиностойкость, как правило, применяется легирование различными элементами [1]. В данной работе мы рассматриваем возможность повышения механических характеристик алюминидов титана путем формирования многослойных композитов, упрочненных керамическими частицами. Эффективность формирования многослойных композиций была показана в публикациях Vecchio и выполненных ранее работах [2, 3]. Например, трещиностойкость и усталостные свойства слоистых структур выше, по сравнению с монолитными материалами благодаря благоприятному влиянию границ раздела, которые вызывают разветвление трещин и их перезарождение в каждом новом слое. Кроме того, комбинирование разнородных слоев с существенно различающимися свойствами может обеспечить уникальное сочетание механических и эксплуатационных характеристик. Введение жестких и твердых прослоек может способствовать повышению прочности и жесткости в определенных направлениях. Цель данной работы заключалась в исследовании структурно-фазовых преобразований в процессе формирования многослойных материалов, состоящих из прослоек TiAl и TiB_2.

Композиты были сформированы путем искрового плазменного спекания на установке Labox 1575. Перед спеканием заготовки, состоящие из титановых и алюминиевых фольг и порошка TiB_2, помещались в титановые формы с целью предотвратить вытекание алюминия в процессе высокотемпературного воздействия. Подробное описание методики подготовки образцов дано в работе [3]. Спекание производилось в 2 этапа. На первой стадии образцы были нагреты до 830 °C и выдерживались при указанной температуре в течение 10 минут. Далее температура увеличивалась до 1250 °C, длительность нагрева составила 2 минуты. Давление варьировалось в диапазоне от 40 МПа (при 830 °C) до 10 МПа при максимальной температуре.

Структурные исследования проводились методами растровой электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа, а также с использованием просвечивающего электронного микроскопа. Фазовый состав определялся в процессе синхротронных исследований на Немецком электронном синхротроне (Deutsches Elektronen-Synchrotron, DESY), Гамбург, Германия.

Исходные заготовки представляли собой поочередно уложенные титановые и алюминиевые фольги толщиной 50 мкм. Порошок TiB_2 был равномерно распределен на каждом втором слое. Спекание при 830 °C привело к взаимодействию титана с алюминием и формированию соединения Al_3Ti (рис. 1, а). На первом этапе алюминий был полностью истрачен на образование указанной интерметаллидной фазы. На границах раздела титана и триалюминида титана были обнаружены тонкие прослойки промежуточных соединений. Ранее было установлено [3], что данные прослойки имеют следующий состав: Ti_3Al, TiAl and Al_2Ti (рис. 2). Образование этих соединений свидетельствует о протекании химического взаимодействия между титаном и триалюминидом титана. Однако для окончательного перехода указанных компонент в соединение γ-TiAl целесообразным является увеличить температуру

реакции до 1250 °С. Структурные исследования образцов после высокотемпературного спекания в течение 2 минут позволили выявить, что в процессе кратковременного нагрева материалов Ti и Al_3Ti прореагировали с образованием двух обогащенных титаном соединений: γ-TiAl and α2-Ti_3Al (рис. 1, б). Исследования, проведенные методами растровой и просвечивающей электронной микроскопии, позволили определить, что итерметаллидная составляющая композита имела ламельную структуру.

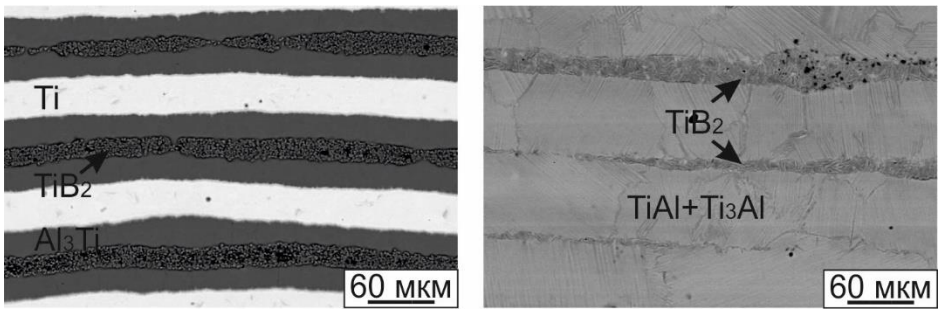


Рис. 1. Структура материала после спекания при: а – 830 °С; б – 1250 °С

Частицы TiB_2 претерпели рекристаллизацию в процессе спекания при 1250 °С, о чем свидетельствует модифицирование их морфологии: равноосные частицы были преобразованы в кристаллиты удлиненной формы. Однако свидетельств реакции между частицами и матрицей не наблюдалось (см. рис. 1). Исследования, проведенные методом просвечивающей электронной микроскопии, свидетельствуют о том, что керамические частицы были равномерно распределены в интрметаллидной матрице, образуя сплошной плотный слой.

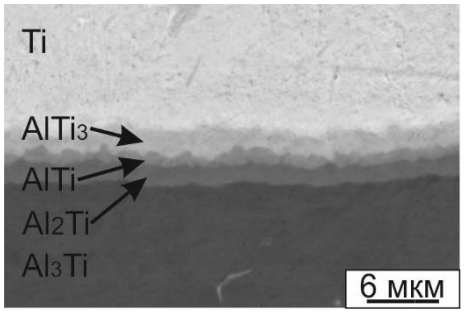


Рис. 2. Переходной слой, сформированный между Ti и Al_3Ti в процессе спекания при 830 °С

Работа была выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Грант Президента, соглашение № 14.Z56.17.3251-МК).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Appel F., Paul J. D. H, Oehring M. Gamma Titanium Aluminide Alloys: Science and Technology. - Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2011. – с. 465-478.

2. Vecchio K. S., Synthetic multifunctional metallic-intermetallic laminate composites // JOM. Journal of the minerals, metals and materials society. – 2005. – Vol. 57. – Iss. 3. – P. 25–31.

3. Lazurenko D.V., Mali V. I., Bataev I. A., Thoemmes A., Bataev A. A., Popelukh A. I., Anisimov A. G., Belousova N. S. Metal-Intermetallic Laminate Ti-Al_3Ti Composites Produced by Spark Plasma Sintering of Titanium and Aluminum Foils Enclosed in Titanium Shells // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2015. – Vol. 46. Iss. 9. – P. 4326-4334.

ВЛИЯНИЕ ОЛОВА И НИКЕЛЯ НА ЛИКВАЦИЮ СВИНЦА В СВИНЦОВИСТОЙ БРОНЗЕ

Клочков Н.С., Егоров Ю.П.
Научный руководитель: доцент, к. т. н. Ю.П. Егоров
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: nikart2012@mail.com

Актуальность

Как известно, свинец в составе бронзы обеспечивает высокие антифрикционные свойства, так как данный элемент играет роль твердой смазки [1]. При кристаллизации бронзы свинец выделяется как самостоятельная фаза, располагающаяся между дендритами. Обычно свинец располагается неравномерно по объему отливки и таким образом отрицательно влияет на прочностные и антифрикционные свойства бронзы [2-7]. В данной работе рассмотрены закономерности распределения свинца в зависимости от добавления в состав бронзы никеля и олова.

Методика эксперимента

Образцы для исследования готовили плавкой из чистых шихтовых материалов. Состав исследуемых образцов: Cu 90%, 10% Pb; 95…97% Cu, 3…5% Ni; 85…90% Cu, 10…15% Sn. Плавку вели на высокочастотной тирристорной установке в тигле из силицированного графита. Заливку сплава проводили во вращающиеся металлические формы, применяя центробежный способ литья с вертикальной осью вращения. Анализ поверхности материала и состава приповерхностных слоев проводили на сканирующем электронном микроскопе EVO 50XVP фирмы Carl Zeiss с рентгеновским микроанализатором EDS и электронной дифракционной системой Backscattered.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 приведены фотографии структуры полученных образцов. Отдельные светлые включения являются включениями свинца. В процессе кристаллизации свинцовистой бронзы, когда затвердевает около 90% меди, обогащенная свинцом жидкость оттесняется растущими зернами меди и концентрируется обособленными участками, а затем закристаллизовывается в виде крупных скоплений. Поэтому свинец располагается неравномерно по объему отливки тем самым отрицательно влияет на антифрикционные свойства бронзы [1,2]. Как показывает анализ структуры образцов при легировании никелем и оловом свинцовые включения располагаются равномерно небольшими включениями.

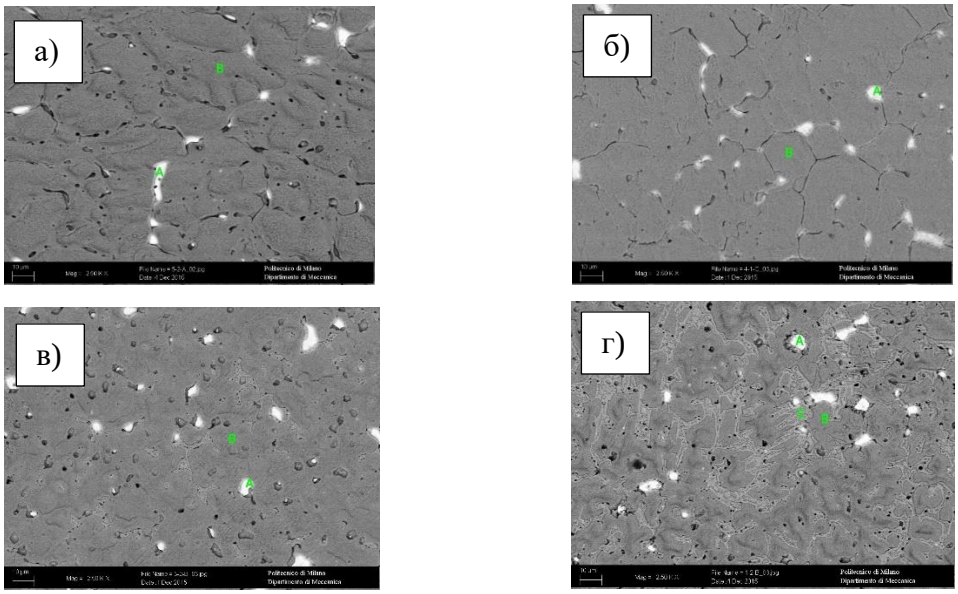


Рис. 1. Микроструктура свинцовистой бронзы: а) БрС10; б) БрС10Н5; в) БрС10О10; г) БрО15С10

При анализе состава приповерхностных слоев полученных образцов было обнаружено что, при введении никеля и олова в расплав свинцовистой бронзы уменьшается ликвация свинца (таб.1). На

рис. 2 представлена схема исследования полученных образцов. Исследование состава проводилось вдоль поперечной линии излома образцов.

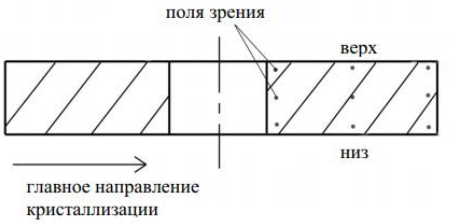


Рис. 2. Схема исследования образцов

Как видно из полученных значений, в двухкомпонентной свинцовистой бронзе ярко выражена обратная ликвация свинца.

Таблица 1 - Распределение элементов по излому образцов

		Cu, вес.%	Sn, вес.%	Pb, вес.%	Ni, вес.%
	низ	38,03		61,97	
	середина	49,35		50,65	
БрС10	верх	54,75		45,25	
	низ	37,59		60,98	1,42
	середина	39,85		58,32	1,83
БрС10Н3	верх	49,68		48,85	1,47
	низ	41,43		56,41	2,16
	середина	51,02		46,11	2,87
БрС10Н5	верх	51,70		45,76	2,54
	низ	55,96	11,24	32,80	
	середина	50,95	12,08	36,97	
БрС10О10	верх	53,41	11,94	34,66	
	низ	56,59	17,38	26,03	
	середина	54,77	16,95	28,27	
БрО15С10	верх	56,18	17,70	26,12	

При добавлении никеля от 3% до 5% наблюдается уменьшение ликвации Pb по объему отливки. Так же уменьшение явления обратной ликвации обнаруживается при добавлении в свинцовистую бронзу 10-15% Sn. Таким образом обратная ликвация свинца уменьшается при введении олова и никеля в состав бронзы.

Список литературы

1. Пресняков А.А., Новиков А.В. Изучение механических свойств оловянистых бронз с добавками цинка, фосфора, свинца и никеля // Труды ин-та ядерной физики АН Каз. ССР. – Алма-Ата: Изд. АН Каз. ССР, 1959. – Т.2. – С.41–73.-25
2. Е.Э. Вернер Влияние добавок некоторых элементов на ликвацию свинца высокосвинцовистой бронзы; Фасонное литье медных сплавов
3. Измайлов В.А., Ермолаева Н.И., Токарь В.С. Роль поведения свинца при литье и деформации слитков ЛС 58–2 // Цветные металлы. – 1995. – №7. – С.63–66.-27-19
4. Вернер Е.Э. Влияние добавок некоторых элементов на ликвацию свинца высокосвинцовистой бронзы // Сб. докладов «Фасонное литье медных сплавов». – М.: Машгиз, 1957. – С.52–64.-40
5. D. Chatain and D. Galy, Interfaces Between Pb Grains and Cu Surfaces, J Mater. Sci., 2006, vol. 41, no. 23, pp. 7,769–7,774.
6. G.C. Pratt, “Friction and Antifriction Materials”, Perspectives in Powder Metallurgy, edited by H.H. Hausner, Plenum Press, NY, 1970, vol. 4, p. 15

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЧЕННЫХ КОМПОЗИТОВ "КАРБИД ТИТАНА - ТИТАН" СИНТЕЗИРОВАННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

М.Г. Криницын, Г.О. Данковцев
Научный руководитель: доцент, к.т.н., Е.Н. Коростелева
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: krinmax@gmail.com

Определяющим фактором формирования основных эксплуатационных свойств композиционных материалов является их гетерогенная и гетерофазная структура, где важно не только присутствие определенных фаз, но и их соотношение по размерам и по содержанию в объеме материала. В качестве примера такого композиционного материала может быть представлен спеченный композит на основе карбида титана с металлической матрицей.

Титан и материалы на его основе широко используются в аэрокосмической промышленности благодаря своей высокой температуре плавления, химической стабильности, высокой удельной прочности, низкой теплопроводности и другим свойствам. Однако известно, что титан и сплавы на его основе обладают низкой износостойкостью из-за склонности к схватыванию в контактных парах практически со всеми металлическими материалами. Таким образом, повышение износостойкости в совокупности с улучшением других физико-технических свойств материала, на основе титана, является актуальной проблемой современного машиностроения. Хорошо известно, что композиционные материалы и покрытия со структурой из дисперсных твердых частиц, заключенных в металлическую матрицу (связку), обладают уникальным сочетанием твердости, прочности, пластичности и износостойкости при абразивном износе и в контактных парах. Характерным примером таких материалов являются инструментальные твердые сплавы, получаемые спеканием порошковых смесей из дисперсных карбидов и металлической связки. При этом доминирующим технологическим фактором остается использование в исходной порошковой шихте с металлической матрицей уже готового промышленного порошка карбида титана. В то же время разработка и получение новых объемных композитов, содержащих карбид титана, имеет определенные трудности, вызванные его нестехиометричностью. Это накладывает известные ограничения по объемному содержанию данного компонента.

В настоящей работе представлены результаты исследования спекания компактов из порошков на основе карбида титана с титановой матрицей, полученных в результате СВС. Для синтеза карбидсодержащих порошков использовались смеси элементарных порошков титана марки ТПП-8 и сажи марки П-803 с пропорцией элементов, соответствующих расчетному содержанию в композите синтезированного карбида титана 40 и 50 об.%, остальное – титановая связка. Синтез порошков осуществлялся в режиме послойного горения. Содержание металлической связки определялось максимально возможной объемной долей инертного в тепловом отношении металлического компонента, позволяющего инициировать и реализовать СВС-процесс в шихте из исходных элементарных порошков титана и углерода (сажи). Полученные после синтеза брикеты дробились и рассеивались по фракциям. Отобранные порошки с наиболее мелкой фракцией прессовались с использованием пластификатора и спекались в условиях изотермической выдержки в течение 180 минут при температурах спекания от 1200 до 1400 °С. Результаты исследований показали, что прессовки из синтезированных порошков Ti- 40% TiC и Ti - 50% TiC демонстрируют заметную усадку при вакуумном спекании. Их исходная пористость снижается в несколько (5-7) раз при всех выбранных температурах спекания, достигая минимальных значений остаточной пористости не более 2-5 % при 1400°С. Эти результаты уплотнения прессовок из СВС порошков более значительны в сравнении с аналогичными результатами спекания компактов из смесей готового (промышленного) карбида титана и титанового порошка той же марки. При этом стоит отметить, что для максимально уплотненных композитов из порошковых смесей TiC и Ti содержание упрочняющей карбидной фазы в спеченном материале намного меньше, чем в композитах, спеченных из СВС порошков. Таким образом, можно получить достаточно плотный композиционный материал при вакуумном спекании с высоким содержанием упрочняющей карбидной фазы.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОПОРОШКА ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

А.А. Леонов[1], Хао Це Лю[2]
Научный руководитель: профессор, д.т.н. О.Л. Хасанов
[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет
[2]Чунцинский университет искусств и науки
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: laa91@tpu.ru

Распределение частиц по размерам (РЧР) является ключевой характеристикой порошкообразного материала, которая определяет его свойства и область применения. Если взять в пример керамические материалы, то размер частиц и РЧР будут влиять на то, какие пути обработки могут быть пригодны для шликерного литья или сухого прессования, и как порошок будет, уплотняется во время этих процессов. При обжиге, от исходного размера частиц и РЧР, зависят: усадка, конечная плотность и свойства обожжённых изделий. Таким образом, размерная характеристика порошка очень важна, но измерение размера частиц и РЧР, само по себе недостаточно, и результаты должны быть связаны с другими методами оценки (такими как: микроскопия, рентгенофазовый анализ, измерение удельной площади и т.д.), чтобы правильно интерпретировать и использовать измеренное РЧР.

В настоящей работе объектом исследования был нанопорошок диоксида циркония (TZ-3YS) фирмы Tosoh. Определение РЧР проводили методом лазерной дифракции (ЛД) на анализаторе SALD-7101. Использовались следующие дисперсионные условия: 1. Дистиллированная вода без использования ультразвука (УЗ); 2. Дистиллированная вода с использованием УЗ прибора SALD (40 Вт); 3. Предварительная обработка водной суспензии нанопорошка более мощным УЗ (110 Вт) в течение 10 мин в ультразвуковой ванне и последующим УЗ диспергированием в приборе SALD; 4. Водный раствор цитрата натрия (ЦН) с концентрацией 0,2 мас.% с использованием УЗ прибора. Измерения были выполнены в проточной ячейке с интервалом 3 минут. Для характеристики гранулометрического состава нанопорошка по результатам ЛД, использовали одномерный параметр – медианный объемно-весовой диаметр d^{V}_{50} ($D[4,3]_{50}$). Исследования морфологии частиц и РЧР нанопорошка ZrO_2 выполнены методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на микроскопе JSM 7500F. Оценку медианного среднечислового диаметра d^{N}_{50} ($D[1,0]_{50}$) проводили путем непосредственного измерения размеров частиц по соответствующим СЭМ изображениям. Удельная поверхность нанопорошка измерялась методом БЭТ на приборе Sorbi-M. Зная удельную площадь поверхности и плотность диоксида циркония, рассчитали среднеповерхностный диаметр D[3,2] (табл. 1). Области когерентного рассеяния (ОКР) или размер кристаллитов определяли методом рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре XRD-7000S.

Таблица 1 - Размерные характеристики исследуемого нанопорошка ZrO_2

		d^{N}_{50}, мкм	$d^{N}_{ср}$, мкм	D[3,2], мкм	ОКР, мкм
ЛД 30 минуты	Вода без УЗ	0,347	0,405		
	Вода УЗ 40Вт	0,255	0,280		
	Вода УЗ 110Вт 10мин, 40Вт	0,246	0,265		
	Водный раствор ЦН, 40Вт	0,193	0,195		
СЭМ		0,290	0,310		
БЭТ				0,175	
РФА					мон 0,021
					тет 0,053

Анализируя исходный воздушно-сухой нанопорошок ZrO_2 методом СЭМ (рис. 1а), установлено, что он состоит из первичных частиц имеющих форму близкую к сферической, в то же время содержит плотные агломераты нерегулярной формы. Используя СЭМ изображения, произвели измерение

первичных частиц и их агломератов. На основании данных измерений, построили количественное РЧР и кумулятивную кривую (рис. 1а), из которой определили d^N_{50} (табл. 1).

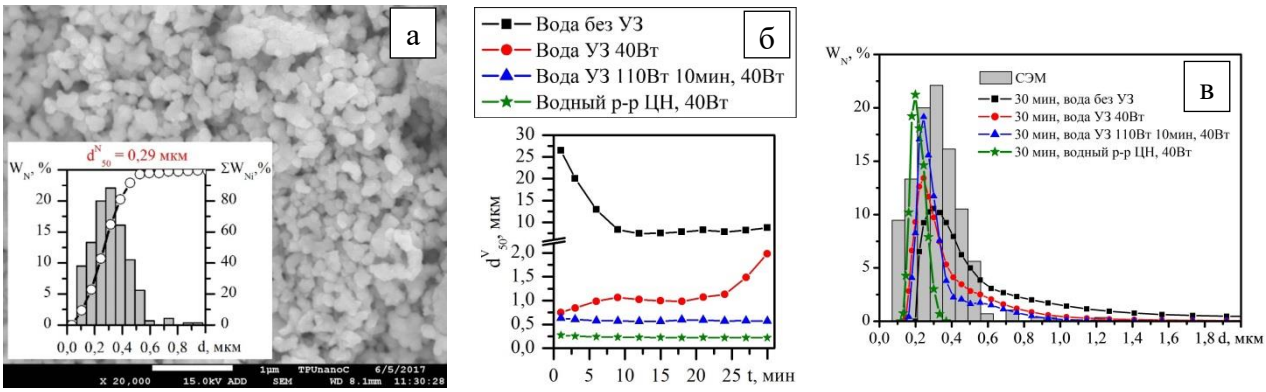


Рис. 1. а – СЭМ-изображение исследуемого нанопорошка диоксида циркония, количественное РЧР и кумулятивная кривая; б – зависимость медианного объемно-весового диаметра от времени диспергирования; в – сопоставление количественных РЧР, полученных разными методами

При измерении методом ЛД медианного объемно-весового диаметра в водной суспензии без использования УЗ видно, что в процессе диспергирования размер агрегатов ZrO_2 закономерно снижается, выходя на насыщение (рис. 1б), это говорит о том, что в процессе циркулирования суспензии происходит разрушение более крупных агрегатов частиц. Использование УЗ обработки (40 Вт) в водной среде в процессе диспергирования заметно улучшило значения d^V_{50}. Однако полностью деагрегировать частицы не удалось, но медианный диаметр агломератов в процессе УЗ диспергирования существенно ниже такого в водной суспензии без УЗ. В водной суспензии предварительно обработанной более мощным УЗ и в водном растворе ЦН получены наименьшие значения d^V_{50} и наблюдается агрегативная устойчивость на протяжении всего эксперимента. Однако в водной суспензии на основе ЦН значения диаметра более чем 2 раза ниже, чем в предварительно обработанной УЗ суспензии (0,233 против 0,584 мкм).

Для сопоставления экспериментальных результатов, полученных методами СЭМ и ЛД, объемные распределения полученные ЛД, характеризующие 30 минуты, пересчитывали в количественные распределения (рис. 1в). Из сопоставления РЧР, полученных методом ЛД, видно, что в результате комбинирования УЗ обработки и стабилизации водной суспензии получается достаточно узкое распределение (рис. 1в), так как комбинирование этих методов позволяет разрушить агломераты, т.е. отсечь «хвост» на кривой, соответствующий агломератам от 0,4 до 2 мкм. При сопоставлении РЧР полученных методами СЭМ и ЛД в водном растворе ЦН, максимумы распределений близки друг к другу, d^N_{50} по данным СЭМ, составляет 0,290 мкм, а по ЛД – 0,193 мкм. Небольшое отличие связано с тем, что при анализе методом СЭМ, измерялись не только отдельные частицы, но и агломераты эти частиц. Ширина распределений, прежде всего, сказывается на средних значениях размеров, получаемых разными методами (табл. 1). Также стоит отметить, что полученный методом ЛД в водном растворе ЦН диаметр d^N_{50}, практически сопоставим с диаметром D[3,2] полученным БЭТ, не смотря на то, что это разные методы анализа. Размер ОКР (табл. 1) свидетельствует тому, что частицы нанопорошка, состоят из нескольких кристаллитов, что подобно зёренному строению объемных материалов, кроме того, наночастицы могут иметь поверхностный (или приповерхностный) аморфный слой, структура которого отлична от структуры ОКР.

Проведенная характеризация сухого нанопорошка и его суспензий будет пригодна для моделирования упаковки наночастиц при компактирование, с последующим спеканием и для определения оптимального режима спекания данного порошка, с целью получения беспористой керамики с высокой плотностью.

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ НИКЕЛЯ ДЛЯ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ХОЛЕСТЕРИНА

А.А. Лукина, К.В. Дёрина, А.П. Ильин, Е.И. Короткова, Д.В. Исмаилов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: avmost@tpu.ru

Холестерин играет существенную роль в организме человека: он формирует клеточные мембраны и липидные рафты, регулирует текучесть и кривизну клеточных мембран, а также является частью мевалонатного сигнального пути. Таким образом, определение холестерина в биологических объектах представляет интерес, как для клинической диагностики, так и для направленной терапии ряда сердечнососудистых и метаболических заболеваний [1,2]. Наиболее часто в клинической практике применяются ферментативные методы определения холестерина [3], что обусловлено экспрессностью, высокой чувствительностью, специфичностью и возможностью работы в водных средах. Тем не менее, применение ферментов характеризуется рядом недостатков. Так, например, склонность белков к денатурации негативно отражается на прецизионности таких методик. В данной работе предложен способ неферментативного определения содержания общего холестерина методом вольтамперометрии на модифицированном углеродном электроде.

Электрохимические измерения проводили при помощи трехэлектродной ячейки, в которой в качестве рабочего применяли модифицированный углеродсодержащий электрод. В качестве электродов сравнения и вспомогательного выступали хлорид-серебряные электроды. Для модификации рабочего электрода использовались 2,6-диацетил-2,4,6,8-тетраазабицикло[3.3.0.]октан-3,7-дион-дифосфоновая кислота (ДАГУДФК) и наночастицы никеля. ДАГУДФК представляет собой структурный аналог флавинадениндинуклеотида (ФАД), в свою очередь, входящего в состав холестерол оксидазы – фермента, отвечающего за окисление холестерина в организме человека. Ранее была показана возможность применения ДАГУДФК в качестве модификатора электродной поверхности для оценки содержания холестерина в продуктах питания [4]. Для модифицирования поверхности электродов были выбраны наночастицы никеля, полученные с помощью электрического взрыва никелевого проводника в среде аргона [5]. Распределение наночастиц является нормальнологарифмическим с максимумом в области 110 нм. Особенностью строения наночастиц является их энергонасыщенное состояние, которое делает наночастицы чувствительными к незначительным изменениям физико-химических свойств окружающей среды. Следовательно, перспективным является исследование наночастиц электровзрывного нанопорошка никеля в качестве модифицирующей добавки для электродов.

В качестве подложки для модификации использовали композитный электрод, представляющий собой смесь 80% полиэтилена высокого давления и 20% пиролитического графита, которая запрессовывалась литьем под давлением в трубку из полиэтилена низкого давления. Выбранный материал подложки позволяет обеспечить простоту обновления электрода путем срезания части рабочей поверхности. На подложку наносили смесь углеродных чернил и наночастиц никеля, которая впоследствии пропитывалась насыщенным водным раствором ДАГУДФК. Углеродные чернила изготавливалии из вспененного полистирола и пиролитического графита в среде 1,2-дихлорэтана. В качестве фонового электролита использовали фосфатный буфер с pH, близким к физиологическому.

При введении холестерина в ячейку наблюдали снижение пиков электроокисления и электровосстановления никилевых наночастиц (+0,31 В и +0,44В, соответственно), а также наблюдали собственный сигнал электроокисления холестерина при потенциале +0,51В. В качестве рабочего был выбран последний сигнал. Получена зависимость токов электроокисления от содержания холестернина в ячейке. Диапазон линейности составил 0,35 ммоль/дм^3 до 45 ммоль/дм^3. Рассчитанный по 3σ-критерию предел определения составил 0,12 мкмоль/дм^3. Была построена Тафелевская зависимость, коэффициент переноса составил 0,5. Расчет константы переноса электрического заряда и оценка вклада диффузионной составляющей процесса в формируемый сигнал проводили по критерию Семерано. Установлено, что процесс является диффузионно-контролируемым, необратимым. Кроме того, проводили исследование влияния ключевых аналитов, содержащихся в биологических объектах,

на сигнал электроокисления холестерина. В качестве их выступали аскорбиновая кислота, мочевина, глюкоза, альбумин и пировиноградная кислота. Соотношения холестерина к указанным аналитам, соответствовали таковым в цельной крови. Существенного влияния не установлено.

Таким образом, предложенный способ позволяет исключить применение ферментативных систем, что позволит повысить стабильность работы и увеличить срок службы предлагаемого электрода. Кроме того, применения наночастиц никеля позволило существенно понизить потенциал элеткроокисления холестерина по сравнению с более ранними работами, что, в свою очередь, играет существенную роль для применения данного электрода в клинической практике.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, проект № 11.1928.2017/4.6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cortes V.A., Busso D., Mardones P., Maiz A., Arteaga A., Nervi F., Rigotti A. Advances in the physiological and pathological implications of cholesterol // Biological Reviews – P.88 – No 4 – P. 825-843
2. Tarling E.J., Vallim T.Q., Edwards P.A. Role of ABC transporters in lipid transport and human disease // Trends in Endocrinology and Metabolism – V.24 – No 7 – C.342-350
3. Stone N.J., Robinson J.G., Lichtenstein A.H. ACC/AHA guideline on the treatment of blood cholesterol to reduce atherosclerotic cardiovascular risk in adults // Journal of the American College of Cardiology – 2014 – V. 63 – P. 2889–2934.
4. Дёрина К. В., Короткова Е. И., Дорожко Е. В., Воронова О.А., Чулкова И. В. Определение холестерина в пищевых продуктах вольтамперометрическим методом // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2016 - Т. 82 - №. 11. - С. 11-16
5. Назаренко О.Б. Электровзрывные нанопорошки: получение, свойства, применение. – Томск : Изд-во ТГУ, 2005. – 148 с.

ДИФФУЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СТЕКЛОМЕТАЛЛОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ СТЕКЛА И СТАЛИ

А.В. Морковин, О.Н. Любимова
Научный руководитель: профессор, к.ф.-м.н. О.Н. Любимова
Дальневосточный федеральный университет,
690091, Россия, г. Владивосток, ул. Суханова 8
E-mail: roger...28@bk.ru

В данной работе рассматриваются технологические особенности изготовления нового конструкционного материала на основе стекла и стали – стеклометаллокомпозита [1,2]. На текущий момент получены экспериментальные образцы трехслойной цилиндрической трубы (АМг-алюмосиликат-АМг) [1] и двухслойного стержня (сталь (Ст3сп, ст10, ст 20)- стекло (С-49, СН 1)) [2], исследуются технологические режимы и свойства полученных образцов.

Температурная обработка стеклометаллокомпозита имеет свои особенности, при разных технологических режимах качество соединения может варьироваться от вакуумноплотного до спая с развитой диффузионной зоной на границе контакта.

Целью данной работы является моделирование ширины диффузионной зоны в зависимости от технологических параметров режима изготовления стеклометаллокомпозитного стержня.

Для достижения поставленной цели экспериментально исследовалась структура стеклометаллокомпозита из стекла СН-1 и стали 20. Образец представляет собой составной цилиндр со стеклянным сердечником и внешней стальной оболочкой (Рис.1). Рассматриваются два способа обработки внутренней поверхности стальных цилиндрических заготовок: холодная химическая обработка и обработка припоем на основе тетрабората натрия.

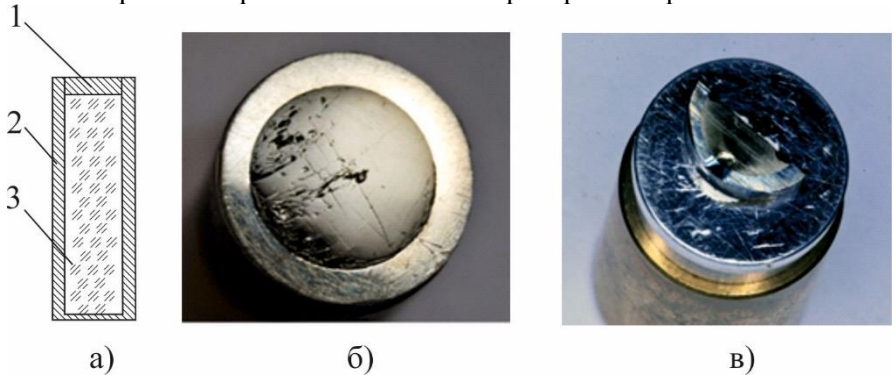


Рис. 1. а- Схематичное изображение образца стеклометаллокомпозита (1-крышка через которую передается давление, 2-стальная заготовка, 3-стеклянный цилиндр,), б- фотография среза готового образца, в- фотография микрошлифа образца

Для исследования структуры стеклометаллокомпозита готовился шлиф (Рис.1 в), микроструктура исследовалась на сканирующем электронном микроскопе HitachiS-3400N (Hitachi, Япония) в режиме отраженных электронов (BSECOMP) при различных увеличениях, элементный состав исследовался с помощью энергодисперсионного флуоресцентного анализа в отдельных точках и при линейном сканирований.

Для обработки экспериментальных данных (построения регрессионной модели) использовался полный факторный эксперимент типа 2^3, с числом факторов, равным 3, и числом уровней, равным 2. Количество опытов равно N=8 [3].

В качестве факторов оптимизации функции *y* (ширины диффузионной зоны) рассматривались три фактора: x_1 = T (температура), x_2 = t (время выдержки), x_3 = B (способ обработки – отсутствие или наличие буры). Варианты значений уровней факторов приведены в Таблице 1.

Таблица 1 - Варианты определения значений уровней факторов

Варианты	Уровень фактора	T (температура)	t (длительность обработки)	B (тип обработки)
I	-1	750,800	30,40,50,60 (≤60)	Без буры
	+1	850	100,120 (≥100)	С бурой
II	-1	750	30,40,50,60 (≤60)	Без буры
	+1	850	100,120 (≥100)	С бурой
III	-1	800	30,40,50,60 (≤60)	Без буры
	+1	850	100,120 (≥100)	С бурой
IV	-1	750	30,40,50,60 (≤60)	Без буры
	+1	800,850	100,120 (≥100)	С бурой

При проверке однородности дисперсии выяснилось, что дисперсии для варианта IV не однородны, поэтому регрессионная модель для варианта IV не строилась. Приведем результаты построения регрессионных моделей для вариантов I-III, в уравнениях оставлены коэффициенты, значимые на уровне значимости α=0,05:

$$y = 98{,}128 - 11{,}541T + 5{,}903t + 33{,}603B + 25{,}234TB \quad (1);$$
$$y = 89{,}444 - 2{,}856T + 6{,}806t + 33{,}931B + 2{,}781Tt + 24{,}906TB \quad (2);$$
$$y = 104{,}855 - 18{,}268T + 5{,}774t + 35{,}232B + 3{,}814Tt + 23{,}605TB \quad (3).$$

Полученные модели (1)-(3) адекватны и теоретически любая из трех описывает зависимость ширины диффузионной зоны от изменений параметров режима. Основной вывод, который следует из аналитических зависимостей (2)-(4) графически представленных на Рис. 3, заключается в том, что ширина зоны может быть сделана сколь угодно большой при увеличении температуры, времени выдержки и наличии буры. С одной стороны, это не противоречит экспериментально наблюдаемым диффузионным процессам при похожей технологии создание p-n переходов в полупроводниках: загонки примеси в поверхностный слой полупроводника и разгонки – распределении примеси по толщине полупроводника [4], экспериментально наблюдаемая в этой технологии зона, содержащая железо в полупроводнике, увеличивается с увеличением температуры и времени выдержки. С другой стороны, технология изготовления стеклометаллокомпозита имеет особенности, т.к. соединение стекла и стали происходит в окислительной атмосфере: при повышении температуры без обработки тетраборатом натрия (B=-1) наблюдается рост и структурное изменение состава оксидного слоя на стали, что приводит к уменьшению ширины зоны, с этим и связаны разные углы наклона на поверхностях (1)-(3), поэтому верхняя температура ограничена значением 850 °C.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пикуль В.В. К созданию композиционного наноматериала на базе стекла // Перспективные материалы.- №3.- 2008.- С. 78 -84.
2. Любимова О.Н., Морковин А.В., Дрюк С.А. Особенности структуры зоны соединения стекла и стали в технологии получения стеклометаллокомпозита. //Материаловедение.- 2017.- №4.- С. 3-7.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.- М.: Наука.-1976.- 280 с.
4. Раскин А.А., Прокофьева В.К. Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники: учебное пособие.Ч.1.-М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.-164 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ САМОВСПЕЕНИВАЮЩЕГОСЯ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА ПУТЕМ АККУМУЛИРУЮЩЕЙ МНОГОСЛОЙНОЙ ПРОКАТКИ

Н.А. Морозов, С.С. Саркисов
Научный руководитель: профессор, д.т.н. Е.Б. Черепецкая
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
Россия, г. Москва, Ленинский проспект, 4,119991
E-mail: morozov499@yandex.ru, sarkfoil@ya.ru

Существуют различные способы получения металлических пористых материалов [1]. Все известные способы можно разделить на два класса получения пенометаллов. Первый класс- это методы расплавления металла и ввод в него газообразных парафоров (литейный). Второй класс- это технологии порошковой металлургии, где в прессованный порошок металлов добавляется также порошковый парафор, и производится нагрев состава до вспенивания (порошковый).

Известны совмещенные методы литья и порошковой металлургии, применяемые для получения алюмоматричных композитов, армированных дисперсными частицами тугоплавких соединений, в том числе карбида бора – B_2C. К ним относятся метод инфильтрации расплава алюминия через пористый каркас из армирующего порошка; получение композиционного порошка методом механохимического синтеза (механического легирования) с последующим динамическим компактированием его на магнитно-импульсных прессах и др. [2]

Эти способы изготовления пористых композитов характеризуются повышенной трудоемкостью, требуют разработки конструктивно сложного специализированного оборудования и непригодны для массового производства.

В связи с этим является актуальным вопрос проведения прикладных исследований, направленных на изучение возможности применения способа прокатки для получения листового композиционного материала путем интенсивной пластической деформации (ИПД) методом аккумулирующей многослойной прокатки (АМП) с холодной сваркой [3]. Данный метод принципиально отличается от известных методов (литейного, порошкового, совмещенного) вспенивания, и является по сути новым классом вспенивания (прокатным- самовспенивающимся).

Проведены экспериментальные исследования получения самовспенивающегося композиционного материала путем аккумулирующей многослойной прокатки.

Изначально, исходный алюминиевый лист подвергали химическому обезжириванию, далее после сушки проводилась механическая зачистка контактирующих поверхностей путем крацевания с созданием шероховатости Ra>0,8мкм.

Собирался пакет из 3-х алюминиевых листов, между подготовленными контактирующими поверхностями вводился заранее подпрессованный порошок гидрида титана. Причем процентное содержания вводимого гидрида титана выбирался в зависимости от заранее заданной толщины увеличения при вспучивании и с учетом дополнительного его добавления при последующих циклах АМП. В общем случае процентное содержание вводимого гидрида титана находится в диапазоне 1-5% по массе композиционного материала.

На следующем этапе проводилась АМП с обжатиями от 30 до 70%. Полученный промежуточный пятислойный композит ($Al+TiH_2+Al+TiH_2+Al$) по описанной выше аналогии подготавливался путем химической и механической зачистки контактирующих поверхностей, был обрезан на две ленты по длине, накладывался друг на друга и проводилась повторная АМП. Таким образом далее прокат вели уже в два и более слоя с добавлением парафора между контактируемыми поверхностями.

В зависимости от заданного увеличения толщины после вспенивания процесс ИПД вели с логарифмической деформацией 5-12 единиц. Выбор единицы логарифмической деформации позволяет варьировать толщину увеличения при вспенивании термической обработкой.

На последнем проходе АМП собирался пакет из 2 и более подготовленных многослойных листов и вводилась между слоями активная вставка, в виде матрицы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (далее СВС), наноструктурированной фольги Al+Ni, причем контактирующие поверхности, аналогично подготавливаются химической и механической обработкой, пакет прокатывался по тому же принципу АМП.

Полученный металломатричный композит с активной вставкой подвергался инициализации СВС. В результате кратковременного нагрева происходит процесс волнового горения с образованием вспененного материала. (Рисунок 1) Причем в зависимости от заданной толщины вспенивания, регулировали параметры содержания TiH_2, его гранулометрический состав, логарифмическую деформацию, процентное содержание и количество слоев активной вставки. Толщина увеличения, или коэффициент увеличения при данном процессе самовспенивания достигает до 10 и более раз.

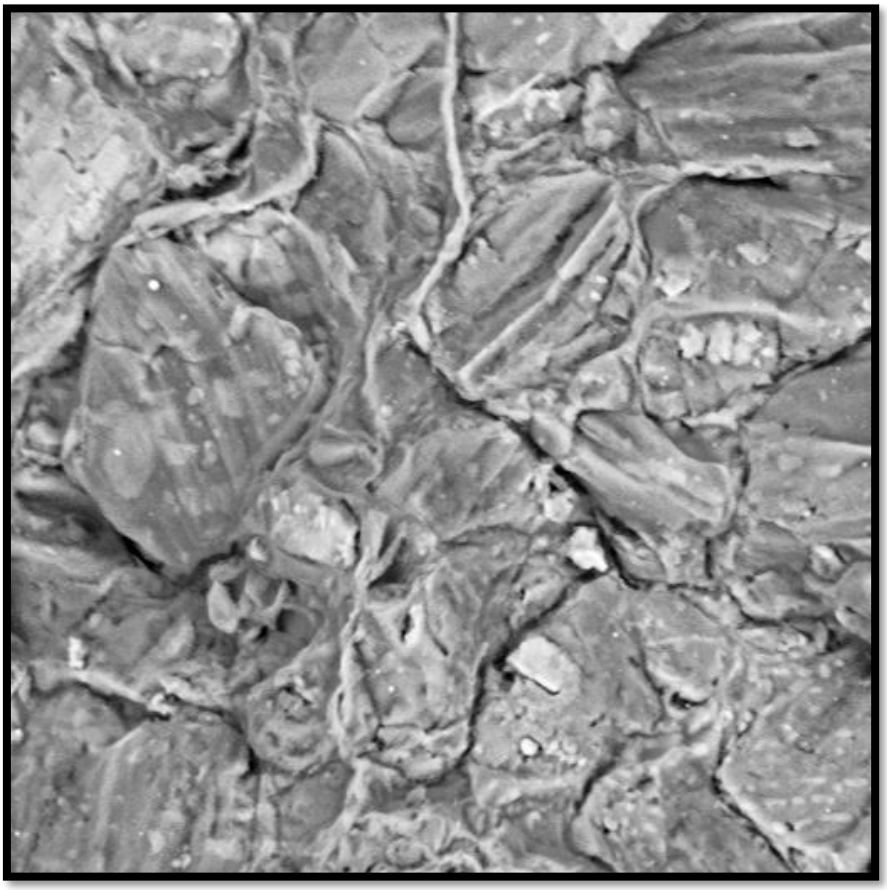


Рис. 1. Электронное изображение материала после инициализации СВС

Данный металломатричный материал, после вспенивания, может быть использован в судостроении, лифтостроении, автомобилестроении, авиастроении, звукоизоляции, теплоизоляции, в теплообменниках, строительстве и др.

Полученный вспененный материал имеет низкую плотность от 700кг/м^3, хорошие флотационные свойства, высокий уровень звукопоглощения и шумозащиты, теплоизоляции, теплообменные, демпфирующие свойства при ударах и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Metal Foams: A Design Guide. M.F. Ashby, A.G. Evans, N.A. Fleck, L.J. Gibson, J.W. Hutchinson and H.N.G. Wadley, Butterworth - Heinemann, 2000.
2. Кондратенко А.Н., Голубкова Т.А. Перспективные технологии получения и области применения наноструктурных металломатричных композитов (Обзор) // Журнал «Конструкции из композиционных материалов». 2009. №1. С.24-28.
3. И.И. Новиков, В.С. Золоторевский, К.К. Портной, и др. Металловедение, Учебник. М.- Издательский Дом МИМиС, 2009. Том 1. С.425-429.

ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ ПРЕКУРСОРОВ НА ПРОДУКТ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СИТЕМЫ SI-C

А.Р. Насырбаев, С.О. Погорелова, Д.С. Никитин
Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.А. Сивков
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: arn1@tpu.ru

Карбид кремния, обладая рядом уникальных свойств, является востребованным материалом во многих сферах деятельности. Благодаря кристаллической решетке, схожей с алмазной, карбид кремния обладает высокой износостойкостью и сверхтвердостью. Инертные свойства SiC позволяют использовать его в химически агрессивных средах. Перспективно использование карбида кремния в силовой электронике вследствие широкой запрещенной зоны (2,4 – 3,2 эВ) и высоких рабочих температур [1]. Все эти свойства позволяют использовать карбид кремния как основной материал для создания керамики с высокими технологическими свойствами.

В настоящее время вызывает большой интерес использование материалов, произведенных на основе наночастиц и порошков, которые показывают более высокие характеристики, чем их аналоги, произведенные на крупнозернистой основе [2]. На данный момент известны различные методы получения нанопорошков, в том числе и карбида кремния, которые недостаточно эффективны в виду ряда факторов.

В настоящей работе был использован метод, разработанный в ТПУ – плазмодинамический синтез в коаксиальном магнитоплазменном ускорителе (далее КМПУ). В основе такого метода лежит синтез в гиперскоростной углеродно-кремниевой электроразрядной плазме, генерируемой КМПУ с графитовыми электродами. При этом в камере-реакторе возникают достаточные условия для синтеза кубического β-SiC [3].

Была произведена серия экспериментов с различным соотношением прекурсоров (кремний и углерод). Опыты производились при нормальном давлении камеры-реактора, заполненной аргоном при комнатной температуре. Питание к ускорителю подводилось от емкостного накопителя энергии (C = 6 мФ, U = 3 кВ). Результатом синтеза были порошкообразные продукты, собираемые после полного осаждения частиц на поверхность камеры-реактора. Для продуктов плазмодинамического синтеза были исследованы фазовый и гранулометрический состав, определено, что продукт представляет собой нанодисперсный порошок системы Si-C с преобладающей фракцией кубического β-SiC.

Методом рентгеновской дифрактометрии (XRD) были получены дифрактограммы, представленные на рисунке 1. Порошок состоит из кристаллической фазы карбида кремния, соответствующей максиму интенсивности на дифрактограммах, а также из непрореагировавших частиц кремния и углерода. Анализ массового соотношения фаз, входящих в продукт синтеза, показал, что при увеличении соотношения прекурсоров растет содержание непрореагировавших фаз. Заметна тенденция роста массового содержания в конечном продукте той фазы, которая была увеличена в прекурсорном соотношении. При соотношении Si:C = 3:1 были достигнуты наилучшие условия для синтеза кубического карбида кремния.

Электронная микроскопия (TEM) продуктов предоставила визуальные доказательства того, что продукт плазмодинамического синтеза нанодисперсный и основной его составляющей является фаза карбида кремния. Судя по микроснимкам (типичный представлен на рисунке 2), частицы карбида кремния принимают разнообразные формы, такие как многоугольники с усеченными вершинами.

Результатом работы является проведение плазмодинамического синтеза нанодисперсного карбида кремния в струе гиперскоростной струе плазмы в КМПУ. Полученный продукт синтеза был изучен методами электронной просвечивающей микроскопии (TEM) на микроскопе Philips CM 12 и рентгеновской дифрактометрии (XRD) на дифрактометре Shimadzu XRD 6000. Была установлена зависимость массового состава продукта синтеза от соотношения используемых прекурсоров.

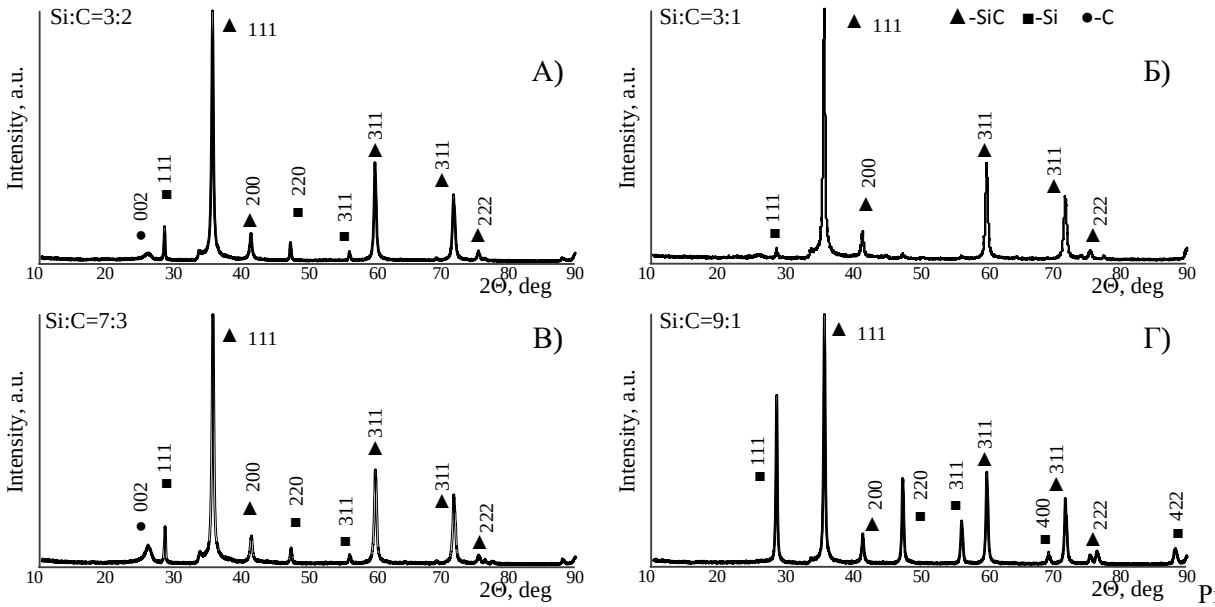


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы продуктов синтеза при различном соотношении прекурсоров

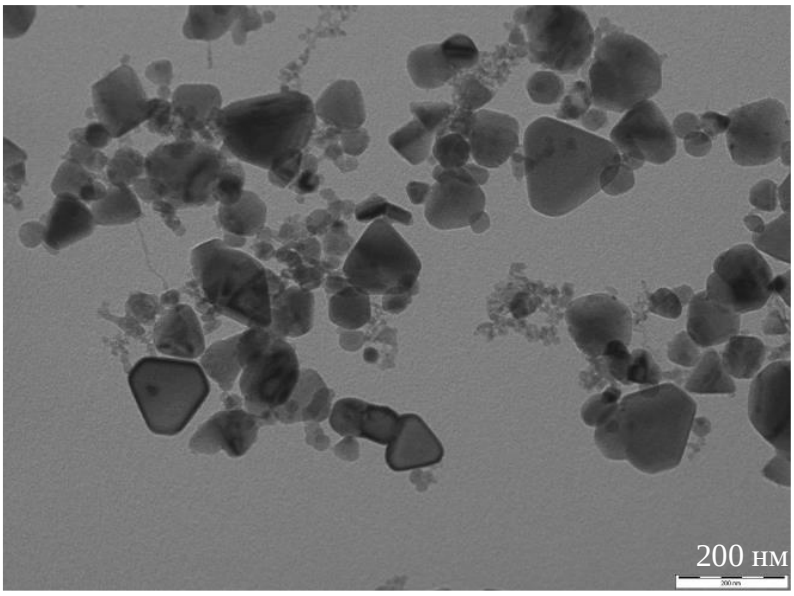


Рис. 2. Типичный снимок электронной просвечивающей микроскопии продукта синтеза

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андриевский Р. А. Наноразмерный карбид кремния: синтез, структура, свойства //Успехи химии. – 2009. – Т. 78. – №. 9. – С. 889-900.
2. Гусев, А. И. Рempель А. А. Нанокристаллические материалы. – М.: Физматлит, 2001. – 224 с.
3. Сивков А. А. и др. Прямой плазмодинамический синтез ультрадисперсного карбида кремния //Письма в журнал технической физики. – 2013. – Т. 39. – №. 2. – С. 15-20.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С НАПОЛНИТЕЛЕМ ZrO_2 И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

Н.Н. Непомнящих, Н.З. Мадаминов
Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.А. Кондратюк
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: niccomail@yandex.ru

В настоящее время к современным материалам предъявляются очень высокие эксплуатационные требования. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) не являются исключением. Для выполнения этих требований, использование термопластичных полимеров в роли матричного материала является наиболее эффективным решением при создании композитов. Благодаря своим специфическим свойствам, СВМПЭ относится к числу перспективных материалов.

С целью удовлетворения растущих потребностей промышленности, получило распространение создания композитов с СВМПЭ в роли матричного материала, с различным количеством и типом наполнителей, для получения особых эксплуатационных свойств. К примеру, введением дисперсных наполнителей в относительно малых количествах можно добиться повышения прочностных характеристик композита [1].

Исходными материалами для данной работы являлись порошки СВМПЭ и диоксида циркония ZrO_2. Из исходных порошков нами были подготовлены композиции состава СВМПЭ с диоксидом циркония в количестве 0,5;1;3;5;10;15;20;25% (вес.) и изготовлены модельные заготовки высотой H=30 мм, диаметром=60 мм. Композиты были изготовлены методом компрессионного ГП на оригинальной установке, собранной на базе разрывной машины Р-20 [2].

Твердость полученных композитов (модельных заготовок) определялись на твердомере «ТКМ-359». Измерения проводились на верхнем и нижнем торцах заготовок, а также на поверхности дисков вырезанных посередине. Полученные данные приведены в виде гистограммы на рисунке 1.

Исследования деформационных свойств композитов проводилось на универсальной испытательной машине«Instron-5582», результаты испытаний приводятся на рисунке 2.

Вышеприведенные исследования проводились на стандартных образцах, в соответствии с ГОСТами. Результаты исследования обработаны с помощью Microsoft Excel [3].

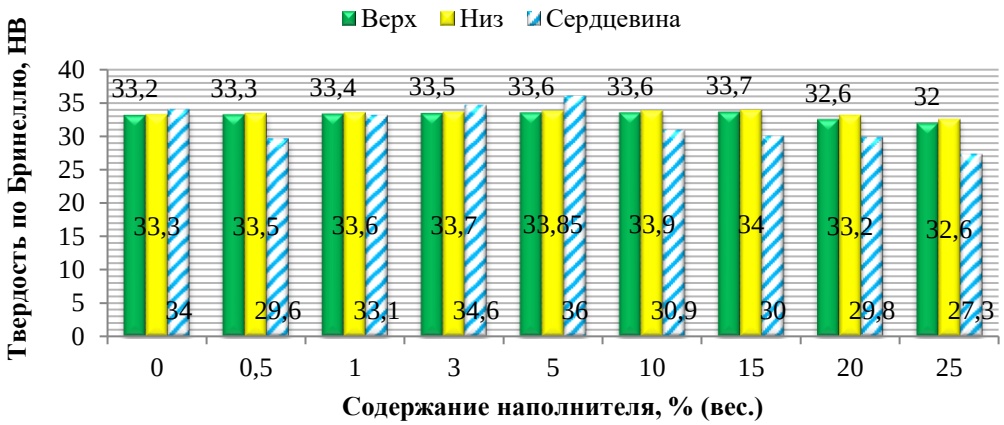


Рис. 1. Твердость композитов на основе СВМПЭ с различным содержанием диоксида циркония ZrO_2

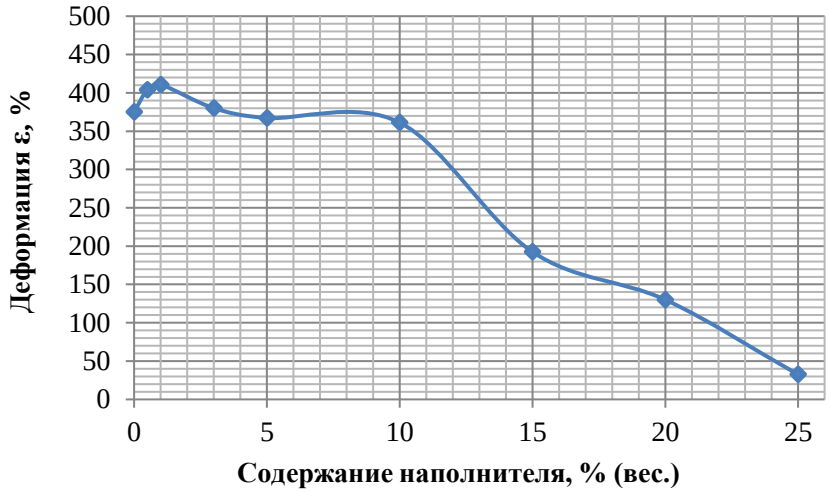


Рис.2. Диаграмма зависимости максимальной деформации разрушения от процентного содержания диоксида циркония ZrO_2

Результаты испытания композитов на растяжение показало, что введение в качестве наполнителя диоксида циркония в количестве 1% (вес.) приводит к получению максимальных деформационных значений.

Заключение. Из анализа полученных значений твердости (по Бринеллю) обнаружено, что у композитов с диоксидом циркония значение твердости различно для разноориентированных наружных поверхностей заготовки и её сердцевины, что объясняется нами наличием тонкого (не более 0,8 мм), более упрочненного, приповерхностного слоя. Значение твёрдости для внешних поверхностей заготовки повышается с увеличением содержания наполнителя до 15% включительно. Дальнейшее увеличение количества вводимого диоксида циркония снижает данный показатель. Разница значений твёрдости верхней и нижней поверхностей заготовки находится в пределе 1% от их усредненного значения. Показатель твёрдости сердцевины композитов в большинстве случаев уступает по своему значению твёрдости приповерхностных слоёв.

Введение диоксида циркония в количестве до 10% незначительно влияет на деформационные свойства композитов на основе СВМПЭ, однако дальнейшее увеличение его содержания резко снижает значения предельной деформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности / Под ред. И.Н. Андреевой, Е.В. Веселовской, Е.И. Наливайко и др.–Л.: Издательство Химия, 1982.–80с.
2. А.А. Кондратюк, А.А. Клопотов, А.Н. Муленков, А.И. Зиганшин, Е.А. Васендина. // Изв. Вузов. Физика. – 2012. – № 5/2. – С. 151-155.
3. Vitske R.E., Kondratyuk A.A., Nesterenko V.P. Influence of Filling Agent Quantity on Characteristics of Polymeric Composites // Key Engineering Materials. – 2016 – Vol. 685. –p. 548–552.

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОГО ДИОПСИДА НА ФОРМОВОЧНЫЕ СВОЙСТВА СУГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ

Н.Ю. Николаев
Научный руководитель: профессор, д.т.н. С.А. Шахов
Сибирский государственный университет путей сообщения,
Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, 630049
E-mail: nikolaevh13@mail.ru

К нетрадиционному минеральному сырью относятся кальций-магниевые силикаты, решение проблемы вторичного использования которых в производстве строительной керамики позволит вовлечь в хозяйственную деятельность значительные объемы диопсидсодержащих пород.

Применение добавок диопсидсодержащих пород позволяет получать изделия строительной керамики с пониженной воздушной усадкой до 1% и пределом прочности на изгиб (32-51 МПа) [1-3].

Улучшение физико-механических характеристик изделий строительной керамики с добавками диопсида связывают с образованием фазы анорита [3].

Однако, улучшение формуемости шихт на основе суглинистого сырья с добавками диопсидсодержащих пород продолжает оставаться актуальной задачей, ввиду малой изученности процессов коагуляционного структурообразования, определяющих реологические характеристики керамических суспензий.

Механоактивационное воздействие является инструментом достаточно тонкого управления структурно-механическими свойствами масс за счет изменения фазоразмерной гетерогенности дисперсных систем.

Цель работы заключается в оценке влияния добавки механоактивированного диопсида на формовочные свойства суглинистых шихт.

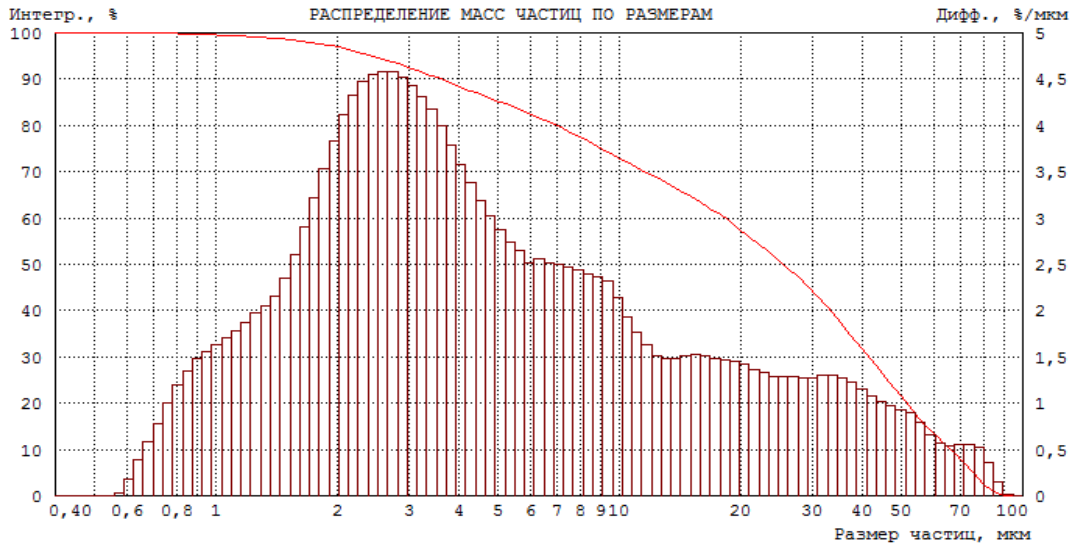


Рис. 1. Гранулометрический состав механически активированного диопсида

В работе использовался пылеватый умереннопластичный суглинок Каменского месторождения Новосибирской области.

Диопсидсодержащие породы Слюдянской группы месторождений Иркутсткой области отличаются процентным содержанием диопсида, которое возрастает с увеличением глубины залегания до 80%. Содержание оксида железа завышено в поверхностных слоях и может достигать 2%. Основным примесным минералом в породе является кварц.

Для использования в качестве модифицирующей добавки диопсидсодержащая порода была подвергнута механической активации в шаровой мельнице до удельной поверхности S=4000 см^2/гр. Гранулометрический состав добавки представлен на рисунке 1.

Значения эффективной вязкости, эластичности, пластичности, а также пластической прочности масс определялись с использованием методов физико-химической механики дисперсных систем на коническом и сдвиговом пластометрах.

С вводом непластичного компонента отмечается снижение оптимальной формовочной влажности суспензий.

При введении добавки диопсида в суглинистую шихту наблюдаются изменения и в деформационном поведении масс, заключающиеся в росте пластичности, а также снижении вязкости формовочных масс (таблица 1).

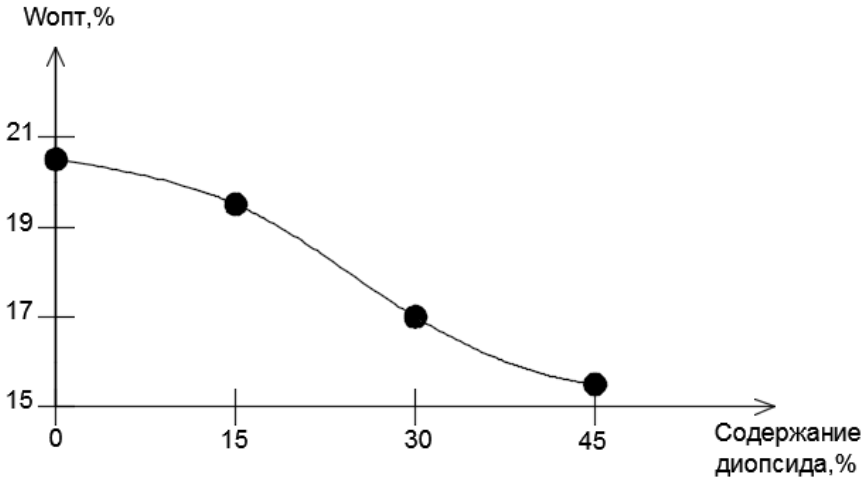


Рис. 2. Влияние добавки механически активированного диопсида на оптимальную формовочную влажность суглинистых шихт

Таблица 1 - Реологические характеристики составов с добавкой диопсидсодержащей породы

№	Состав	W_{opt}, %	$P_{m,\ opt}$, Па	Эластичность	Пластичность, $\cdot 10^{-6}$ сек$^{-1}$	Вязкость, Па·с
1	Суглинок 100%	20,0	200 000	0,191	2,192	1 824
2	Суглинок 85% + 15% диопсид	19,5	110 000	0,606	2,209	1 810
3	Суглинок 70% + 30% диопсид	18,0	80 000	0,418	10,300	339

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев, В.В. Диопсидовое сырье для керамической промышленности / В.В. Козырев // Пром-сть строит. материалов. Сер. 5. Керамическая промышленость: информ. Сб. Отечеств. опыт. – М.:ВНИИЭСМ, 1989. – Вып.1. – С. 3-8.Название книги / Под ред. И.О. Фамилия. – М.: Издательство, 2011. – 123 с.
2. Диопсидовые породы – универсальное сырье для производства керамических и других силикатных материалов / В.И. Верещагин, Ю.И. Алексеев, В.М. Погребенков и др. // Пром-сть строит. материалов. Сер. 5. Керамическая промышленость: аналитический обзор. – М.:ВНИИЭСМ, 1991. – Вып.2. – С. 60.
3. Физико-химические процессы взаимодействия диопсида с полиминеральным малопластичным глинистым сырьем / Т. В. Сафонова, Ю. А. Зыкова // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. - 2012. - № 10. - С. 188-194.
4. Бурученко А.Е. Применение нового современного вида сырья в производстве керамической плитки / А.Е. Бурученко, В.К. Меньшикова // Современные материалы, техника и технология: материалы 4-й Междунар. науч.-практич. конф. (25-26 декабря 2014 года) / редкол. А.А. Горохов; Юго-Зап.гос. ун-т, ЗАО «Университетская книга». - Курск, 2014. – С. 102-104.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СБОРА ЗАРЯДА АЛМАЗНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

В.В. Охотников, С.А. Линник, А.В. Гайдайчук
Научный руководитель: к.т.н. С.А. Линник
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: vvohotnikov@yandex.ru

Эффективность алмазных детекторов по отношению к радиационным повреждениям от ионизирующего излучения широко изучалась группой «Генерация радиационного детектора алмазного сердечника», получившей название совместной работы RD42 [1]. Это сотрудничество, созданное в 1995 году, изучало разработку детекторов на основе поликристаллического алмаза CVD (pCVD). Сотрудничество RD42 провело несколько исследований облучения алмазных детекторов для анализа радиационной деградации расстояния сбора заряда (CCD) алмазных сенсоров [2-6]. Основываясь на результатах этих исследований облучения, была создана модель, описывающая уменьшение CCD алмазных датчиков относительно радиационного повреждения [7, 8].

Эффективность сбора заряда алмазными детекторами определяется длиной свободного пробега λ носителей заряда. Алмазный детектор со средней длиной свободного пробега выше толщины детектора d имеет полную эффективность сбора заряда 100%, тогда как детектор с λ <d имеет уменьшенный CCE. Средняя длина свободного пробега носителей заряда определяется их временем жизни τ, которое определяется количеством дефектов в материале, которые, возможно, захватывают носители заряда и, следовательно, уменьшают их время жизни. Стандартная модель облучения основана на предположении, что количество дефектов N линейно возрастает с дозой облучения:

$$N(\Phi) = N_0 + k_N \times \Phi, \quad (1)$$

где Φ - плотность частиц, вызывающая радиационный ущерб, k_N - постоянная повреждения, определяющая линейность между дефектами, создаваемыми на единицу флюенса, и с N_0 в качестве начального числа дефектов для материала без облученного алмазного детектора. Время жизни носителя заряда τ обратно пропорционально числу дефектов N в решетке алмаза:

$$\tau_{e,h} \sim N^{-1} \quad (2)$$

Время жизни носителей заряда в алмазе различно для электронных и дырочных носителей. Для упрощения этой модели следующие шаги вычисляются с использованием только одного общего времени жизни носителей заряда для электронных и дырочных носителей: $\tau_{e,h} = \tau$. Это можно сделать, поскольку стандартная модель излучения окончательно будет выражена в терминах CCD, где электронные и дырочные носители больше не различаются. Объединение уравнений 1 и 2 приводит к:

$$\frac{1}{\tau(\Phi)} = \frac{1}{\tau_0} + k_\tau \times \Phi, \quad (3)$$

где постоянная k_τ сохраняет линейность до k_N в уравнении 1 и τ_0 - начальное время жизни носителей заряда для необлученного алмазного датчика. Длина свободного пробега λ может быть выражена как функция времени жизни τ и скорости дрейфа V_{drift} носителей заряда:

$$\lambda = V_{drift} \times \tau \quad (4)$$

Заменяя время жизни носителей заряда в уравнении 3 с соотношением в уравнении 4 для длины свободного пробега получается следующее уравнение:

$$\frac{1}{\lambda(\Phi)} = \frac{1}{\tau_0 \times V_{drift}} + \frac{k_\tau}{V_{drift}} \times \Phi, \quad (5)$$

$\tau_0 \times V_{drift}$ может быть выражено как λ_0, начальная длина свободного пробега для необлученного алмазного датчика и k_τ и V_{drift} может быть объединена с конечной постоянной радиационного повреждения k, что приводит к:

$$\frac{1}{\lambda(\Phi)} = \frac{1}{\lambda_0} + k \times \Phi \quad (6)$$

Уравнение 6 является широко используемой параметризацией, описывающей радиационные повреждения в алмазе. Так как длина свободного пробега не может быть измерена непосредственно, 6 обычно преобразуют в эквивалент в CCD, используя уравнение 7

$$\frac{1}{CCD(\Phi)} = \frac{1}{CCD_0} + k \times \Phi, \quad (7)$$

CCD алмазного детектора по отношению к радиационному повреждению полностью характеризуется постоянной излучения k, которая определяется типом частицы и энергией, вызывающей радиационный ущерб. Исследования облучения, проведенные совместным исследованием RD42, определили константу излучения k = 6,5 × 10^{-19} $см^2 \mu m^{-1}$ [5] для облучения протонами с энергией 24 ГэВ. В этих исследованиях, CCD поликристаллических алмазных датчиков CVD регулярно измеряли после нескольких этапов облучения. Таким образом, протоны с длиной 24 ГэВ являются «золотым стандартом», к которому необходимо преобразовать любой радиационный ущерб, чтобы провести расчёт характеристик алмазного детектора pCVD. Кроме того, было обнаружено, что стандартная модель излучения описывает также индуцированное радиацией снижение CCD алмаза sCVD с тем же k-фактором. Разница между алмазами pCVD и алмазами sCVD – только в начальном значении CCD – CCD_0, которое намного больше для алмазных датчиков sCVD. Алмазные датчики, используемые в этом исследовании, работали при напряжении смещения HV = 500 В, в результате чего достигалось электрическое поле E = 1 В / мкм [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Agnew P. Displacement thresholds in sapphire // Philosophical Magazine – 1992. – T. 65/2 C. 355–361.
2. Adam W. Radiation hard diamond sensors for future tracking applications // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment – 2006. – T. 565/1. – C. 278 – 283
3. Trischuk W. Recent advances in diamond detectors // Proceedings for IHCEP08 – 2008. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: arXiv:0810.3429v1 [physics.ins-det].
4. Kagan H. Development of Single Crystal Chemical Vapor Deposition Diamonds for Detector Applications // Доклад: The Ohio State University Research Foundation (United States). – USA, 2009.
5. Cristinziani M. Diamond prototypes for the ATLAS SLHC pixel detector // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment – 2010. – T. 623/1. – C 174–176.
6. Tsung J.-W. Signal and noise of diamond pixel detectors at high radiation fluences // Journal of Instrumentation. – 2012. – T. 7/09. – P09009.
7. Borchi E. Radiation damage in silicon detectors // La Rivista del Nuovo Cimento . – 1994. – 11. – C. 1–63.
8. Kassel F.R. The Rate Dependent Radiation Induced Signal Degradation of Diamond Detectors. Диссертация к. т. н. – Karlsruher, 2017 – 213 с.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В МАРТЕНСИТНОМ СОСТОЯНИИ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ДВУСТОРОННЕГО ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ В МОНОКРИСТАЛЛАХ $Ni_{53}Mn_{25}Ga_{22}$

М.В. Пичкалёва, Е.Е. Тимофеева, Е.Ю. Панченко
Научный руководитель: к.ф.-м.н. Е.Е. Тимофеева
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: mariska_713@mail.ru

Ферромагнитные монокристаллы на основе NiMnGa в настоящее время являются перспективными материалами, которые могут найти практическое применение в качестве актюаторов и датчиков, работающих за счет магнитоиндуцированных деформаций. Такие деформации реализуются за счет одновременного приложения внешних напряжений и магнитного поля [1]. В этом отношении важным свойством для практического применения является высокотемпературный двусторонний эффект памяти формы (ДЭПФ), который наводится в материале за счет создания внутренних дальнодействующих полей напряжений. Замена внешних напряжений внутренними позволила бы облегчить получение магнитоиндуцированных деформаций. Получить ДЭПФ возможно с помощью термомеханической обработки (ТМО). На монокристаллах CoNiGa и CoNiAl показано [2, 3], что низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО) в мартенситном состоянии за счет эффекта стабилизации мартенсита позволяет увеличить температуры мартенситных превращений (МП), изменить термический гистерезис и получить ДЭПФ.

Поэтому целью данной работы является исследование на монокристаллах $Ni_{53}Mn_{25}Ga_{22}$ (ат. %) влияния НТМО на температуры МП и на величину обратимой деформации при проявлении ДЭПФ.

Монокристаллы $Ni_{53}Mn_{25}Ga_{22}$ (ат. %) были выращены методом Бриджмена в атмосфере инертного газа. Образцы на сжатие имели размеры 4×4×8 мм^3. Для исследования была выбрана ориентация кристаллов <123> и исходное состояние монокристаллов было получено с помощью высокотемпературного отжига при T = 1273 К в течение часа с последующим медленным охлаждением (состояние 1). Затем проводилась НТМО в мартенсите при T = 423 К под нагрузкой (состояние 2). НТМО проводилась на электромеханической настольной разрывной машине Instron 5569. Последующие циклы охлаждение/нагрев для исследования ДЭПФ проводились на специально разработанной установке для измерения деформации образца при охлаждении/нагреве под постоянной минимальной нагрузкой σ = 4 МПа с выводом кривых ε(T) на компьютер.

МП при охлаждении/нагреве в свободном состоянии изучены по калориметрическим кривым. Температуры начала и конца прямого и обратного МП для состояния 1 M_s = 403 К и M_f = 367 К, A_s = 381 К и A_f = 414 К.

В данной работе была проведена НТМО способом, который заключался в том, чтобы реализовать МП в изотермических условиях только приложением нагрузки. При заданной температуре испытания T = 423 К > A_f в условиях развития сверхэластичности (СЭ) нагрузку на образец увеличивали до полного завершения прямого МП под нагрузкой (до σ_{max} = 170 ÷ 185 МПа). Выдержка при σ_{max} составляла 1 ÷ 3 часа. После выдержки нагрузка снималась для реализации обратного МП. После НТМО образец охлаждали до T ~ 300 К.

Экспериментально показано, что проявление ДЭПФ в монокристаллах состояния 2 зависит от режима НТМО. НТМО при T = 423 К, σ = 180 МПа и t = 1 час не приводит к развитию ДЭПФ, а только к небольшому увеличению на 0,5 % величины ЭПФ (ε_{SME}) до 1 %, по сравнению с кристаллами в состоянии 1, где обратимая деформация ε_{SME} составляла 0,5 % (рис. 1 а).

При увеличении времени НТМО до 2-3 часов при σ = 170÷185 МПа последующее после НТМО охлаждение образца до $T_K < M_f$ (прямое МП) вызывало изменение размеров образца (уменьшение). При последующем нагреве до T > A_f вся деформация являлась обратимой, то есть наблюдалось развитие ДЭПФ за счет появления внутренних полей напряжений. Предполагается, что данные поля появляются за счет перераспределения точечных дефектов и/или за счет искажений кристаллической решетки высокотемпературной фазы.

Максимальная величина обратимой деформации, полученная при ДЭПФ после НТМО, составила 3,2 % (рис. 1 б). Такую величину обратимой деформации также можно получить при одностороннем ЭПФ при охлаждении/нагреве под нагрузкой σ = 60 МПа. Следовательно, можно предположить, что величина внутренних напряжений, способствующих ДЭПФ величиной 3,2 %, близка к 60 МПа.

Нагрев до температуры, превышающей температуру НТМО T > 453 К и выше, при первом термоцикле ДЭПФ после НТМО вызывает «снятие» эффекта стабилизации мартенсита. Следовательно, изменения микроструктуры, благодаря которым возникают внутренние поля напряжений, обратимы при нагреве. После нагрева до 453 К сильно изменяется вид петли ε(T) – в 2,5 раза уменьшается обратимая деформация до 1,2 %, прямое МП характеризуется большим интервалом Δ_1 = 29 К, также, как и в отожженных монокристаллах. После нагрева до 473 К кривые ε(T) для состаренных монокристаллов и для отожженных становятся идентичными, а деформация близка в пределах погрешности.

Наблюдать ДЭПФ при многократном проведении циклов охлаждение/нагрев возможно при температуре, не превышающей температуру НТМО, T = 423 ± 5 К. Следует отметить, что циклирование до 5 термоциклов не приводит к уменьшению обратимой деформации, но способствует смещению температур МП. Получено, что в пятом цикле температура конца обратного МП A_f смещается на 8 К по сравнению с первым циклом. Такое изменение температур МП может быть связано с тем, что при нагреве до температуры 423 К > A_f эффект стабилизации мартенсита уменьшается.

Таким образом, на <123>-монокристаллах $Ni_{53}Mn_{25}Ga_{22}$ в состоянии 1 показано, что НТМО в мартенситном состоянии при T = 423 К, σ = 170 ÷ 185 МПа и t = 2-3 часа приводит к формированию ДЭПФ с максимальной величиной обратимой деформации до 3,2 %. Термоциклирование при T < 423 К (5 циклов) не изменяет величину деформации и слабо снижает температуру МП A_f.

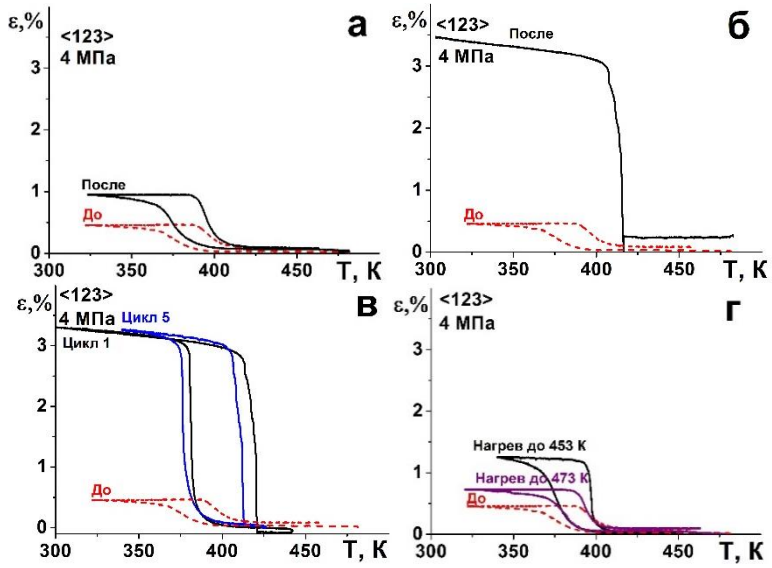


Рис. 1. Кривые ε(T) при проявлении ЭПФ и ДЭПФ:
а – НТМО при t = 1 час; б, в, г – НТМО при t = 2-3 часа; г – термоциклирование ДЭПФ после предварительного нагрева до 453 К и 473 К

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 16-19-10250.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Magnetic-field-induced bending and straining of Ni-Mn-Ga single crystal beams with high aspect ratios / J. Nikole [et al.] // Acta Materialia. – 2015. – V.95. – P. 284–289.
2. Martensite aging – Avenue to new high temperature shape memory alloys / T. Niendorf [et al.] // Acta Materialia. – 2015. – V.89. – P.298–304.
3. Two-way shape memory effect in [001] B2-oriented Co-Ni-Al single crystals / A. Eftifeeva [et al.] // Materials Today: Proceedings. – 2017. – in press.

ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОДИСПЕРСНОГО ДИБОРИДА ТИТАНА

С.О. Погорелова, А.Р. Насырбаев, Д.С. Никитин
Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.А. Сивков
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: sop2@tpu.ru

Материалы, основанные на боридах переходных металлов химически инертны, огнеупорны и обладают высокой твердостью и эластичностью, а также хорошими электрофизическими и ядерными свойствами. В связи с этим повышается актуальность синтеза таких боридов, как моноборид титана (TiB) и диборид титана (TiB_2). Они находят широкое применение в создании армирующих материалов в медицинских применениях; режущих и абразивных инструментов; электродов для плавления металла; поверхностных покрытий на железе, сталях, тугоплавких металлах; износостойкой составляющей наплавочных материалов и порошков для напыления в машиностроении и металлургии; защитных чехлов для термопар [1,2].

В настоящее время предложено достаточно большое количество методов синтеза диборида титана, таких как: карботермический синтез, механический синтез, золь-гель метод, помол в высокоэнергетической шаровой мельнице. Однако эффективные способы для получения нанодисперсного порошка в промышленном объеме при определенных условиях до сих пор не предложены.

В данной работе предлагается получение нанодисперсного диборида титана прямым плазмодинамическим методом в гиперскоростной струе электроразрядной плазмы, при этом задачей является выбор оптимального соотношения прекурсоров для получения наибольшего выхода диборида титана. Струю генерировали импульсным сильноточным коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) с титановым ускорительным каналом. В работах [3,4] показана возможность использования КМПУ для получения кристаллических материалов, в том числе и материалов в системе с титаном.

Было проведено 4 опыта при различном массовом соотношении прекурсоров Ti:B в % (26,7:73,3; 45,5:54,5; 61,1:38,9; 86,4:13,6). При этом для инициации дугового разряда на внутреннюю поверхность канала формирования плазменной структуры наносился графит в виде аэрозоля. Электропитание ускорителя осуществляли от емкостного высоковольтного накопителя энергии с емкостью конденсаторных батарей 9,6 мФ, при зарядном напряжении 3,75 кВ. Прекурсорами синтеза являлись порошок аморфного бора, который закладывался в зону формирования плазменной структуры, и титановый электрод-ствол, наработка титана происходила посредством электроэрозии с внутренней поверхности ускорительного канала. Возникала плазменная перемычка между центральным электродом и электродом-стволом, обеспечивая инициирование дугового разряда. Образовавшаяся плазменная струя со сверхзвуковой скоростью истекала в герметичный объем цилиндрической камеры-реактора, заполненный аргоном.

После сбора продукт без предварительной обработки был исследован методом рентгеновской дифрактометрии (XRD) на дифрактометре Shimadzu XRD 6000 (CuK_α-излучение). В таблице 1 приведены основные параметры серий опытов. О правильности проведенных исследований методом XRD можно судить по значениям добротностей R_{wp}/R_{exp}, которые принимают значения больше 1.

Согласно таблице 1 фаза диборида титана преобладает во всех экспериментах. Также видно, что при изменении соотношения прекурсоров изменяется выход борида и диборида титана, а также средний размер частиц. Наибольший выход диборида титана достигается в эксперименте с массовым соотношением прекурсоров 45,5:54,5, однако размер частиц борида титана в таком случае резко увеличивается. Первый эксперимент был проведен при процентном содержании бора 73,3%, что из диаграммы состояния Ti-B является областью для получения диборида титана. Выход TiB_2 также большой – 93,2% и размер частиц наименьший по сравнению с остальными опытами.

Таблица 1 - Результаты экспериментов

	Прекурсоры Ti, % | B, %		$m_{пор}$, г	W, кДж	Фазовый состав, %		ОКР, нм		Rwp/Rexp
					TiB_2	TiB	TiB_2	TiB	
1	26,7	73,3	1,45	33,9	93,2	6,8	56,1	16,7	26,8/11,6
2	45,5	54,5	0,96	35,3	96,2	3,8	67,8	46,7	28,2/12,6
3	61,1	38,9	0,85	33,1	94,6	6,4	60,8	14,5	28,0/20,0
4	86,4	13,6	0,90	31,3	86,8	13,5	51,0	20,7	30,9/16,9

Полученные дифракционные картины были проанализированы программой PowderCell. Рентгенограмма первого опыта приведена на рисунке 1. Из рисунка видно, что в продукте синтеза в основном содержатся фазы диборида титана, борида титана, а также присутствует фаза оксида бора B_2O_3.

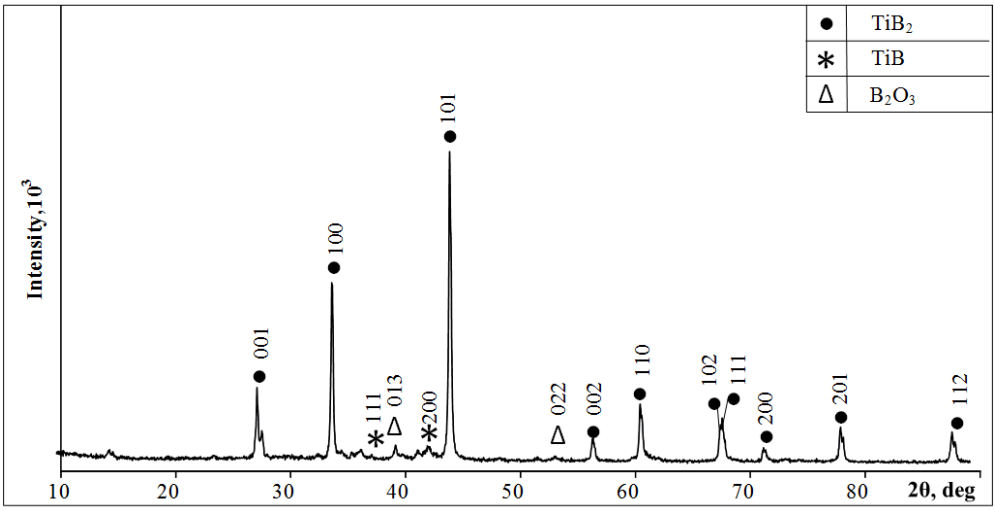


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма продукта при соотношении прекурсоров Ti:B 26,7:73,3

Таким образом, был произведен плазмодинамический синтез нанодисперсного порошка диборида титана с использованием графитизации при различном массовом соотношении прекурсоров. Оптимальным соотношением прекурсоров, при котором выход диборида титана составляет 93,2% и средний размер частиц не превышает 56,1 нм, является отношение Ti:B 26,7:73,3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Andrievski R. Nanostructured titanium, zirconium and hafnium diborides: the synthesis, properties, size effects and stability // Russian Chemical Reviews. – 2015. – V.84 (5). – P. 540-554.
2. H. Xiang, Z. Feng, Z. Li and etc. Temperature-dependence of structural and mechanical properties of TiB2: A first principle investigation // J. Appl. Phys. – 2015. –V. 117. – P. 225902
3. Евдокимов А. А. Плазмодинамический синтез ультрадисперсного нитрида титана и получение TiN-керамики методом искрового плазменного спекания: Дисс. канд. тех. наук. – Томск, 2013. – 216 с.
4. Sivkov A.A., Nikitin D.S., Pak A.Ya., Rakhmatullin I.A. Production of Ultradispersed Crystalline Silicon Carbide by Plasmodynamic Synthesis // J. Superhard Materials. – 2013. –V. 35. – № 3. – P. 137–142.

ИСКРОВОЕ ПЛАЗМЕННОЕ СПЕКАНИЕ – НОВЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДЬ-МОЛИБДЕНОВОЙ КЕРАМИКИ

Ю.Н. Половинкина, Ю.Л. Шаненкова
Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.С. Ивашутенко
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: ynp2@tpu.ru

Наиболее распространенной причиной отказа работы электронных приборов является низкий уровень терморегулирования – по статистике, более половины случаев всех отказов [1]. Ведь недостаточное охлаждение отрицательно сказывается на надежности и эффективности полупроводниковых компонентов. Для устранения данной проблемы было принято решение устанавливать электронные компоненты на подложки или пластины, выступающие в качестве элементов отвода тепла и обеспечивающие эффективное терморегулирование. Однако лишь немного материалы обладают требуемыми свойствами. В работах [2−4] показано синтезирование порошков Mo и Cu, а также дальнейшее получение композитов на их основе. Ведь Mo и Cu обладают низким коэффициентом теплового расширения и высокой электро- и теплопроводностью соответственно, что обуславливает их применение, как в промышленных, так и в военных целях. К сожалению, эти методы являются очень сложными и ресурсозатратными.

В работе предлагается новый способ получения медь-молибденовой керамики с помощью установки искрового плазменного спекания. Главными достоинствами данного метода являются относительное быстродействие и безопасность. Это позволяет получить композиты на основе Mo-Cu высокого качества, которое впоследствии смогут рассеивать тепло в электрических компонентах и помогать охлаждать IGBT-модули, RF-модули, кристаллы светодиодов и прочие изделия.

Для получения композитов в пресс-формы из графита засыпались порошки Cu и Mo в следующих соотношениях: Cu – 30%, Mo – 70%. Далее производилось спекание в SPS-установке при параметрах: P = 60 МПа, t = 10 минут, окружающая среда – вакуум, температура – от 1000 ºС до 1100 ºС, с шагом 20 ºС. Стоит отметить, что использовался нанопорошок меди, который, в свою очередь, был получен при помощи коаксиального магнитоплазменного ускорителя [5].

На рисунке 1 представлены рентгеновские дифрактограммы, выполненные на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000S, синтезированных продуктов, а также карточки предполагаемых фаз. Анализ продуктов проведен с помощью программы Powder-Cell и базы структурных данных PDF4. Видно, что основными фазами в полученных продуктах являются молибден с кубической сингонией (карточка № 42-1120) и медь (карточка № 85-1326) с такой же сингонией. Медь и молибден имеют пространственные группы Fm-3m (№ 225) и Im3m (№ 229) соответственно.

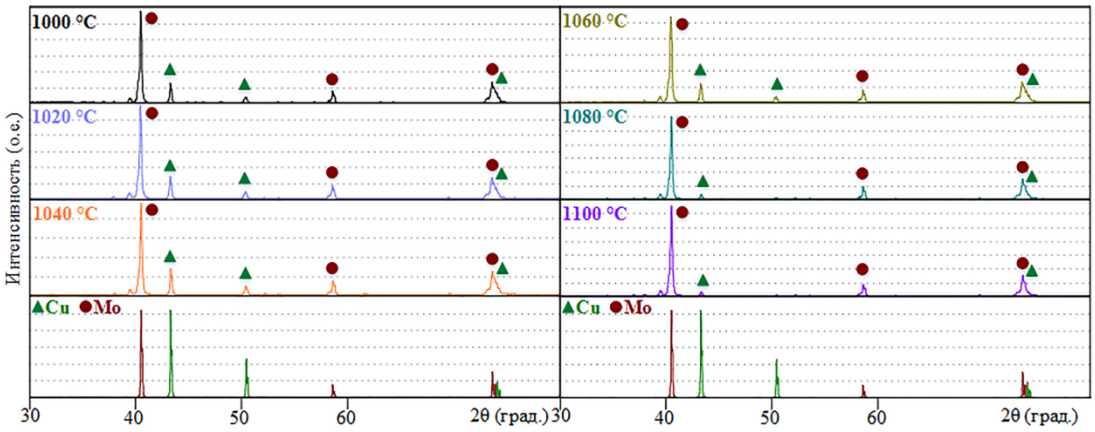


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы полученных продуктов и карточки предполагаемых фаз

При помощи сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM-3000 была исследована микроструктура имеющихся образцов. Результаты сканирования представлены на рисунке 2. Выяснилось, что наиболее оптимальной температурой спекания является 1040 °C. Для образца,

спеченного при данной температуре, характерно минимальное количество межзеренных пространств – отсюда высокая плотность материала. Также микрочастицы имеют минимальный размер, что обеспечивает более плотное прилегание частичек друг к другу. Плотность образцов, спеченных при температурах свыше 1040 °C, уменьшаются ввиду того, что медь начинает вытекать из-за слишком высокой температуры, что сопровождается образованием пор. По литературным данным, температура плавления меди составляет 1085 ºC.

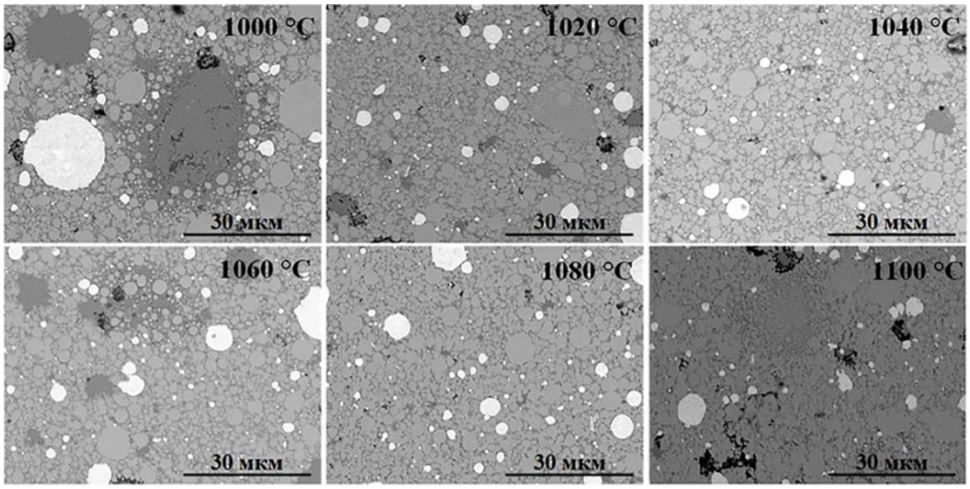


Рис. 2. Сканирующая электронная микроскопия для образцов, полученных при температуре спекания: а) t = 1000 °C; б) t = 1020 °C; в) t = 1040 °C; г) t = 1060 °C; д) t = 1080 °C; е) t = 1100 °C

Определена величина твердости по Виккерсу для полученных образцов с использованием твердомера Galileo (ISOSCAN HV2 OD). Выяснилось, что при увеличении температуры спекания твердость образцов увеличивается. Объясняется это тем, что повышенная температура спекания способствует более быстрому уплотнению материала. Высокая плотность образцов является причиной высокой твердости. Стоит отметить, что максимальная твердость достигнута при температуре 1100 ºC. Она составляет 385 HV, что значительно больше твердости чистого молибдена, равной 147 HV.

В конце хотелось бы отметить, что получены композиты методом искрового плазменного спекания, где в качестве основных составляющих компонентов выступали порошкообразные Mo и Cu. Присутствие этих фаз подтверждено результатами рентгеноструктурного анализа. По результатам исследования микроструктуры образцов определена оптимальная температура спекания, и составляет она 1040 °C. Стоит отметить, что образец, имеющий максимальную твердость по Виккерсу, получен при 1100 °C, и величина твердости составляет около 385 HV.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Amerasekera E. A, Farid N. Najm. Failure mechanisms in semiconductor devices. – Wiley, 1997.
2. Wang D. et al. The sintering behavior of ultra-fine Mo–Cu composite powders and the sintering properties of the composite compacts // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2014. – T. 42. – P. 240-245.
3. Wang D. et al. Fabrication of Mo-Cu composite powders by heterogeneous precipitation and the sintering properties of the composite compacts // Journal of Alloys and Compounds. − 2016. – T. 674. – P. 347-352.
4. [Aydinyan S.V., Kirakosyan H.V., Kharatyan S.L. Cu–Mo composite powders obtained by combustion–coreduction process // Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2015. – T. 54. − P. 455-463.
5. Половинкина Ю. Н., Шаненкова Ю. Л., Сайгаш А.С. Нанесение медного покрытия на алюминиевые поверхности с высокой прочностью сцепления // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 26-29 апреля 2016 г.: в 7 т. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1: Физика. — С. 229-231.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТРОПНОГО АДГЕЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОРОШКООБРАЗНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ С ПОЛИМЕРНЫМ СВЯЗУЮЩИМ

Н.В. Половникова, В.П. Ковалев, А.М. Громов, И.И. Теплова
Научный руководитель: к.т.н. А.М. Громов
АО "Федеральный научно-производственный центр "Алтай"
Россия, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322
E – mail: nadiaspol@mail.ru

Механические характеристики наполненных полимерных материалов (НПМ) определяются свойствами наполнителя, связующего и их адгезионным взаимодействием [1,2].

Для оценки адгезионного взаимодействия порошкообразного наполнителя с полимерной матрицей была разработана методика, суть которой заключается в следующем: в измерительную ячейку заливается отвакуумированная рабочая жидкость, помещается исследуемый образец НПМ (рис. 1), и устанавливается поршень, который вытесняет остаточный воздух. Собранная измерительная ячейка крепится в захвате разрывной машины, включается система перемещения захвата машины. При движении поршня в цилиндре производится автоматическая регистрация изменения растягивающей нагрузки (*F*), возникающей при приложении к телу гидростатического давления жидкости.

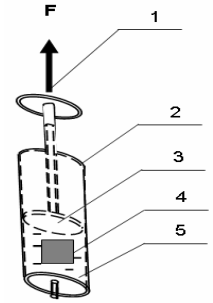
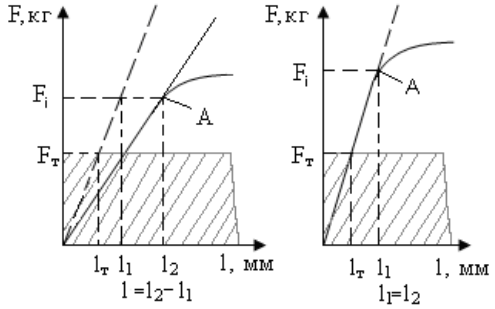


Рис. 1. Измерительная ячейка для определения характеристик внутриобъёмных взаимодействий наполнителя к связующему: 1 – направление движения поршня в момент измерения; 2 – цилиндр; 3 – поршень; 4 – образец; 5 – рабочая жидкость

Затем для определения сил трения поршня о стенки цилиндра ($F_т$) устройство разгерметизируется, включается рабочий ход машины и снова проводится запись графической зависимости нагрузки от перемещения поршня.

На рисунке 2 представлены типичные диаграммы нагружения ячейки с образцом и без него.



а б

Рис. 2. Типичные диаграммы нагружения: *а* –ячейка с «деформируемым» образцом, (----) ячейка без образца; *б* – ячейка с «недеформируемым» образцом

В случае слабого скрепления наполнителя со связующим в НПМ при относительно небольших внешних растягивающих напряжениях происходит отслоение частиц наполнителя от полимерной матрицы, что отражается на диаграммах нагружения (рисунок 2 а). Линейный (начальный) участок на диаграммах нагружения образцов связан с деформационными свойствами полимерной матрицы, скрепленной с частицами наполнителя. Нелинейный участок на диаграммах связан с деформированием отслоившейся от наполнителя полимерной матрицы. Численное значение величины прочности адгезионного соединения наполнителя с полимерной матрицей определяется по точке А (пересечение

линейного и нелинейного участков) на диаграмме нагружения. Затем опускается перпендикуляр до значения величины трения поршня о стенки цилиндра и измеряется нагрузка F_a, кг и длина диаграммной ленты $l_{диагр}$, мм.

Известно, что однородный материал при всестороннем растяжении деформируется по закону Гука:

$$\sigma_a = K_p \cdot \theta$$

где K_p – объемный модуль при растяжении, кгс/см^2;

θ – объемная деформация, в относительных единицах (0,01 = 1 %);

σ_a – прочность объемного адгезионного взаимодействия , которая тождественно равна давлению, возникающему в жидкости (P = F_a/S, кгс/см^2) при нагрузке на поршень (σ_a= F_a,), действующей на площадь поперечного сечения поршня ($S = \pi \cdot D^2/4$, см^2);

$F_a = F_i - F_т$ – нагрузка, соответствующая точке А, кгс;

F_i – нагрузка при которой происходит объемное разрушение образца, кгс

$F_т$ – сила трения поршня в цилиндре, определяемая при нагружении разгерметизированной измерительной ячейки с рабочей жидкостью.

Объемная деформация на момент разрушения (θ, %) определяется следующим образом:

$$\theta = \frac{\Delta V}{V_{об}} \cdot 100 \ \%$$

где $\Delta V = l \cdot S$ – изменение объема образца, мм^3;

S – площадь поперечного сечения поршня, мм^2;

$l = l_{диагр} \cdot V_{маш} / V_{диагр}$ - перемещение поршня, мм;

$V_{маш}$ – рабочий ход машины, мм/мин;

$l_{диагр}$ – длина диаграммы до точки «А», мм;

$V_{диагр}$ – скорость протяжки диаграммной ленты, мм/мин;

$V_{об} = m \cdot 1000/\rho$ – объем образца, мм^3;

m – масса образца, г;

ρ – плотность образца, г/см^3.

Объемный модуль образца (K_p, кг/см^2), определяется:

$$K_p = \frac{\sigma_a}{\theta}$$

Для проверки достоверности результатов проводилась серия из пяти параллельных испытаний, рассчитаны σ_a, θ, K_p и их средние квадратичные отклонения ($\overline{\sigma}_a, \overline{\theta}, \overline{K}_p$), соответственно [2].

Предложенным методом проводились измерения адгезионных взаимодействий порошков: алюминия, перхлората аммония и октогена с полимерным связующим, оценивалась точность этих измерений [3]. Показано, что по прочности адгезионного взаимодействия в порядке уменьшения исследуемые порошки образуют ряд алюминий – перхлорат аммония – октоген.

Разработанный метод определения прочности адгезионного взаимодействия порошкообразных наполнителей с полимерной матрицей, который основан на всестороннем (объемном) растяжении образца, является воспроизводимым и может быть рекомендован для количественной оценки адгезионного взаимодействия порошкообразных наполнителей с полимерными связующими.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мошев В.В. Структурные механизмы формирования механических свойств зернистых полимерных композитов. Под ред. - Екатеринбург: УрО РАН, 1997.- 508с.
2. Липатов Ю.С., Сергеева Л.М. Адсорбция полимеров. –1972. – К.: Наука думка.– 196 с.
3. Степанов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение. – 1985. – 232., ил.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА НА ГРАФИТОВЫХ ЭЛЕКТРОДАХ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА

Э.И. Радченко
Научный руководитель: доцент, к.х.н. Д.О. Перевезенцева
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: radchenkoa98@gmail.com

В век высоких технологий возрос интерес к исследованиям, посвященным использованию наночастиц (НЧ) металлов для изготовления сенсоров, используемых в различных сферах деятельности человека благодаря их особым каталитическим и адсорбционным свойствам, отличным от свойств консолидированных материалов. Использование НЧ серебра, золота платины для получения электрохимических сенсоров позволяет проводить вольтамперометрическое определение биологически активных веществ с низкими пределами определения, что делает вольтамперометрию конкурентно способным методом для определения биологически активных веществ наряду со спектрофотометрией и хроматографией [1, 2]. Поэтому данная работа посвящена изучению электрохимического поведения пероксида водорода на графитовых электродах (ГЭ), модифицированных НЧ серебра (Ag), в зависимости от условий их получения.

НЧ Ag получали методом химического восстановления с использованием цитрата натрия и борогидрида натрия в отсутствие высокомолекулярных стабилизаторов по методике, описанной в [3]/ Определение характеристик НЧ Ag проводили при помощи методов просвечивающей электронной микроскопии (JEM-2100F), спектрофотометрии (Carry 80), циклической вольтамперометрии (анализатор ТА-2, Томск). Электроосаждение НЧ Ag на поверхность ГЭ проводили при потенциале -0,8 В в течение 300 с. Затем вольтамперограммы НЧ Ag и пероксида водорода регистрировали в трехэлектродной ячейке в режиме циклической вольтамперометрии в растворе фонового электролита 0,1М NaOH на ГЭ в диапазоне развертки потенциалов от -1,0 В до +1,5 В при скорости развертки потенциалов 40 мВ/с.

НЧ-Ag представляют собой сложные коллоидные системы, состоящие из частиц различной формы и размера и окисленной формы металла, зависящей от природы восстановителя. НЧ Ag, полученные с использованием смеси боргидрида и цитрата натрия (БГЦ-НЧAg) в качестве восстановителя имеют сферическую форму размером от 0,5 нм до 35 нм. НЧ Ag, полученные с использованием боргидрида натрия (БГ-НЧAg) состоят из частиц различной формы (призмы, палочки) с размером от 5 нм до 75 нм. БГ-НЧAg агломерированы, что согласуется с литературными данными [3].

В оптическом спектре НЧ Ag, полученных по боргидридной методике, наблюдается максимум при длине волны λ = 417 нм, а НЧ Ag, полученных по боргидридцитратной методике, при λ = 415 нм, что согласуется с данными, полученными электронной микроскопией.

На анодной ветви циклической кривой БГ-НЧAg наблюдаются плечо при потенциале E = 0,4 В, максимум при потенциале E = 0,6 В и волна при потенциале E = 1 В, что обусловлено фазовыми переходами серебра в разных степенях окисления. На катодной ветви циклической кривой наблюдаются волна при потенциале E = 0,3 В, максимумы при потенциалах E = 0,05 В и E = -0,3 В, обусловленные фазовыми переходами серебра. На анодной ветви циклической кривой (БГЦ-НЧAg) наблюдаются плечо при E = 0,3 В, максимумы при E = 0,45 В и волна при E = 0,9 В. На катодной ветви циклической кривой наблюдаются волна при E = 0,4 В, максимум при E = -0,15 В. На анодной ветви циклической кривой НЧ Ag, полученной по цитратной методике, наблюдаются плечо при E = 0,4 В, максимумы при E = 0,6 В и волна при E = 1,1 В. На катодной ветви циклической кривой наблюдаются волны при E = 0,45 В и E = 0,07 В, максимум при E = 0,3 В. Показано, что БГЦ-НЧAg имеют наименьшую электрохимическую активность, наблюдается смещение потенциала первого анодного максимума на 150 мВ в область более отрицательных потенциалов, первого катодного максимума н 150 мВ в область более положительных потенциалов в избытке восстановителя, что указывает на облегчение процессов окисления и восстановления фаз таких НЧ Ag и согласуется с литературными данными [3,4]. Предложен механизм окисления и восстановления НЧ Ag на поверхности ГЭ:

Фазовые переходы серебра в анодных процессах:

$$2Ag + 2OH^- = Ag_2O + H_2O + 2e \qquad (1)$$

$$Ag_2O + OH^- = 2AgO + H_2O + 2e \quad (2)$$
$$2AgO + 2OH^- = Ag_2O_3 + H_2O + 2e \quad (3)$$

Фазовые переходы серебра в катодных процессах:

$$AgO+ + e = AgO \quad (4)$$
$$Ag_2O_3 + H_2O + 2e– \rightarrow 2AgO + 2OH^– \quad (5)$$
$$O_2 + H_2O + 2e– = HO_2^– + OH^– \quad (6)$$
$$2AgO + H_2O + 2e– \rightarrow Ag_2O + 2OH^– \quad (7)$$
$$Ag_2O + H_2O + 2e– \rightarrow 2Ag + 2OH^– \quad (8)$$

Установлено, что при добавлении пероксида водорода в систему БГ-НЧAg потенциалы максимумов на анодной ветви циклической кривой смещаются в область более отрицательных потенциалов на 50 мВ, потенциалы максимумов на катодной ветви циклической кривой смещаются в область более положительных потенциалов на 50 мВ. При добавлении пероксида водорода в систему БГЦ-НЧAg потенциалы максимумов на анодной ветви циклической кривой смещаются в область более отрицательных потенциалов на 100 мВ, потенциалы максимумов на катодной ветви циклической кривой смещаются в область более положительных потенциалов на 100 мВ. Предложен электокаталитический механизм окисления и восстановления пероксида водорода на модифицированном НЧ Ag на ГЭ:

$$Ag_2O_3 + H_2O_2 = 2AgO + H_2O + O_2 \quad (9)$$
$$AgO + 2OH^- = AgO+ + HO_2^- + H+ + 3e \quad (10)$$

Таким образом, показано, что электрохимическая активность НЧ Ag и пероксида водорода а также положение их максимумов по шкале потенциалов на анодной и катодной ветвях циклической кривой зависит от их размера и формы, а следовательно, от природы восстановителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вертелов Г.К., Оленин А.Ю., Лисичкин Г.В. // Журнал аналитической химии. – 2007. – Т. 62. – № 9. –С. 903 – 915.
2. Перевезенцева Д.О., Миронец Е.В., Горчаков Э.В. Способ определения цистеина в водных растворах методом циклической вольтамперометрии на графитовом электроде, модифицированном коллоидными частицами золота. Заявка на патент РФ № 2011120884, 24.05.2011.
3. Коршунов А.В., Перевезенцева Д.О., Коновчук Т.В., Миронец Е.В. Влияние дисперсного состава золей серебра и золота на их электрохимическую активность // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 3. – С. 6-13.
4. Золото: химия, минералогия, металлургия / Под ред М.А.Меретуков. –М.: Руда и металлы, 2008. 528 с.
5. Perevezentseva, D.O., Gorchakov, E.V., Oskina, Yu.A. Electrolytic behavior silver microphases and nanophases on the graphite electrode surface 2016 Key Engineering Materials 712, pp. 117-122.

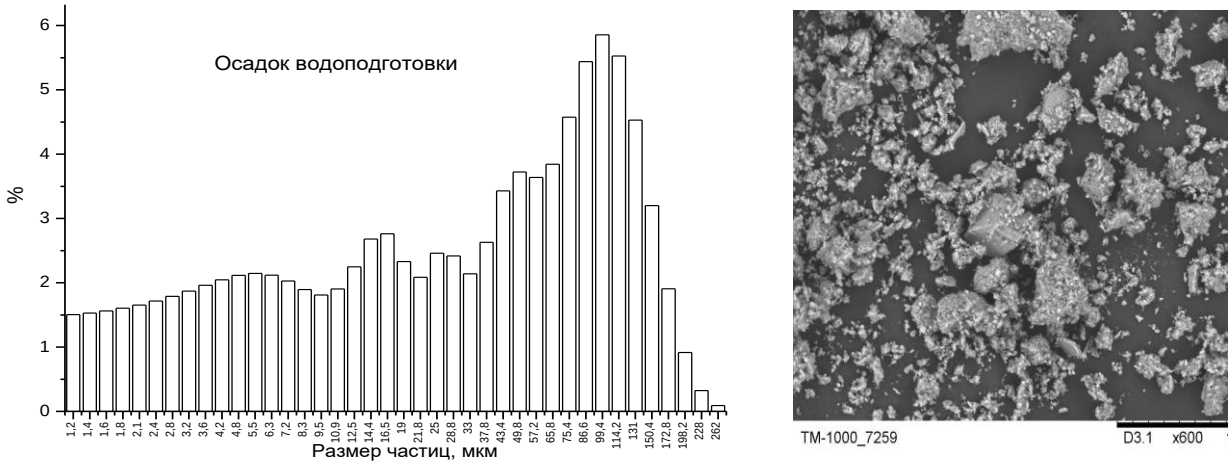
СТЕНОВАЯ КЕРАМИКА ИЗ ПЫЛЕВАТЫХ СУГЛИНКОВ МОДИФИЦИРОВАННАЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМИ ДОБАВКАМИ

Т.Л. Рудая
Научный руководитель: профессор, д.т.н. С.А. Шахов
Сибирский государственный университет путей сообщения,
Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, 630049
E-mail: RudayaTL@ya.ru

Вся производственная деятельность человека связана с неизбежностью образования различного рода отходов, которые поступают в окружающую среду. Одним из побочных продуктов антропогенной деятельности человека, осадки водоподготовки. Они формируются при подготовки воды на водопроводных станциях. И объемы их очень значительные. Однако, до настоящего времени наиболее распространенными приемами его удаления являются сброс обратно в поверхностные водоемы. Такой способ утилизации осадка влечет за собой целый ряд экологических проблем. Одним из актуальных направлений утилизации таких отходов является использование их в строительной индустрии[1-3]. Осадок с очистных сооружений природных вод является сложным органоминеральным образованием, структура и свойства которого формируются под влиянием всех стадий очистки стоков и обработки шлама. В результате механических, физических, химических и биологических процессов происходит образование самоорганизующейся структуры, спонтанное формирование которой происходит в открытых системах [4-6].

Цель работы выбор рационального состава и изучение модели структурообразования при спекании шихты на основе суглинка с высокодисперсными добавками техногенного и природного происхождения.

Использованный в работе в качестве добавки осадок водоочистки, представляет собой смесь минеральных и органических веществ, формирующуюся в виде коллоидного раствора (влажность 95-97 %) в процессе отстаивания на водоочистной станции №5 МУП Горводоканал г. Новосибирск [2]. В осадках доминирует оксид кремния. Сравнительно много оксидов алюминия, железа, магния и кальция. В минеральной части осадков обнаружено также наличие других (более 20) элементов. Органическая часть в представлена белками, углеводами и жирами, и составляет до 45 % массы [2, 3].



а б

Рис. 1. Гранулометрический состав (а) и микрофотография частиц (б) осадка водоочистки

Керамические образцы изготавливались методом пластического формования с последующей сушкой и обжигом на воздухе при температурах 950 – 1100ºС. У образцов определяли среднюю

плотность (ρср), водопоглощение (W), прочность при сжатии (σ), а также характер изменения этих параметров в зависимости от состава шихты и температуры обжига (Т). Полученные данные свидетельствуют о том, что образцы из масс с осадком имеют меньшую кажущуюся плотность и большее водопоглощение по сравнению с образцами без добавки, что обусловлено органоминеральной природой осадка. При повышение температуры обжига наблюдается уменьшение водопоглощения и увеличение кажущейся плотности и прочности [4].

Наибольшей прочностью при сжатии обладают образцы, полученные из шихты с 15 % осадка. При более высоком содержании осадка прочность образцов снижается и практически достигает значений, характерных для образцов из чистого суглинка. Поскольку рентгенофазовый анализ образцов, спеченных в интервале температур до 1050 °С, не выявил образование новых фаз, то сохранение и даже некоторое увеличение прочности у образцов с содержанием осадка до 15 %, по-видимому, связано с изменением структуры пористости [5, 6]. Результаты исследования пористо-капиллярной структуры образцов методом ртутной порометрии, подтверждают предположение об изменении структуры пористости: введение осадка приводит к существенному уменьшению доли объема пор размером 5-50 мкм.

Микроструктура образцов керамики, характеризуется чередованием твердой и пористой фаз с равномерным распределением кристаллических соединений в виде кварца и гематита. Пористая структура образцов керамического кирпича без добавки имеет поры от 30 до 1100 мкм. В структуре керамики на основе шихты из суглинка с добавкой осадка (15 %) диаметр пор имеет меньший разброс и не превышает 850 мкм.

С целью выявления особенностей спекания и фазообразования керамического черепка выполнялся синхронный термический анализ (СТА). Термогравиметрические кривые были получены с помощью микротермовесов TG 209 F1 (фирма Netzch). Массы образцов были в пределах 30 мг, использован стандартный корундовый держатель образца. Скорость нагрева 10 град/мин, скорость протока аргона 40 $см^3$/мин, скорость протока кислорода 10 $см^3$/мин. Использован метод С-DTA.

Анализ результатов ДТГ исследуемых составов показывает, что в интервале 60-120 °С наблюдаются эндоэффекты, связанные с удалением адсорбированной воды. В интервале 120 – 420 °С происходит наиболее интенсивное выгорание органических примесей. Процессы дегидратации глинистых минералов, сопровождающиеся разрушением кристаллических решеток, протекают при температурах 540 – 560 °С и 660-720 °С. Из высокотемпературных эндоэффектов следует отметить эффекты, связанные с разложением глинистых минералов (545 °С и 660 °С) и карбонатов (825 °С).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инновационные технологии утилизации отходов / А.Н.Беляев, Е.В.Щербакова // Стройпрофиль. - 2010. - №2/1. - С. 36 – 37
2. Любарский В.М. Осадки природных вод и методы их обработки. - М., 1980. - 340.с.
3. Журба М.Г., Чернышов А.В., Говорова Ж.М. Обработка промывных вод фильтров и осадков водопроводных станций. - М., 2003. – 410 с.
4. Изучение возможности применения осадка водоочистки при производстве строительной керамики / С.А.Шахов, Т.Л.Рудая, А.С.Кожемяченко // Известие Вузов. Строительство. - 2013.- №1.- С. 54-61
5. Гузман И.Я. Некоторые принципы образования пористых керамических структур, свойства и применение / И.Я. Гузман // Стекло и керамика. - 2003. - N9. - С. 28 - 31.
6. Верещагин В.И. Возможности использования вторичного сырья для получения строительной керамики и ситаллов / В.И. Верещагин, А.Е. Бурученко, И.В. Кащук // Строительные материалы. - 2000. -N°7.- С. 20 - 22.

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СИСТЕМЫ TIZRCU (ПЛЕНКА)/AL-SI (ПОДЛОЖКА) (18-20 ВЕС.%) ОБРАБОТАННОГО ИОННО-ЭЛЕКТРОННО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ

М.Е. Рыгина[1,2], Е.А. Петрикова[2], А.Д. Тересов[2], В.В. Шугуров[2]
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Ю.Ф. Иванов[1,2]
[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
[2]Институт сильноточной электроники СО РАН
Россия, г. Томск, пр. Академический 2\3, 634055
E-mail: L-7755me@mail.ru

Современное машиностроение требует ресурсоэффективных материалов, которые обладают достаточно высокими прочностными характеристиками. Один из наиболее перспективных материалов, подходящих под данное определение является силумин, который обладает малым весом алюминия и высокой твердостью кремния. Заэвтектический силумин содержит более 12 вес.% кремния, чем обуславливает повышенное внимание к себе.

В качестве материала исследования был использован силумин заэвтектического состава (Al-(18-20) вес. % Si), находящийся в литом состоянии. Форма образцов – цилиндр высотой 5 мм, диаметром 30 мм. Данные образцы получены совместно в Физико-техническом институте Национальной академии наук Белоруссии и в Белорусском государственном университете. В данной работе использовался катод ZrTiCu, полученный так же в Белоруссии. Напыление покрытия и обработка электронным пучком производилась в Институте сильноточной электроники СО РАН.

Целью данной работы изучение фазового состава формирующееся при напылении покрытия ZrTiCu толщиной 1 мкм на поверхность заэвтектического силумина (18-20 вес.% Si) с помощью ионно-плазменной обработки на установке «ТРИО» (ИСЭ СО РАН, г. Томск) и последующем плавлении на установке «СОЛО» (ИСЭ СО РАН, г. Томск) [1-3]. А также определение фазового состава и прочностных характеристик.

Данные образцы состоят из эвтектики, т.е. твердого раствора на основе алюминия, первичных зерен кремния средний размер которых достигает 100 мкм, и интерметаллидов. Основной недостаток данного образца-наличие пор, размер которых лежит в микрометровом диапазоне (рисунок 1а). Твердость составила 890 МПа. Рентгенофазовый анализ показал содержание кремния около 17,3%, что в целом соответствует заявленному количеству кремния в исходном образце.

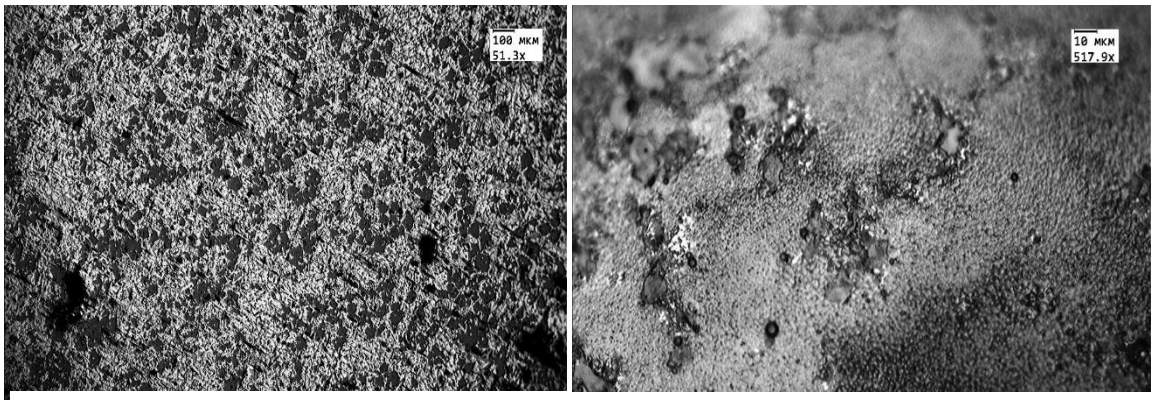


Рис.1. Оптическое изображение: а-типичное оптическое изображение для исходного образца заэвтектического силумина, б-структура системы «пленка-подложка» (TiZrCu\Al-(18-20 вес. % Si)

Формирование системы «пленка»\»подложка» производили вакуумно-дуговым методом, толщина пленки Ti- 6%Zr -6%Cu составила 0,5 мкм**.** Режим облучения: энергия ускоренных электронов 18 кэВ, плотность энергии пучка электронов 40 Дж/см^2, частота следования импульсов 0,3 с$^{-1}$, длительность воздействия пучка электронов 200 мкс, число импульсов воздействия 40.

В результате последовательной модификации поверхности происходит жидкофазное легирование. Формируется квазиоднородная структура. Твердость, которой составила 3172,3 МПа, больше чем в 3,5 раза по сравнению с необработанным образцом. Размер кристаллитов лежит в нано- и микродиапазоне 0,5-1 мкм (рисунок 1б).

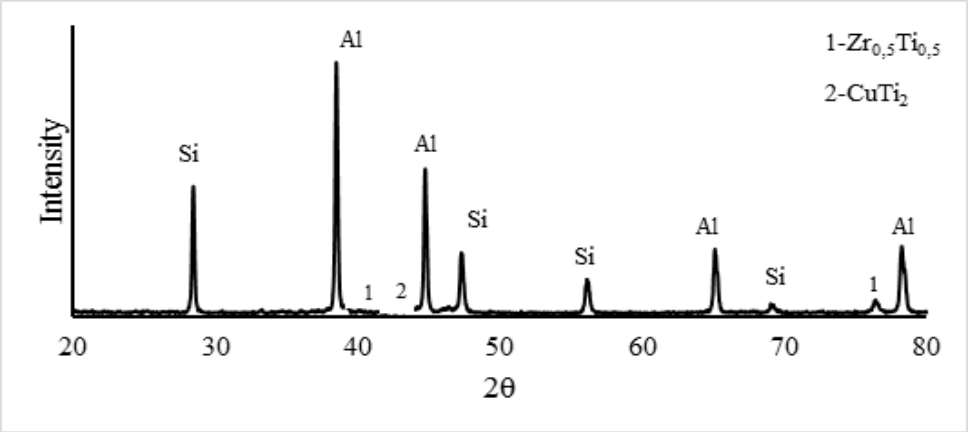


Рис. 2. Данные рентгенофазового анализа «ZrTiCu\Al-(18-20 вес.%)Si» после ионно-электронно-плазменного модифицирования

На данной рентгенограмме показано наличие всех элементов в поверхностном слое (рисунок 2). Так же данные указывают на наличие малого количества интерметаллидов, представленных элементами напыляемого покрытия. Данные рентгенофазового анализа объясняют наличие высокой твёрдости.

Таким образом, получение системы «пленка TiZrCu»/«подложка Al-Si» является возможным. На рентгенограмме обнаружены все напыляемые элементы. Путем высокоскоростного плавления и кристаллизации происходит жидкофазное легирование. Твердость при этом возрастает более чем 3,5 раза. Износостойкость увеличивается в 1,8 раза. Следовательно данная технология может быть использована для увеличения механических характеристики, легирования поверхностного слоя заэвтектического силумина.

Работа выполнена за счет гранта РНФ (проект № 14-29-00091). Авторы выражают благодарность профессору В.В. Углову (БГУ, г. Минск) за предоставленные образцы заэвтектического силумина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ivanov Yu F, Petrikova E A, Ivanova O V, Ikonnikova I A, Tereso A.D., Shugurov V V, Krysina O V. Structure and properties of a coating (TiCuN) – substrate (A7) system modified with a high-intenisty electron beam// Russian Physics Journal. 2015. V.58. Issue 3. P. 373-379.
2. Иванов Ю.Ф., Петрикова Е. А., Иванова О.В., Иконникова И. А., Ткаченко А.В. Численное моделирование температурного поля силумина, облученного интенсивным электронным пучком //Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58. – №4. С. – 46-51.
3. Коваль, Н. Н., Иванов Ю.Ф. Наноструктурирование поверхности металлокерамических и керамических материалов при импульсной электронно-пучковой обработке // Известия вузов. Физика. -2008. - Т. 51. - № 5. - С. 60-70.

ВОЗДЕЙСТВИЕ УГЛЕРОДА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОЙ КЕРАМИКИ КАРБИД ЦИРКОНИЯ / УГЛЕРОД (ZrC/C)

А.В. Рыгин[1,3], Ю.А. Мировой[1,3], А.Г. Бурлаченко[2,3], С.П. Буякова[1,2,3], С.Н. Кульков[1,2,3]
Научный руководитель: профессор, д.т.н. С.П. Буякова
[1]Национальный Исследовательский Томский Политехнический университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
[2]Национальный Исследовательский Томский Государственный Университет
[3]Институт Физики прочности и Материаловедения СО РАН
E-mail: alexandr.rygin@gmail.com

Введение. Экстремальные условия эксплуатации элементов машин и механизмов требуют разработки новых материалов с увеличенным ресурсом службы, особенно в условиях высокотемпературного трения. Традиционных схемы, использующие в качестве смазки органические соединения, не способны удовлетворить предъявляемым требованиям. При пониженных температурах металлические изделия склонны к хладноломкости, что также требует особого решения.

Керамические композиционные материалы с твердофазной смазывающей добавкой способны стать решением сложившейся ситуации. Значительно улучшают трибологические характеристики, в том числе на основе керамических матриц, углеродные добавки различных аллотропных модификаций [1]. Температура плавления карбида циркония составляет 3400 °С, что позволит его использование в условиях высокотемпературного трения [2].

Материалы и методики. Исходными компонентами при получении композитов являлись порошки карбида циркония ZrC и технического углерода С марки «П-234». Порошок ZrC (рисунок 1.а) преимущественно представлен частицами неправильной формы размером от 0,2 до 3,0 мкм (максимальный размер частиц 9,9 мкм) и средним диаметром равным 1,4 мкм. Распределение частиц по размерам носит унимодальный характер со смещением вправо, величина стандартного отклонения 1,2 мкм.

Средний размер частиц карбида циркония ZrC (рисунок 1.б), подвергнутых механической обработке в планетарной мельнице механических смесей, составил 1,1 мкм. Основная часть находится в диапазоне 0,3-2,5 мкм, образуются крупные агломераты размером до 10 мкм, модальный диаметр частиц равен 0,8 мкм. Распределение частиц по размер носит унимодальный характер. Результаты рентгеноструктурного анализа ранее были представлены в работе [3]. Морфология частиц технического углерода представлена в работе [4].

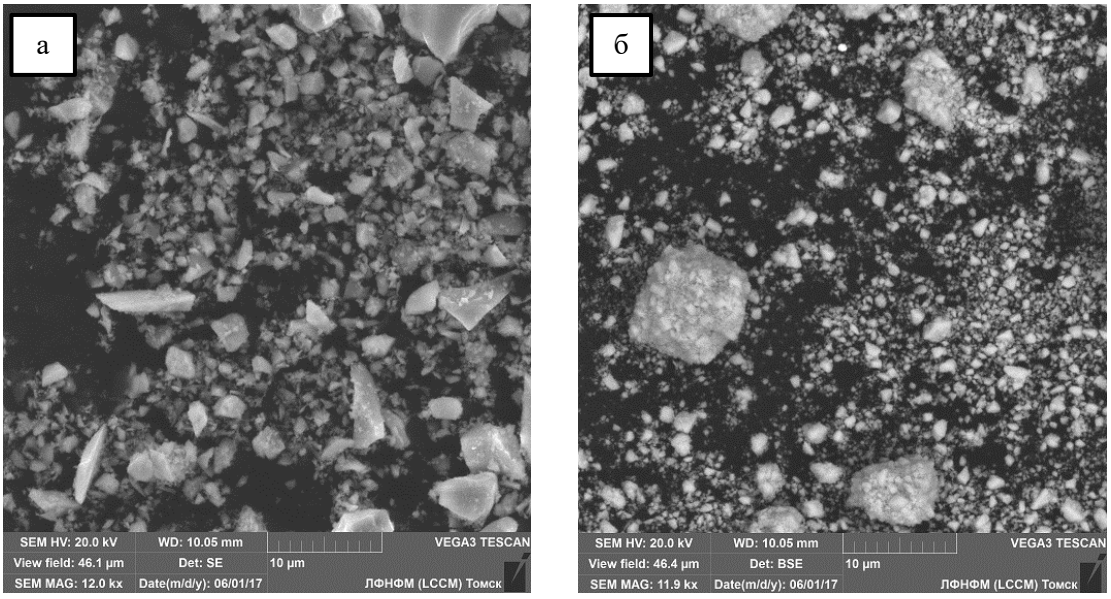


Рис. 1. РЭМ изображения исходных порошков ZrC: а – до механической обработки;
б – после механической обработки

Результаты и обсуждения. Рентгеноструктурный анализ (рисунок 2) показал присутствие в составе композита ГЦК структуры ZrC, иных веществ в составе композита не обнаружено.

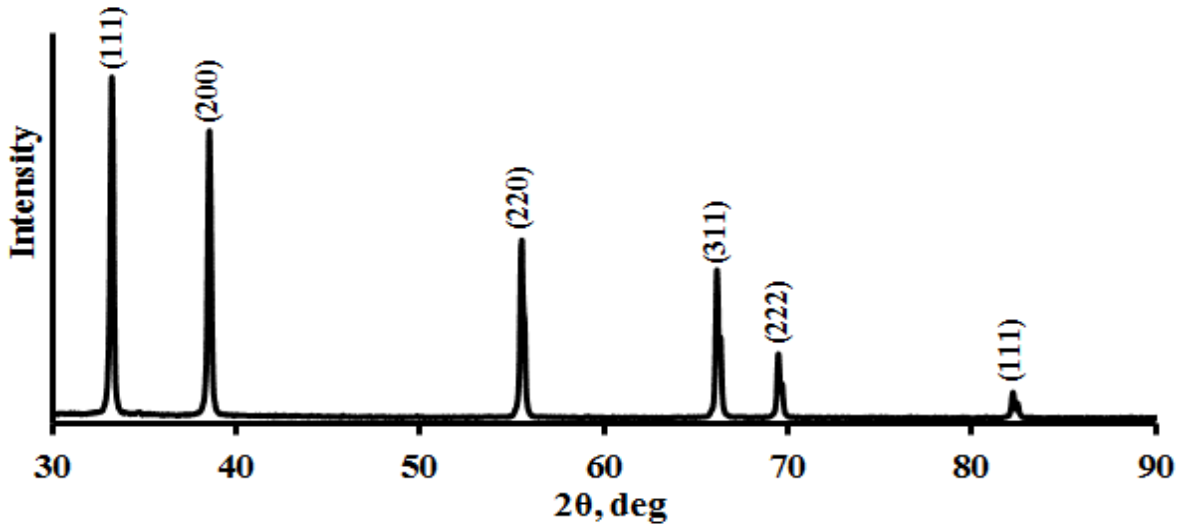


Рис. 2. Рентгенограмма композиционного материала ZrC/C (15 об.% C)

Увеличение содержания углерода в диапазоне 0-3 об.% С в составе композита ZrC/C приводит к увеличению относительной плотности с 90 до 94 %. При последующем увеличении объемной доли углерода до 15 об.% значение относительной плотности снижается до 82 %. Увеличение относительной плотности достигается за счет заполнения пустот частицами углерода, а последующее снижение связано с тем, что С препятствует спеканию частиц ZrC, температура сублимации которого выше температуры плавления ZrC.

Изменение твердости в диапазоне 0-5 об%. не наблюдается и равняется значению около 12,4 ГПа, при дальнейшем увеличении содержания С до 15 об.% снижается до 4,2 ГПа. Модуль упругости полученных композитов снижается с 464 до 213 ГПа при объемной доле С 0 и 15 об%.

Механическая обработка не приводит к значительному изменению параметров полученных композитов. Относительная плотность увеличивается с 91 до 95 % в диапазоне 0-3 об.%, при объемной доле 15 об.% плотность снижается до 87 %.

Твердость в диапазоне 0-5 об.% имеет значение около 11,6 ГПа, при содержании углерода равном 15об.% твердость имеет значение 3,7 ГПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Su Y., Zhang Y., Song J. & Hu, L. Tribological behavior and lubrication mechanism of self-lubricating ceramic/metal composites: The effect of matrix type on the friction and wear properties // Wear. – 2017. – Vol. 372-373. – P. 130-138.
2. Yung D, Maaten B, Antonov M, Hussainova I. Oxidation of spark plasma sintered ZrC-Mo and ZrC-TiC composites // Int J Refract Met Hard Mater. – 2017. – Vol. 66. – P. 244-251.
3. Рыгин А.В., Мировой Ю.А. Получение композиционной системы карбид циркония – углерод (ZrC–C) методом горячего прессования // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Россия, Томск, 25–28 апреля 2017 г. / под ред. И.А. Курзиной, Г.А. Вороновой. – Томск: Изд-во – Национальный Исследовательский Томский политехнический университет, 2017. – с.303-305
4. Рыгин А.В., Мировой Ю.А., Бурлаченко А.Г., Буякова С.П., Кульков С.Н. Влияние углерода на свойства высокотемпературной керамики карбид циркония / углерод (ZrC/C) // Современные технологии и материалы новых поколений – сборник трудов Международной конференции – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017.

ВЛИЯНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ Nb и Mo НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА

И.Е.Савин[1], А.А.Клопотов[1,2], Е.С.Марченко[2], В.Э.Гюнтер[2]
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. А.А. Клопотов
Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, 634050
E-mail: iLYa_ca96@mail.ru
[1]Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия
[2]Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Сплавы на основе никелида титана с термоупругими мартенситными превращениями (МП) и связанными с ними эффектами памяти формы (ЭПФ) обладают уникальными механическими сойствами и это нахдит большее практическое применение [1,2]. Одним из способов образования в сплавах на основе никелида титана новых структурно-фазовых состояний является микролегирование тугоплавкими металлами, которые могут играть ключевую роль в формировании их необычных физико-механических свойств. Конкретным примером таких сплавов являются сплавы на основе TiNi, легированные Nb и Mo [2].

В работе представлены данные по изучению микролегирования Nb и Mo на напряжения мартенситного сдвига в широком температурном интервале в сплаве на основе никелида титана

Сплав для исследований был выплавлен в индукционной печи ИСВ-0.004 ПИ М1 путем переплава губчатого титана и никеля марки Н1 с микролегирующими добавками Nb и Mo. Состав определяли по шихте. Потери веса при плавке не превышали 0,01 %. Состав исследуемого сплава $Ti_{50}Ni_{49,2}Nb_{0,5}Mo_{0,3}$.

Исследование прочностных свойств сплавов на основе никелида титана при различных температурах проводили на установке типа «Инстрон», методом одноосного растяжения. Температурную зависимость напряжения мартенситного сдвига сплава на основе никелида титана с термоупругими МП проводили на модернизированной установке для исследования предела прочности на разрыв [3].

Интегральной характеристикой механических свойств в сплавах с ЭПФ является температурная зависимость напряжения мартенситного сдвига $\sigma=f(T)$, которая количественно отражает термомеханические свойствах сплавов с термоупругими мартенситными превращениями (МП) в широком температурном интервале [3]. При определенных температурах наблюдается ситуация, когда напряжение мартенситного сдвига материала достигает значений, при которых упругие напряжения, возникающие в ходе деформирования или в условиях термоциклирования, релаксируют пластически. По своему физическому смыслу напряжение мартенситного сдвига для сплавов с термоупругими МП, является напряжением, необходимым для образования и роста кристаллов низкотемпературной мартенситной фазы и это происходит в температурной области ниже начала [1]. Минимум на кривой $\sigma=f(T)$ (рис. 1) находится в области существования температуры начала МП (M_S). Это минимальное напряжение $\sigma_{\min}^{Ms}$ соответствует напряжению, которое необходимо приложить к сплаву для того, чтобы вызвать МП под действием приложенного внешнего напряжения. Другое характерное значение напряжения мартенситного сдвига соответствует максимуму на кривой $\sigma=f(T)$ при температуре M_d. Температура M_d соответствует максимальной температуре, при которой еще возможно зарождение и рот мартенситной фазы под действием внешнего приложенного напряжения. Значения напряжения $\sigma_{\max}^{Md}$, соответствующего температуре M_d, совпадает с истинным пределом текучести аустенитной фазы [1,3]. Разница между значениями критических напряжений мартенситного сдвига $\sigma_{\max}^{Md} - \sigma_{\min}^{Ms}$ характеризует величину пластической деформации сплавов с термоупругими МП. Этот параметр является определяющим при проявлении ЭПФ в сплавах (рис. 1).

Другим важным свойством сплавов, обладающих ЭПФ являются диаграммы «напряжение-деформация» (σ–ε), полученные при разных температурах. Эти диаграммы приведены в виде вставок на рис. 1. Деформационные диаграммы в координатах «σ–ε», полученные при разных температурах позволяют выделить различные вклады в деформацию сплава, обладающего термоупругими МП.

На основе анализа температурной зависимости σ=*f*(T) в сплаве $Ti_{50}Ni_{49,2}Nb_{0,5}Mo_{0,3}$ и установлено, что температура M_S термоупругого МП под нагрузкой равна 360 К, температура M_d=550 К. На основе анализа зависимости $\sigma=f(T)$ определены $\sigma_{\min}^{Ms}$ =320 МПа, $\sigma_{\max}^{Md}$ =530 МПа. Получен температурный интервал проявления ферроэластичности: 260 – 330 К, температурный интервал ЭПФ: 340 – 410 К и температурная область проявления сверхэластичности: 410 – 470 К. Расчет $\sigma_{\max}^{Md} - \sigma_{\min}^{Ms}$ дал значение 190 МПа. Приведенные данные свидетельствует о том, что сплав $Ti_{50}Ni_{49,2}Nb_{0,5}Mo_{0,3}$ имеет хорошие пластические свойства и обладает выраженным ЭПФ.

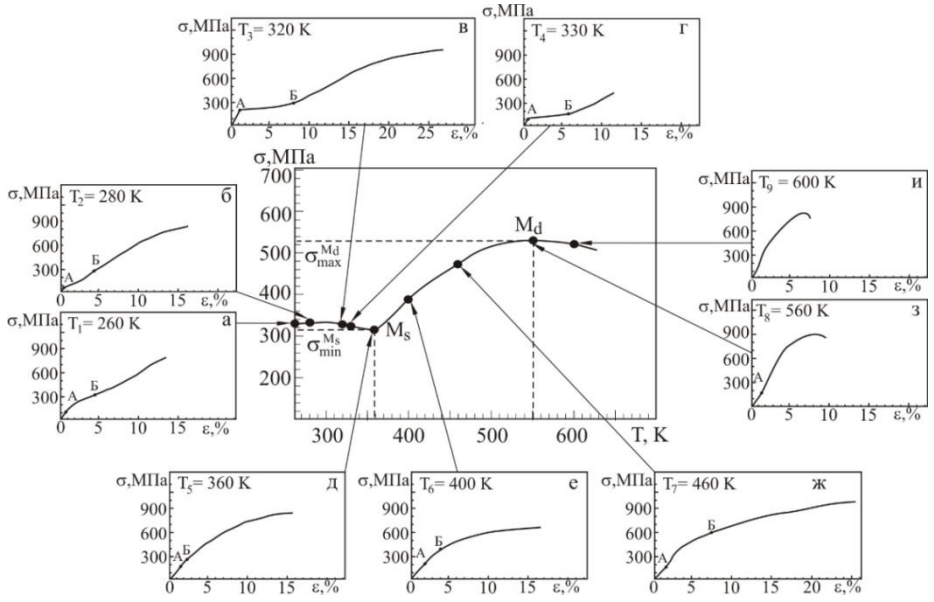


Рис. 1. Зависимость критических напряжений мартенситного сдвига от температуры сплав $Ti_{50}Ni_{49,2}Nb_{0,5}Mo_{0,3}$. Вставки (*а-и*) соответствуют зависимостям σ=f(ε) до разрушения при различных температурах испытаний

Другим важным свойством сплавов, обладающих ЭПФ являются диаграммы «напряжение-деформация» (*σ–ε*), полученные при разных температурах (рис. 1, вставки *а–и*).

Серия диаграмм «*σ–ε*» для исследуемого сплава, полученная при разных температурах показывает эволюцию этих диаграмм с ростом температуры (рис. 1). На диаграмме «*σ–ε*», померенной в области температур M_S, хорошо проявляется «плато», (участок АВ на рис. 1, вставка *в*), который характеризует МП под действием приложенной нагрузки при данной температуре. Испытание, проведенное при более высокой температуре (рис. 1, вставка *д*) показывает, что «плато» на диаграмме «*σ–ε*» практически выродилось. Дальнейшее повышение температуры испытаний не привело к изменению вида кривой на диаграмме «*σ–ε*», но привело к росту $\sigma_B^{\min}$ и ε_B. При температуре испытаний Т = 460 К, наблюдается высокое значение напряжения разрушения $\sigma_B^{\min}$, оно достигает значений 1050 МПа и происходит при деформации порядка 40 %. Испытание на разрыв при температуре близкой к M_d, когда полностью исключен механизм деформации с участием мартенситного превращения образец рвется при небольших значениях деформации ($\varepsilon_B \approx 12$ %).

ЛИТЕРАТУРА

1. А.И. Потекаев, А.А. Клопотов, Э.В. Козлов, В.В. Кулагина. Слабоустойчивые предпереходные структуры в никелиде титана. Томск: НТЛ. 2004. 296 с.
2. Е.С. Марченко, А.А. Клопотов, А.Н. Матюнин и др. Кристаллогеометрические параметры и фазовые диаграммы состояний бинарныхTi-Me, Ni-Me и тройных Ti-Ni-Me (Me=Nb, Mo) систем, физико-механические свойства сплавов (TiNi(Nb,Mo) // Имплантанты с памятью формы. 2014. №1-2. С.27-38.

СВОЙСТВА АМОРФНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ГИДОГЕНИЗИРОВАННЫХ ПЛЕНОК НА ГЕРМАНИИ. ИОННО-ЛУЧЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

А.И. Семерикова
Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. А.С. Золкин
Национальный исследовательский Новосибирский государственный университет,
Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, 630090
E-mail: tykva.anya@gmai.com

Введение. Технология синтеза аморфных углеродных гидрогенизированных (a-C:H) пленок с контролируемыми свойствами постоянно развивается в связи с практическими применениями: в качестве просветляющих и защитных покрытий для оптики ИК диапазона [1] или солнечных элементов [2]. Повышение адгезии при сохранении других необходимых характеристик, таких как оптические свойства, твердость – одна из важных задач. Обычно формирование связывающего переходного слоя происходит в результате взаимодействия верхнего слоя подложки и осаждаемых атомов или молекул. Однако механические напряжения часто превосходят силы, связывающие покрытие с основой, и вызывают его отслоение. Возможным решением является усиление связи между основой и осаждаемым материалом за счет имплантации ионов углерода в материал подложки. В этом случае толщина переходного слоя существенно увеличивается, сцепление между атомами подложки и атомами покрытия возрастает. Мы использовали ионный источник (ИИ) с азимутальным дрейфом электронов, который дает возможность получать пучки ионов с энергией ионов от 0,5 до 3 кэВ. Высокоэнергетичные пучки (3 кэВ) способны обеспечить повышенную адгезию, а низкоэнергетичные пучки (0,6 кэВ) – благоприятные условия для роста. Цель работы – исследовать влияние адгезионного слоя путем осаждения высокоэнергетичных ионов на механические и оптические свойства a-C:H пленок на Ge.

Методика синтеза. Камера откачивалась до остаточного давления 10^{-3} Па. В процессе осаждения давление составляло $5 \cdot 10^{-3}$ Па. В область ионизации подавался пропан (C_3H_8), расход – 1,4 - 4,2 млн/мин. Для очистки от адсорбированных атомов и молекул подложки обрабатывались ионами аргона с энергией 0,6 кэВ в течение 5 мин.

Для выяснения зависимости свойств покрытия от условий синтеза и наличия адгезионного слоя, применили три режима напыления. В первом режиме (A) пленки осаждались из ионных пучков с энергией 0,6 кэВ. Напряжение анода – 1 кВ, ток разряда – 20 мА. Во втором режиме (B) адгезионный слой формировался ионами рабочего газа со средней энергией 3 кэВ. Напряжение анода – 5 кВ, ток разряда – 50–60 мА. Затем энергия пучка уменьшалась до 0,6 кэВ. В третьем режиме (C) пленки напылялись из ионных пучков с энергией 3 кэВ в течение двух часов. Для компенсации пространственного заряда ионного пучка в режимах (B) и (C) использовали вольфрамовый эмиттер электронов.

Методика исследования. Толщины покрытий измерялись лазерным эллипсометром LEF – 752 на длине волны 632 нм в режиме многоугловых измерений. Твердость покрытия определялась методом наноиндентирования на сканирующем нанотвердомере «НаноСкан-3D». Адгезионную прочность пленок оценивали по критической нагрузке их отслоения от подложки при склерометрии с переменной нагрузкой. Рамановские спектры получены на спектрометре Jobin Yvon T64000 с длиной волны возбуждения – 514,5 нм, с целью изучения структурных особенностей пленок. FTIR спектры получены на ИК Фурье спектрометре ФТ-801 в диапазоне 2,5 – 16,7 мкм для изучения просветляющих свойств покрытий.

Результаты и обсуждение. С целью улучшения адгезии и сохранения качества покрытия мы применили режим B. На первом этапе мы осуществили мягкую имплантацию ионов рабочего газа (C_3H_8). Средняя энергия пучка была 3 кэВ. Предположительно, ионы проникают в поверхностный слой на глубину нескольких нанометров [3]. Часть имплантированных ионов может образовывать химическое соединение карбида германия. На втором этапе в режиме B мы понижали энергию ионов с 3 кэВ до 0,6 эВ для эффективного синтеза пленки. Данной энергии ионов достаточно для осуществления C-C связи осаждаемого материала с адгезионным слоем. В результате пленки с

адгезионным слоем не отрывалась при многократном скрайбировании алмазным индентором с максимальной нагрузкой 50 мН. Описанный способ синтеза дал хорошие значения твердости: от 15 до 20 ГПа.

Отметим, что напыление при энергии ионного пучка 3кэВ (режим С) обеспечивает хорошую адгезию и высокую скорость синтеза – 1,1 – 1,3 А/сек. Однако, твердость покрытия в этом случае не превышает твердости германия 10 ГПа. При осаждении ионов на германий с энергией 500-600 эВ без адгезионного слоя (режим А) твердость покрытия составляет от 13,5 до 16 ГПа. Адгезия таких пленок хуже: происходит отрыв при нагрузке 10мН. Скорость роста покрытия – 0,3 А/сек.

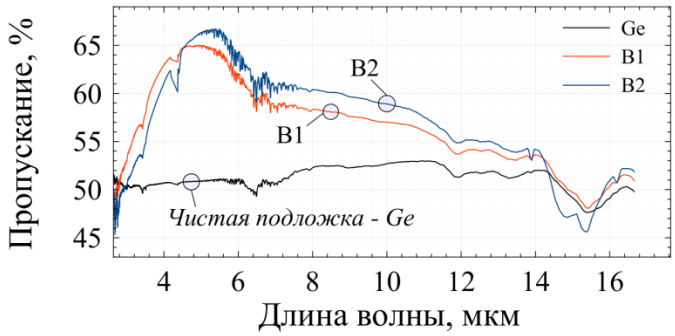


Рис. 1. Спектры пропускания a-C:H пленок, синтезированных при режиме В на германии. В1 – твердость 15 ГПа, толщина 450 нм. В2 - твердость 20 ГПа, толщина 600 нм

На рис. 1. Представлены FTIR спектры a-C:H пленок на германии с эффектом просветления, вызванным интерференцией света в пленке. Максимум просветления 65 – 67 % наблюдается в диапазоне длин волн 4,5 – 6 мкм. Для сравнения на рис. 1 представлен спектр пропускания чистого германия. В спектрах отсутствуют характеристические полосы поглощения C=C, C–H_n, C–H связей. Это можно объяснить выраженным просветляющим эффектом и недостаточной толщиной покрытия.

Выводы. Установлено, что формирование адгезионного подслоя ионным пучком из C_3H_8 с относительно высокой энергией – 3 кэВ способствует увеличению адгезионной прочности напыляемого покрытия. Наилучшая твердость покрытия – 20 ГПа, достигнута при двухэтапном напылении: адгезионный слой синтезирован ионным пучком с энергией 3 кэВ с последующим напылением ионов с энергией 0,6 кэВ. Пропускание германия с односторонним защитным просветляющим покрытием a-C:H достигает 65-67 % в диапазоне длин волн 4,5 – 6 мкм.

Авторы выражают благодарность В.А. Володину, С. Ю. Чепкасову, М. Н. Хомякову за помощь в работе на диагностическом оборудовании. Работа выполнена при поддержке Проекта НГУ: Стратегические академические единицы (CAE) «Нелинейная фотоника и квантовые технологии 2016 – 2017».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

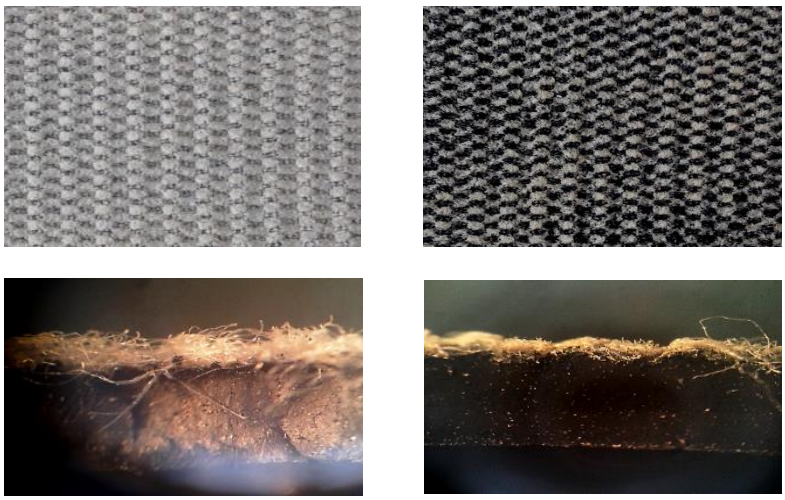
1. Peng S., Ming H., Feng Z., Yi-Qin J., Hua-Song L., Dan-Dan L., Jian L. Effects of the ion-beam voltage on the properties of the diamond-like carbon thin film prepared by ion-beam sputtering deposition // Chin. Phys. B – 2015 – Vol. 24 – No. 6 – P. 067803-1 – 067803-5
2. Banerjee A., Das D. Fabrication of highly transparent diamond-like carbon anti-reflecting coating for Si solar cell application // AIP Conf. Proc. – 2014 - Vol. 1591 – P. 856 – 857
3. Gibbons J.F., Johnson W.S., Hylroic S.W. Projected range statistics. 2nd ed. Dowden, Stroudsburg, PA (1975). Pt 1. P. 93.

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ПРОБИВКИ ЗАЩИТНО-КРЕПЯЩЕГО СЛОЯ НА ПРОЧНОСТЬ АДГЕЗИОННОГО СОЕДИНЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ С КОРПУСОМ ДВИГАТЕЛЯ

А.Ю. Скуратов, Е.А. Беспалова, Н.В. Половникова
Научный руководитель: А.Ю. Скуратов
Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
Россия, Сибирский федеральный округ, Алтайский край, г. Бийск, улица имени Героя Советского Союза Трофимова, 27,659305
E-mail: katena.bespalova9570@gmail.com

Одним из важнейших параметров, отвечающих за работоспособность РДТТ, является прочность скрепления высокоэнергетических композиций (ВЭМ) с элементами корпуса, которая контролируется по величине прочности адгезионного соединения на границе ВЭМ – крепящий состав (КС) – защитно-крепящий слой (ЗКС) [1-3].

Степень пробивки ткани капроновой технической эластичной (ТКТЭ) резиной в ЗКС может быть различна. Визуально её оценивают по эталону внешнего вида, как слабую, нормальную, усиленную (рисунок 1). Слабая пробивка при отработке изделий не рекомендуется из-за высокой вероятности отслоения ТКТЭ от резины [4].



а б

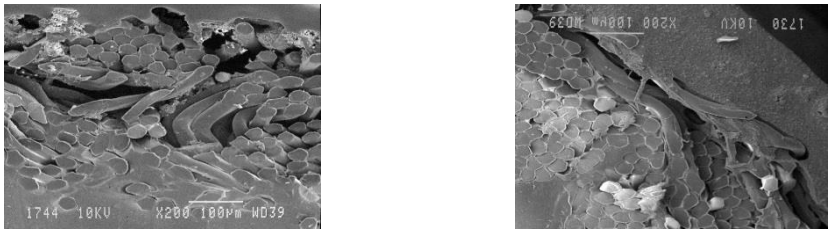
Рис. 1. Пробивка ткани капроновой
а - нормальная пробивка; б - усиленная пробивка

Цель настоящего исследования изучение влияния степени пробивки ЗКС как фактора, влияющего на величину прочности адгезионного соединения изделий на основе нитроэфирсодержащих ВЭМ.

Крепящие составы, которые используются при изготовлении РДТТ, можно классифицировать на наполненные и ненаполненные. Принципиальным различием выбранных к рассмотрению КС является наличие в составе наполненного КС нерастворимого наполнителя – сажи.

Степень пропитки ЗКС различными по своей природе КС оценивалась визуальным методом оптической микроскопии микроструктурных срезов ЗКС. Крепящие составы наносились на образцы ЗКС методом намазки кистью.

Результаты электронной оптической микроскопии показали, что наполненный КС, содержащий 8,2% сажи от массы раствора КС, не обеспечивает пропитку ТКТЭ с нормальной степенью пробивки резиной по всему объему. Часть сажи, входящая в состав КС, осаждается на поверхность ТКТЭ, вследствие чего в ЗКС образуется свободный объем в виде пустот, раковин, микрокапилляров, не заполненных КС (рисунок 2а). При усиленной степени пробивки свободный объем меньше, имеются небольшие пустоты (рисунок 2б).



а б

Рис. 2. Торцевая поверхность среза ЗКС нормальной (а) и усиленной (б) степени пробивки ЗКС с нанесенным наполненным КС

Наличие свободного объема в ТКТЭ создаёт условия для диффузии в него несвязанных компонентов КС и ВЭМ, что изменяет параметры контактирующих с КС слоёв ВЭМ. Для полноты пропитки крепящим составом пробивки ТКТЭ необходимо снизить содержание нерастворимых компонентов в составах КС, либо полностью исключить их.

В ЗКС с усиленной степенью пробивки свободный объём меньше, чем с нормальной. Более полная пропитка снижает диффузию несвязанных компонентов из ВЭМ и КС в ТКТЭ и соответственно повышает прочность адгезионного соединения σ_a (см. таблицу).

Таблица 1 - Прочность адгезионного соединения σ_a, МПа

Вид КС	Степень пробивки	σ_a, МПа
Наполненный	Нормальная	0,342±0,006
	Усиленная	0,364±0,004
Ненаполненный	Нормальная	0,321±0,009
	Усиленная	0,323±0,005

Из таблицы видно, что при использовании усиленной степени пробивки с наполненным КС уровень прочности адгезионного соединения увеличивается. Степень пробивки с применением ненаполненного КС не влияет на величину прочности адгезионного соединения. Ненаполненный КС обеспечивает более полную пропитку объёма как нормальной, так и усиленной пробивки ТКТЭ (соответственно пробивка в этом случае не влияет на прочность адгезионного соединения). Различие в уровне значений σ_a с наполненными и не наполненными КС вызвано различной степенью адгезии полимерных основ КС к ЗКС.

Выводы

Установлено что, при применении наполненных КС прочность адгезионного соединения зависит от степени пробивки ткани. При содержании в КС нерастворимых наполнителей необходимо использовать ТКТЭ с усиленной степенью пробивки, так как благодаря более полной пропитке ЗКС с усиленной степенью пробивки, прочность адгезионного соединения повышается с 0,342 МПа до 0,364 МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков, Б. П. Энергетические конденсированные системы / Б.П. Жуков – М.: Изд – во Янус-К, 2000. – 596 с.
2. Alain Davenas. A. Solid Rocket Propulsion Technology // Pergamon Press. – 1992. – P. 620.
3. LI Chen, LU Gui-e, Jiang Jinyong, Ge Qiang, Wang Shaoguang Chen1, LI. Review on the Test Method of Adhesive Failure in Solid Rocket Motor // Joint International Mechanical, Electronic and Information Technology Conference. – 2015. – P. 675 – 679.
4. Фахрутдинов И. Х., Котельников А. В. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива: Учебник для машиностроительных вузов. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ 3Д-ПЕЧАТИ БИОКОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА – ГИДРОКСИАПАТИТА

Н.Е. Торопков, Н.С. Антонкин, Т.С. Петровская, В.И. Верещагин
Научный руководитель: профессор, д.т.н. Т.С. Петровская, профессор, д.т.н. В.И. Верещагин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: zerogooff@gmail.com

В настоящее время в ортопедии и травматологии используются, главным образом имплантаты, в основе которых лежат металлы, сплавы, а также биоинертная керамика (алюмо-циркониевая, циркониевая) [1]. Однако имеются области регенеративной медицины, где незаменимой является кальциево-фосфатная керамика и изделия на ее основе. При этом невысокая прочность кальциево-фосфатной керамики не позволяет ее использовать в качестве объемных элементов способных нести поддерживающую функцию, поэтому кальций-фосфатная керамика находит широкое применение в качестве покрытий на металлические и керамические имплантаты, снижая риск отторжения в первые периоды приживания [2, 3]. В стремлении повысить прочность, в кальций-фосфатную керамику вводят добавки, повышающие плотность и прочность, однако при это снижается ее способность к остеоинтеграции [3].

Обширные дефекты костей (например, при онкологии) требуют использования имплантатов со сложной геометрией, что остается труднорешаемой задачей. Отсутствие полной геометрической конгруэнтности имплантата с окружающими тканями приводит к локальному отторжению эндопротеза в зонах с недостаточной интеграцией, к объёмным образованиям фиброзной ткани [4]. Вместе с тем совмещение комплекса рентгеновской томографии, моделирования и 3D-печати открывает перспективы создания индивидуальных имплантатов любой формы.

Целью данного исследования являлась разработка композиционных материалов для 3д-печати (3D-FDM) биоизделий, обладающих физико-химическими свойствами, сопоставимыми со свойствами естественной кости.

Исследуемые композиты на основе ПЛА содержат ГАП в диапазоне от 5 до 30%, и добавки пластификатора от 1 до 4%. Известно, что ГАП сравнительно легко распределяется в растворе ПЛА при в введении в количестве до 10% [4]. В результате образуется однородный полидисперсный раствор. Увеличение содержания ГАП до 30% оказывает влияние на эволюцию дисперсной системы, при этом имеет место агрегация частиц ГАП. Формирование агрегатов со средним размером более 50мкм приводит к их седиментации, которая тем более активна, чем большее количество ГАП вводится в полимер.

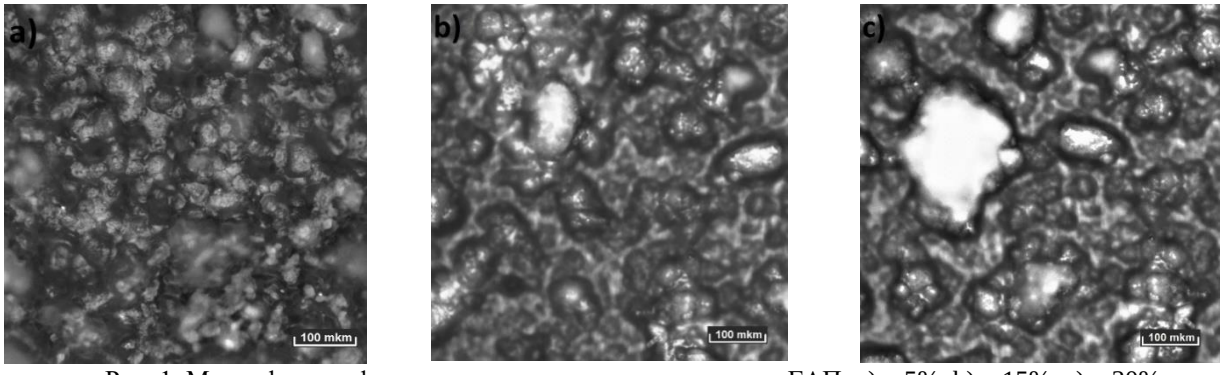


Рис. 1. Микрофотографии пленок композитов, содержащие ГАП: a) – 5%, b) – 15%, c) – 30%

На рисунке 1 приведены микрофотографии композитов исследуемых составов. Агрегация наиболее выражена в составе с содержанием 30%. Введение пластификатора в количестве до 4% позволяет исключить седиментацию и обеспечить однородность композитов, что является важным условием качественной печати.

Другим важным условием точной печати является постоянство диаметра филамента. Известно, что под воздействием адсорбированной воды ПЛА подвергается деградации в интервале температур плавления [5]. На рисунке 2 приведены кривые синхронного термического анализа композита с содержанием ГАП 15%. На кривой ДТА имеются 3 эффекта. При нагревании ПЛА до 50ºС (1) происходит его стеклование, в интервале 140-147ºС (2) наблюдается конденсация L-лактида, а при 152-156ºС (3) разложение мономера L-лактида с образованием летучих продуктов [5]. Кривая ТГ показывает потери веса в 10%, которые обусловлены удалением продуктов разложения (до 5%) и воды.

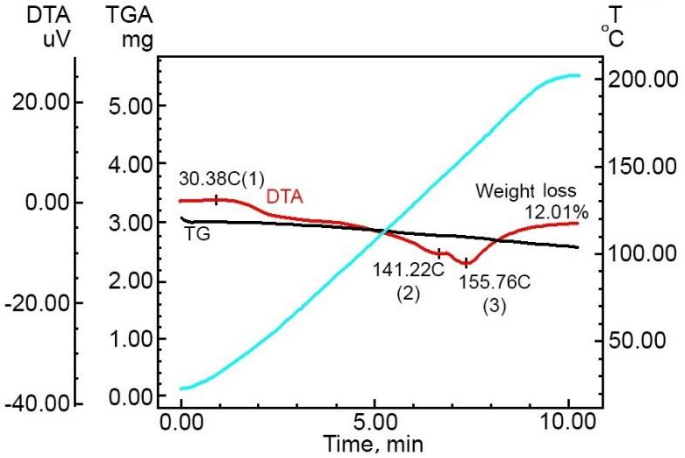


Рис. 2. Результаты синхронного термического анализа композита, содержащего 15% ГАП

Заключение:

Полученные данные показывают, что сочетание ГАП и ПЛА в одном материале, обеспечивают синергию физико-химических свойств исходных материалов и, обеспечивают синергию физико-химических свойств, открывая перспективу их использования в восстановительной медицине.

Для разработанных составов композитов ГАП-ПЛА, содержащих от 5 до 30% ГАП, определены условия получения филамента d=1,75±0,01мм (температура экструзии 140-146ºС) и определены параметры печати (температура печати 178-190ºС, скорость печати 50-80 мм/с)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Biomaterials science: an introduction to materials in medicine. 2nd edition / Eds. B.D. Ratner, A.S. Hoffman, F.J. Schoen, & J.E. Lemons. San Diego: Elsevier Academic Press, 2004; 851 p.
2. Petrovskaya T.S., Vereschagin V.I., EFFECTIVENESS OF THE TECHNOLOGIES OF TITANIUM IMPLANTS COVERING, Key Engineering Materials. 2015. T. 670. p. 183-188.
3. Sheikh, Z.; Sima, C.; Glogauer, M. Bone Replacement Materials and Techniques Used for Achieving Vertical Alveolar Bone Augmentation. Materials 2015, 8, 2953-2993.
4. Загородний Н.В., Королев А.В., Ахпашев А.А., Гнелица Н.Н., Ильин Д.О., Хасаншин М.М., Лягин А.С. Поведение имплантатов в костной ткани в различные сроки согласно МРТ-исследованию //Режим доступа: http://www.lechenie-sustavov.ru/patient/articles/povedenie implantatov-v-kostnoj-tkani-v-razlichnye-sroki-soglasno-mrt-issledovaniyu/.
5. E. Jabbari, E. Xuezhong, “Synthesis and Characterization of Bioresorbable in Situ Crosslinkable Ultra Low Mo- lecular Weight Poly(Lactide) Macromere,” Journal of Ma- terials Science: Materials in Medicine, Vol. 19, No. 1, 2008, pp. 311-317. doi:10.1007/s10856-006-0020-2.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА НАНЕСЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ БЕМИТА НА СВОЙСТВА МИКРОДУГОВЫХ КАЛЬЦИЙ-ФОСАФТНЫХ ПОКРЫТИЙ

В.В. Чебодаева[1,2], М.Б Седельникова[2]
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Ю.П. Шаркеев[12]
[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
[2]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
Россия, г. Томск, пр. Академический 2/4, 634021
E-mail: vtina5@mail.ru

В последние годы больший интерес вызывают исследования электрического заряда биоматериалов и его влияние на повышение биосовместимости. Известно, что поверхность живых клеток имеет отрицательный заряд, величина которого зависит от количества адсорбированных на их поверхности молекул или ионов. В зависимости от области применения имплантатов возможны различные способы электризации диэлектрических биоматериалов и покрытий для придания, им заряженного состояния. В частности, для костных челюстно-лицевых имплантатов необходимо создание электретного состояния, которое бы значительно ускорило процессы остеоинтеграции и уменьшило риск воспаления и отторжения.

Перспективным методом создания электроположительного заряда биоактивного кальций-фосфатного (КФ) покрытия на поверхности биоинертных сплавов может стать модифицирование наночастицами бемита. Бемит (AlO(OH)) широко используется в качестве прекурсоров при производстве различной алюмооксидной керамики (мембраны, катализаторы, керамические волокна, керамические покрытия и т.д.). Также наноразмерный бемит обладает большой площадью поверхности и положительным зарядом в водных средах [1].

Таким образом, целью данной работы являлось исследование влияния режима осаждения наночастиц бемита на свойства модифицированных КФ покрытий.

В качестве подложки в эксперименте использовали пластины размерами 10×10×1 мм^3 из технически чистого титана марки ВТ1-0. КФ покрытие формировали методом МДО на установке MicroArc–3.0 в электролите на основе водного раствора ортофосфорной кислоты, карбоната кальция и гидроксиапатита [2]. Морфологию поверхности КФ покрытий исследовали методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на электронном микроскопе «Philips SEM 515» (ТРЦКП ТГУ). Шероховатость измеряли на профилометре 296 (ИФПМ СО РАН, Томск). Наночастицы бемита осаждались на готовые КФ покрытия с помощью реакции гидролиза с предварительной ультразвуковой (УЗ) обработкой порошка алюмонитридной композиции AlN для его диспергирования. В работе было предложено 3 метода осаждения наночастиц бемита. В первом методе использовалась суспензия с 25 мл дистилированной воды и 30 мг порошка AlN. Во втором методе массу порошка AlN увеличили до 60 мг. И третий метод осаждения заключался в пятикратном осаждении наночастиц бемита на КФ покрытие с использованием суспензии с 25 мл дистилированной воды и 30 мг порошка AlN. Длительность предварительной УЗ обработки во всех 3 методах составляла 30 мин.

На рисунке 1 представлены РЭМ-изображения КФ покрытий, модифицированных наночастицами бемита 3 методами.

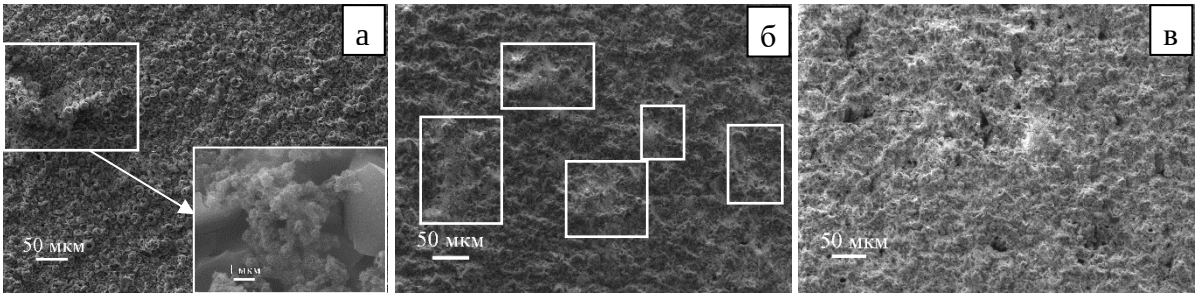


Рис. 1. РЭМ-изображения микродуговых КФ покрытий, модифицированных наночастицами бёмита (*а* – 1 метод, *б* – 2 метод, *в* – 3 метод)

Морфология КФ покрытий после осаждения наночастиц бемита первым методом представлена целыми и частично разрушенными сфероидальными образованиями со сквозными порами (рис. 1а). В покрытии неравномерно распределены скопления наноразмерных частиц размером до 130 мкм (на рис.1а,б выделены белыми линиями). В результате элементного анализа данных покрытий было выявлено наличие алюминия (2,44 ат.%, таб. 1). Также присутствуют кальций (4,8 ат.%), фосфор (16,4 ат.%), кислород (66,6 ат.%) и титан (9,8 ат.%). Шероховатость данных покрытий увеличилась от R_a=2,20 до R_a=2,35 мкм.

Увеличение массы исходного порошка AlN до 60 мг привело к более равномерному распределению характерных областей и увеличению их площади (рис. 1 б). При этом шероховатость и содержание алюминия стали равны R_a=2,60 мкм и 2,48 ат.%, соответственно (таб. 1).

Осаждение наночастиц бемита третьим методом привело к формированию пористого покрытия с размерами пор от 2 мкм до 65 мкм, покрытого слоем наночастиц бемита. Данные покрытия обладают максимальными значениями шероховатости и содержанию алюминия (таб. 1).

Таблица 1 - Характеристики модифицированных КФ покрытий

№ группы образцов	Параметры осаждения наночастиц бемита	R_a, параметр шероховатости до осаждения наночастиц бемита, мкм	R_a, параметр шероховатости после осаждения наночастиц бемита, мкм	Содержание алюминия в КФ покрытии, ат.%
1	m (AlN)=30 мг;	2,20	2,35	2,44
2	m (AlN)=60 мг;	2,25	2,60	2,48
3	m (AlN)=30 мг, пятикратное осаждение наночастиц бемита	2,35	3,15	3,61
4	КФ покрытие без наночастиц бемита	2,38	-	-

Таким образом, параметры осаждения наночастиц бемита, такие как масса исходного порошка AlN и число осаждений влияют на морфологию и концентрацию алюминия в КФ покрытии. Увеличение массы порошка до 60 мг позволяет получить КФ покрытия с развитым рельефом и более равномерным распределением наночастиц бемита. Однако содержание алюминия в таких покрытиях (2,48 ат.%) незначительно превышало величину, полученную при использовании 30 мг порошка AlN (2,44 ат.%). Пятикратное осаждение наночастиц бемита позволяет сформировать пористые покрытия с наибольшей концентрацией алюминия (3,61 ат.%).

Для установления оптимального метода осаждения наночастиц бемита на КФ покрытия планируются исследования заряда модифицированных покрытий.

В заключение авторы выражают благодарность заведующему лабораторией физики высокодисперсных материалов ИФПМ СО РАН Лернеру М.И., Глазковой Е.А., Казанцеву С.О. за предоставление AlN и обсуждение результатов исследований. Работа выполнена по государственному заданию ИФПМ СО РАН на 2015-2017 г., проект 23.2.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лернер М.И., Горбиков И.А., Бакина О.В., Казанцев С.О. Деагломерация наноструктур оксигидроксида алюминия при ударно-волновом воздействии электрогидравлического разряда // Физика и химия обработки материалов – 2016. – №3. – С.73-80.
2. Комарова Е.Г. Шаркеев Ю.П., Седельникова М.Б., Чайкина М.В., Чебодаева В.В. Структура и свойства микродуговых кальций-фосфатных покрытий на основе цинк и медь замещенного гидроксиапатита // Известия вузов. Физика. – 2015. – Т. 58. – С. 117–121.

К ВОПРОСУ ОБРАЗОВАНИЯ ПОЛЫХ МИКРОСФЕР В ПОТОКЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ

В.В. Шеховцов, О.Г. Волокитин, Р.Е. Гафаров
Научный руководитель: профессор, д.т.н. Г.Г. Волокитин
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, 634003
E-mail: shehovcov2010@yandex.ru

В настоящие время получение микросфер сводится к термической обработке легкоплавких оксидных порошковых материалов или выделения концентрата из золоотвалов, сформированных в процессе работы тепловых электростанций на каменном угле [1, 2]. Однако сырьевая база для получения микросфер сильно ограничена, ввиду высокой температуры плавления исходного сырья. Расширить номенклатуру сырья для получения микросфер возможно с использованием электродуговых плазмотронов. Реализуемые температурные режимы, которых в десятки раз превышают температуры в агрегатах, традиционно используемых для термического воздействия (газопламенные горелки).

На сегодняшний день интенсивно проводятся исследования по плазменному воздействию на агломерированные частицы на основе тугоплавких оксидов и силикатов с целью получения полых микросфер [3, 4]. В данных работах нами впервые рассмотрена возможность использование техногенного сырья алюмосиликатного состава (золошлаковые отходы) в качестве исходного сырья для получения полых микросфер с использованием энергии термической плазмы.

Для формирования микросфер на основе предложенного сырья необходимо получить агломерированный порошок на его основе. В работе [5] подробно описан процесс получения агломерированного порошка, стоит отметить, что морфология агломерированного порошка представлена совокупностью гетеродисперстных частиц формируемых объекты овальной формы. Поверхность отдельных частиц агломерированного порошка являтся весьма развитой и имеет разветленную систему микропор. Пористость частиц можно описать, как $П=V_g/V_p$, где П – пористость частицы, V_g – объем пор в частице, $V_p=V_g\pi D^3_p/6$ – объем исходной частицы. Авторами в работах [6, 7] получены результаты экспериментальных исследований по вводу пористых частиц ZrO_2 (стабилизирован Y_2O_3 8% по массе) в поток плазмы реализованным электродуговым плазмотроном МЭВ - 50 (ИТПМ СО РАН), отмечено, что оптимальная пористость исходных частиц для получения полых микросфер должна составлять 45%.

Рассмотрим физическую модель динамики образования полых микросфер на основе агломерированного порошка (пористые частицы) в потоке термической плазмы (рис. 1).

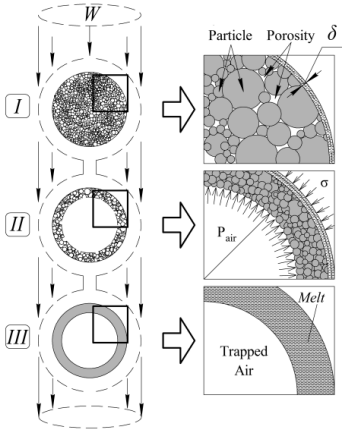


Рис. 1. Физическая модель динамики образования полой микросферы в потоке термической плазмы

На первом этапе при попадании пористой частиц в объемный поток термической плазмы (W) происходит мгновенное оплавление поверхности (δ) с захватом воздуха, содержащегося в порах (интервал *I*). На данном участке интенсивно протекают процессы теплообмена и диффузии за счет высокой концентрации энергии и температуры плазменного потока. При этом температура исходной частицы стремится к температуре образования жидкой фазы 1910 – 1950 K. В этот момент происходит изменение кристаллических решеток сплавленных частиц субмикронного размера находящихся на

поверхности пористой частицы. На интервале *II* протекают процессы, связанные с формированием оболочки микросферы под действием внешних (σ) и внутренних сил (P_{air}). К внешним относится сила поверхностного натяжения, а к внутренним – давление нагретого воздуха, захваченного в интервале *I*. Исходя из равновесия данных сил определяется толщина стенки микросферы. На заключительном интервале *III* частица выходит из потока плазмы. Вследствие резкого изменения температуры несущей среды начинают развиваться процессы аморфизации сформировавшейся на интервале *II* оболочки микросферы. Температура аморфизации оболочки составляет 720 – 770 К и стремится к температуре исходной частицы 300 К.

Для подтверждения выше описанной модели образования полых микросфер проведены экспериментальные исследования на электроплазменном стенде по подбору оптимального режима плазменного воздействия [4]. По результатам экспериментов установлено, что наиболее эффективное плазменное воздействие достигается при технологическом режиме работы электродугового плазмотрона: выходное отверстие анодного узла 25 мм, расход плазмообразующего 0.8 л/с, ток дуги 200 А, напряжение 130 В, расход порошка 3.7 кг/ч. Оценка плазменного воздействия производилась по электронным снимкам (электронный микроскоп Quanta 200 3D) полученных полых микросфер (рис. 2) согласно диаграмме Крубьена-Шлосса.

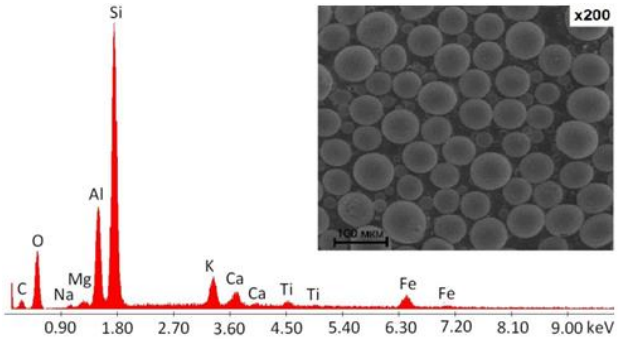


Рис. 2. Электронное изображение и распределение элементного состава микросфер на основе золошлаковых отходов

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлено, что перспективной сырьевой базой для получения микросфер с использованием энергии плазмы являются силикатные отходы техногенного производства (золошлаковые отходы). Установлено, что морфология полученных полых микросфер представлена без дефектов, средний диаметр частиц находится в пределах 90-120 мкм с объемной плотностью 0.3-0.4 г/см^3. Частицы с такими характеристиками наиболее пригодны для практического использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Huidong Liu, Qi Sun, Baodong Wang, Peipei Wang, Jianhua Zou. Morphology and Composition of Microspheres in Fly Ash from the Luohuang Power Plant // Chongqing, Southwestern China Minerals. – 2016. – Vol. 6 (2). – P. 30.
2. Fomenko, E.V., Anshits, N.N., Vasil'eva, N.G. et al. Composition and structure of the shells of aluminosilicate microspheres in fly ash formed on the combustion of Ekibastuz coal // Solid Fuel Chem. – 2016. – Vol. 50. – P. 238.
3. Shekhovtsov V.V., Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G., Gafarov R.E. Plasma treatment of agglomerating aluminosilicate powders based on coal ash // AIP Conf. Pro. – 2017. – Vol. 1800. – P. 020008.
4. Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Kondratyuk A.A., Vitske R. E. Fly ash particles spheroidization using low temperature plasma energy // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2016. – Vol. 156. – P. 012043.
5. Волокитин Г.Г., Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г., Волланд С. Физико-химические процессы получения зольных микросфер с использованием низкотемпературной плазмы // Вестник ТГАСУ. – 2016. – № 3. – С. 139 – 145.
6. Гуляев И.П. Применение низкотемпературной плазмы для получения полых керамических порошков с заданными характеристиками // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т. 57, № 3-3. – С. 123 – 126.
7. Гуляев И.П. Особенности получения и обработки полых частиц диоксида циркония в плазменных потоках // Вестник Югорского государственного университета. – 2009. – № 2. – С. 10 – 22.

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА СВС НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ ПРИ ХОЛОДНОМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ НАПЫЛЕНИИ

Ян Сяо, Б.С. Зенин
Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н., Б.С. Зенин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: royyang330@outlook.com

Одной из важных характеристик напыляемых покрытий является адгезия. При газотермическом напылении уровень адгезии определяется как высокой температурой напыляемых частиц, так и их скоростью. В методе холодного газодинамического напыления (ХГН) величина адгезии зависит главным образом не от тепловой, а от кинетической энергии напыляемых частиц, ускоряемых «холодным» газом, что позволяет устранить нежелательный нагрев частиц при их движении в высокотемпературной струе [1]. В основе данной технологии лежит процесс формирования металлических покрытий при соударении холодных (с температурой, существенно меньшей температуры плавления) металлических частиц, ускоренных сверхзвуковым газовым потоком до скорости несколько сот метров в секунду, с поверхностью обрабатываемой детали [2].

В момент взаимодействия напыляемой частицы с обрабатываемой поверхностью (подложкой) образование адгезионной связи покрытие – основа контролируется величиной контактной температуры на границе частица-подложка. При ХГН контактную температуру можно значительно повысить, если для получения покрытия использовать экзотермически реагирующие порошки [3], в которых выделяется значительное количество тепла за счет реакции самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [4].

В работе проводится анализ влияния величины эффекта адиабатического нагрева на температуру в контакте частицы с подложкой при ХГН на примере пяти порошковых материалов систем Fe-Al и Ni-Al (чистые металлы Fe, Al, Ni и экзотермически реагирующие порошки $Fe_{50}Al_{50}$, $Ni_{50}Al_{50}$). Частицы из данных материалов напыляются на подложку из Ст20. Начальная температура подложки T_s = 300К, скорость частиц варьировалась в широких пределах от 100 до 1000 м/с. Повышение температуры для экзотермически реагирующих порошков (тепловой эффект процесса СВС) $\Delta T_{экз}$ ($Fe_{50}Al_{50}$) = 735К и $\Delta T_{экз}$($Ni_{50}Al_{50}$) = 1765К [3]. Для расчета температуры в контакте используем метод, предложенный в [5, 6]

$$T_c(\xi,\tau) = T_c^0(\xi,\tau) + T_v(\xi,\tau) \quad (1)$$

где T_c^0 -температура в контакте двух различно нагретых тел без учета скорости; ΔTv- температура дополнительного подогрева контакта за счет тепла, выделяемого при ударе. В нашем случае используем эту формулу в виде

$$T_c(\xi,\tau) = T_c^0(\xi,\tau) + T_v(\xi,\tau) + \Delta T_{экз} \quad (2)$$

Так как для начала экзотермической реакции (СВС) необходим предварительный подогрев исходного материала до температур от 600°С и выше [4], то по формуле (2) расчет для экзотермических порошков проводим для условий, когда их температура за счет кинетической энергии достигнет температуры «зажигания» и начнет выделяться тепловая энергия экзотермической реакции.

Таблица 1 - Теплофизические свойства материалов

Материал	ρ, кг/м^3	c, Дж/кг*К	λ, Вт/м*К	$T_м$, К
Ni	8900	443.6	90.4	1728
Fe	7870	447	80	1811
Al	2697	903.7	236	933
$Fe_{50}Al_{50}$	5283	675	158	1372
$Ni_{50}Al_{50}$	5798	673	163.2	1330
$C_т$ 20	7850	690	50.7	1538

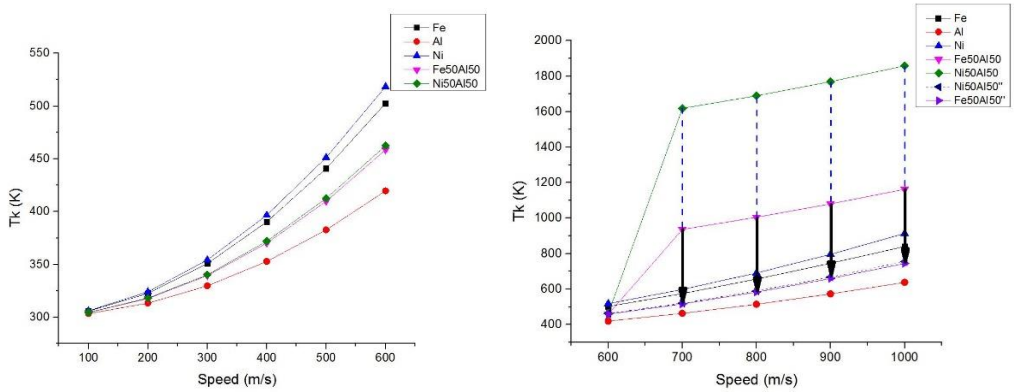


Рис.1. Температура в контакте для напыляемых частиц из чистых металлов и сплавов при скоростях 100-600 м/с (а) и 600-1000м/с (б)

На рисунке 1а представлены результаты расчета температуры в контакте при скоростях 100-600 м/с для исследованных материалов. Для материалов с увеличением скорости частиц температура в контакте возрастает за счет кинетической энергии, достигая при скорости 600 м/с значений 419К, 502К, 518К, 458К и 462К для Al, Fe, Ni, $Fe_{50}Al_{50}$ и $Ni_{50}Al_{50}$ соответственно. В сплавах эффект экзотермической реакции проявляется при скоростях от 700 м/с и выше, дополнительно повышая температуру в контакте на $\Delta T_c = 420К$ для $Fe_{50}Al_{50}$ и $\Delta T_c = 1098К$ для $Ni_{50}Al_{50}$ практически независимо от скорости (по сравнению с гипотетическим случаем - отсутствием СВС реакции) (рисунок 1б).

Выводы. Полученные результаты показывают важную роль дополнительного подогрева напыляемых частиц порошка в момент их контактного взаимодействия с подложкой в формировании контактной температуры и высокую эффективность применения экзотермически реагирующих порошков при получении покрытий с повышенной адгезией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов Ю.С., Борисова А.Л. Плазменные порошковые покрытия: -1986. – 204 с.
2. Алхимов А.П. Научные основы холодного газодинамического напыления (ХГН) и свойства напыленных материалов: монография / А.П. Алхимов, В.Ф. Косарев, А.В. Плохов. -Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 280 с.
3. Кулик А.Я., Борисов Ю.С., Мнухин А.С., Никитин М.В. Газотермическое напыление композиционных порошков: - Л.:Машиностроение, 1985. – 199 с.
4. Мержанов А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: теория и практика. – Черноголовка: ИСМАН, 2002. – 234
5. Алхимов А.П., Клинков С.В., Косарев В. Ф. Температура вблизи контактной границы при высокоскоростном соударении микрочастицы с поверхностью. //Физическая мезомеханика 3 1 (2000) 53-57с.
6. Ян Сяо, Чжао Ифань, Зенин Б.С. Особенности температурных условий формирования многослойных покрытий при газодинамическом напылении // Высокие технологии в современной науке и технике / V Международная научно техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 5–7 декабря 2016 г.: сборник трудов. – Томск: – 562 с. 212-213.

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ПРОЧНОСТЬ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ

А. А. Яхин
Научный руководитель: доц. каф. ММС ТПУ, к.т.н. А. А. Кондратюк
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: aay9@tpu.ru

С появлением высоких технологий интенсивно развиваются наука и техника, что в свою очередь означает не только комбинирование информационных и технических областей, но и применение уникальных материалов. С каждым годом появляются такие области применения, где чистые материалы уже не могут использоваться. В связи с этим, создаются композиты нового поколения с разными количеством и типом наполнителей. Одним из перспективных материалов является сверхвысокомолекулярный полиэтилен, композиты на основе которого позволяют достичь повышенных характеристик и особенных свойств.

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) отличается от других термопластов весьма ценным комплексом свойств, таких как коррозионная стойкость, высокая износостойкость, низкий коэффициент трения и высокая вязкость разрушения. [1]

Новые композиты на основе СВМПЭ обладают уникальными свойствами. Добавляя разные типы и количество наполнителей можно получить необходимые эксплуатационные свойства. [2]

Авторами была разработана определенная методика и подобран оптимальный режим изготовления композитов [3]. Процесс компрессионного спекания состоит в следующем: повышение температуры до 160 – 180°С при удельном давлении 10 – 12 МПа. Далее выдержка под давлением равным удвоенному первичному – примерно 120 мин. при толщине изделия 40 мм. Затем снятие давления и охлаждение изделия до 40 – 30°С в течение 60 мин. [4]

В качестве дисперсного неорганического наполнителя для композитов на основе СВМПЭ использовался мелкодисперсный порошок нитрида бора гексагональный ТУ 2-036-707-77 марки А. Выбор в качестве наполнителя обусловлен стремлением к уменьшению коэффициента трения, и соответственно, повышению износостойкости композиционного материала. Также нитрид бора обладает способностью останавливать нейтроны ядерных реакторах. [5]

Исследования на растяжение проводились на установке Instron 5582 и образцы из композитов доводились до их полного разрушения. В процессе растяжения измерялась деформация и растягивающее усилие, измеренное в МПа. Результаты экспериментальных данных исследований приведены на рис.1 и рис.2.

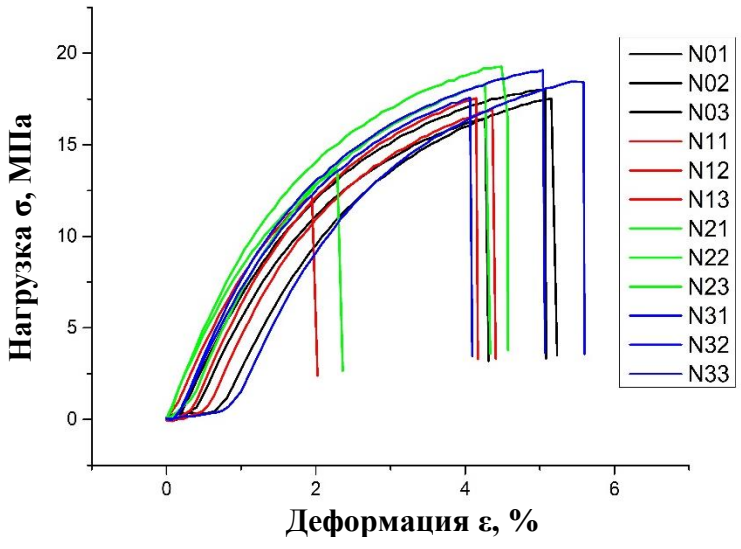


Рис. 1. График зависимости деформации от напряжения для образцов с одинаковым содержанием нитрида бора в количестве 13 % весовых

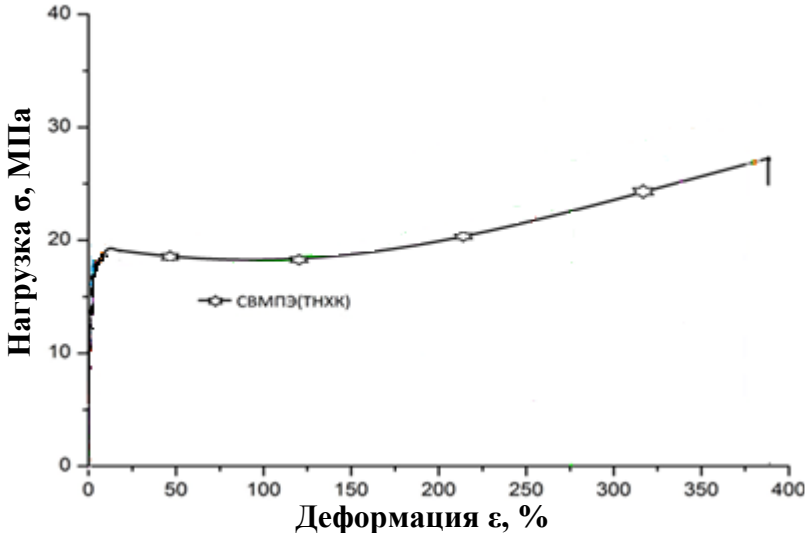


Рис. 2. График зависимости деформации от напряжения для чистого СВМПЭ

По полученным графикам можно сделать выводы, что добавление наполнителя в виде порошка нитрида бора гексагонального ТУ 2-036-707-77 марки А в количестве 13% весовых значительно снижает значения деформации по сравнению с чистым СВМПЭ. Также можно отметить что значение предела прочности данного композита чуть ниже значения предела прочности чистого СВМПЭ.

Полученные экспериментальные данные могут быть использованы как инженерами-технологами при проектировании новых изделий, так и исследователям, занимающимся композиционными материалами на полимерной основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крыжановский В. К., Бурлов В. В. Прикладная физика полимерных материалов. — СПб.: Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2001. — 261 с.
2. Пахаренко В. А. и др. Наполненные термопласты: Справочник / В. А. Пахаренко, В. Г. Зверлин, Е. М. Кириенко; Под общ. ред. акад. Ю. С. Липатова. — К.: Техника, 1986. — 182 с.
3. Кондратюк А. А., Клопотов А. А., Муленков А. Н., Зитаншин А. И., Васендина Е. А. Особенности изменения удельной теплоемкости наполненных композитов // Изв. вузов. Физика. – 2012. - №5/2. – С. 151-155.
4. Вицке Р. Э., Кондратюк А. А. Исследование влияния количества и типов наполнителей на механические характеристики композитов на основе СВМПЭ // Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении, 2016. — 138 – 142с.
5. Нечепуренко А. С. Бескислородные соединения бора – материалы нового поколения // Сб. науч.тр., Екатеринбург, 2000. В. 71, С. 40-58

СЕКЦИЯ 2

ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

ULTRA-HIGH SENSITIVE DETECTION WITH SURFACE-ENHANCED RAMAN SPECTROSCOPY

A.V. Ilchuk
Scientific leaders: Doctor Raul D. Rodriguez, PhD Evgeniya Sheremet, Prof. Dr. Dr. h.c. Dietrich R.T. Zahn
National Research Tomsk Polytechnic University
Russia, Tomsk, Lenin avenue 2, building 33 634028
E-mail: avi29@tpu.ru

Keywords: Surface-enhanced Raman spectroscopy, SERS, Raman spectroscopy, sensors, plasmonics, finite element method simulations.

Abstract. Ultra-high sensitive detection is a technological and scientific challenge with implications in different disciplines from medicine to national security and the military industry. Although there are many ways to achieve high sensitivity, one driven force towards technological developments is the possibility to obtain an extremely high performance in an inexpensive and easy way. In this regard, we report in this contribution a way to implement plasmonic nano-particles used in surface-enhanced Raman spectroscopy sensing with a sensitive better than commercial products tested under the same conditions. For testing purposes, we use different organic molecules from ultra-thin layers to monolayers formed by self-assembly. Our results show the possibility to produce highly-sensitive sensors in an inexpensive and efficient way.

Introduction. The highest possible sensitivity of any chemical detector is that of a single-molecule detection[1]. Such high sensitivity can be achieved with surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS). This method allows the chemical identification of different analyzes ranging from biomarkers for cancer detection to pesticides and other environmental pollutants. However, in addition to the Raman spectrometer that nowadays can be available even as portable handheld devices, another critical component of SERS concerns the plasmonic nanostructures that are directly responsible for the Raman signal amplification. In this work, we aim at demonstrating experimentally and with computer simulations that single crystalline nanoparticles made from Ag salts can be used as highly efficient SERS substrates. We show the generality of our concept by the environmentally-friendly and inexpensive fabrication of plasmonic nanostructures from household materials.

Experimental methods

Sample fabrication: Ag nanocrystals were obtained by electrochemical reduction of Ag in a $AgNO_3$ aqueous dispersion, as energy source we used household cells, including with natural electrolytes and solar cells. Metal film on nano spheres, a commercial substrate (Klarite) and a blank piece of silicon were used as reference systems of enhancement.

Raman spectra were obtained in the back-scattering configuration using a LabRam HR800 and 514.7 nm excitation. The samples were simultaneously coated with a 2 nm layer of cobalt phthalocyanine (CoPc) by organic molecular beam epitaxy under ultra-high vacuum.

Results and discussion

Fig.1a shows the Raman spectra acquired from different substrates including the metal films on nano spheres, a Si substrate, and a commercial SERS sample (Klarite). The comparison of the main C=C vibration enhancement from the CoPc molecule[2] with peak intensity located at 1535 cm^{-1} is shown in Fig.1b. It is clear that the highest degree of enhancement is not for the commercial sample but for the Ag or even Al home-made substrates. Typically, the plasmonic enhancement of the Raman signal can be as high as 10^8 orders of magnitude. In our case we find a lower signal enhancement which can be related to the higher thickness of the layer as to the analyte concentrations used in single molecule detection. The scanning electron microscopy images and atomic force microscopy observations of the samples providing the highest enhancement reveal the presence of a high density of nano-junction made by two or more nanoparticle close together. These regions of the sample make the so-called hotspots responsible of the high signal amplification[3]. The simulation results for different nanoparticle configurations demonstrate the high signal amplification at the hotspots.

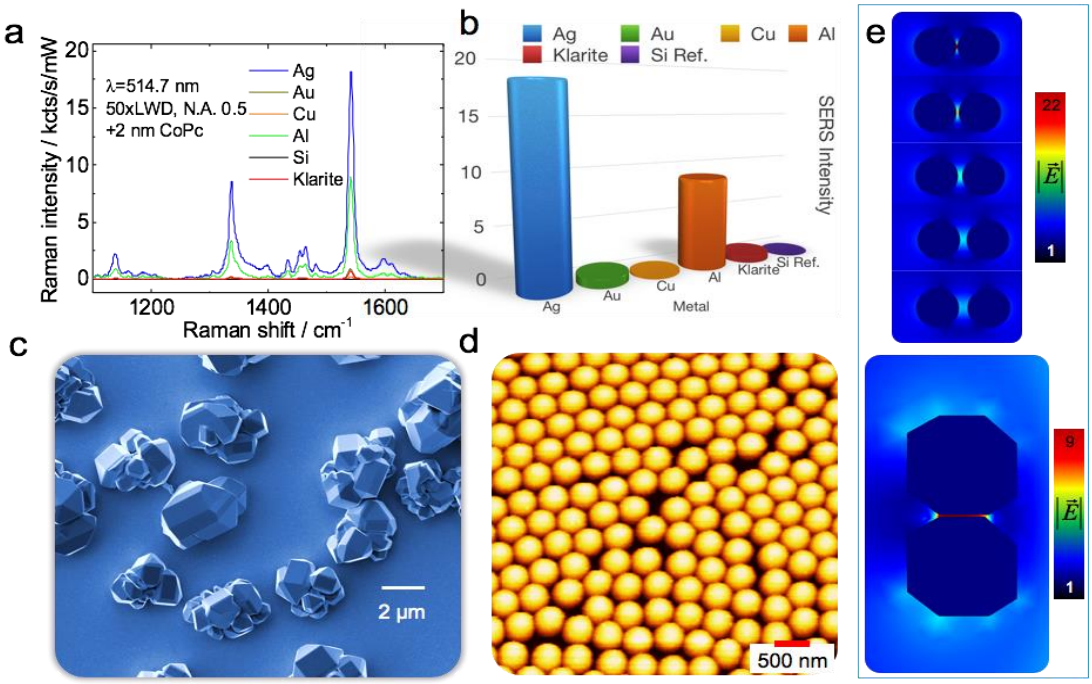


Figure 1: a) Raman spectra from ultra thin layers of cobalt phthalocyanine. Different substrate materials have been investigated including a commercial substrate (Klarite). b) Comparison chart of the enhancement obtained from different materials. c) Scanning electron microscopy image of the Ag substrate producing the highest signal enhancement. d) Atomic force microscopy image from a self-assembled monolayer polystyrenerene spheres used as template for metal deposition. e) Illustration of the finite element method simulation results of different nanoparticle configurations, Top: Au nanospheres 50 nm radius at distances from top to bottom of: 2, 5, 10, 15, and 20 nm. Bottom: Two octahedra nanoparticles showing the larger enhancement area as compared to the nanospheres. In all cases the excitation electromagnetic wave has a wavelength of 532 nm, with electric field polarized along the axis joining the two nanoparticles.

Summary

We present the first systematic experimental and computer simulation results for the most versatile, ultra-sensitive, and inexpensive implementation of plasmonic sensors based on SERS. We anticipate the exploitation of our research in technological applications such as detectors to clinical applications in early diagnosis detection from advanced clinics to developing countries thanks to the cost-efficient nature our fabrication method.

References

1. Kneipp, K.; Wang, Y.; Kneipp, H.; Perelman, L. T.; Itzkan, I.; Dasari, R. R.; Feld, M. S. Single Molecule Detection Using Surface-Enhanced Raman Scattering (SERS). Phys. Rev. Lett. 1997, 78, 1667–1670.
2. Sheremet, E.; Rodriguez, R. D.; Zahn, D. R. T.; Milekhin, A. G.; Rodyakina, E. E.; Latyshev, A. V. Surface-Enhanced Raman Scattering and Gap-Mode Tip-Enhanced Raman Scattering Investigations of Phthalocyanine Molecules on Gold Nanostructured Substrates. J. Vac. Sci. Technol. B, Nanotechnol. Microelectron. Mater. Process. Meas. Phenom. 2014, 32, 04E110.
3. Mikoliunaite, L.; Rodriguez, R. D.; Sheremet, E.; Kolchuzhin, V.; Mehner, J.; Ramanavicius, A.; Zahn, D. R. T. The Substrate Matters in the Raman Spectroscopy Analysis of Cells. Sci. Rep. 2015, 5, 13150.

ELECTRONIC TATTOOS FOR HEALTH TRACKING BASED ON GRAPHENE OXIDE

A. Lipovka[1], G. Murastov[1], O. Nozdrina[1], E. Sheremet[1], O. Kanoun[2], A. Al-Hamry[2], V. Prakash[3], S. Mehta[3]
Scientific adviser: professor, PhD R. Rodriguez*
[1]Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenina av., 30, 634050
[2]Chemnitz University of Technology, Germany, Chemnitz, Straße der Nationen 62, 09111
[3]Institute of Forensic Science & Criminology, Panjab University, India, Chandigarh, Sector 14, 160014
E-mail: lipovka.a@gmail.com
*raulmet@gmail.com

Keywords: electronic tattoo, skin electronics, sensor, graphene oxide, flexible electronics, wearable electronics.

Introduction: According to the Forbes analysis [1], the healthcare Internet of Things market segment is poised to hit $117 billion by 2020. Sensor applications are significantly increasing and eHealth is the priority direction [2] for research. Wearable devices based on graphene are competitive and useful due to their thickness, softness, intimate connection with a skin without additional environment (such as the special gel for flat electrodes nowadays). Theoretical analysis affirms that only ultrathin and soft skin sensors can conform to skin morphology without additional adhesives [3, 4]. Described advantages are available due to the properties of graphene oxide: optical transparency, mechanical and chemical stability, biocompatibility. Suggested E-tattoos could be applied for several measurements, for example: ECG, EEG, EMG, temperature measurements. All these biometric sensors could be potentially used in the ambulatory treatment and health tracking markets. The first main stage for these devices production is the fabrication of the conductive circuits on different substrates. In the following paper some preliminary results are presented: experimental proof of the graphene oxide (GO) laser reduction possibility, optimization of the laser reduction parameters for glass substrate.

Materials and Methods. Graphene oxide solution by a modified Hummer's method. As the substrate, we used 0,17 mm thick glass cover slides. We chose the laser irradiation for GO reduction and direct writing the patterns as the chemically free and less complex method, which was produced by using ytterbium pulsed laser (Mini Marker) with the wavelength 1,064 μm. For the conductivity measurements, we used an Arduino-based ohmmeter.

Results and discussion. Graphene oxide is a non-conductive material due to the additional hydroxyl-contained groups in a structure, therefore, for conductive patterns fabrication it is necessary to provide the reduction and archive reduced graphene oxide (rGO) as the result. The results of the procedure strongly depend on the following laser parameters (table 1). The measured samples are illustrated on a figure 1.

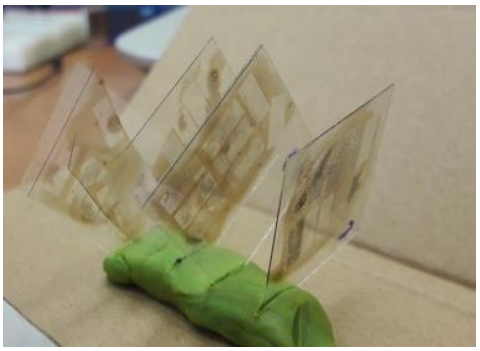


Fig.1. rGO samples

Table 1. Suitable parameters for GO reduction using laser irradiation

Parameter	Value	Units
Wavelength	1,064	μm
Pulse duration	50	ns
Frequency	90	kHz
Power	10	%
Writing speed	100	mm/s

Almost all of the samples showed significant changes in conductivity, measured by Arduino ohmmeter. Infrared laser is the best choice for the following purposes, because comparing to ultraviolet lasers it provides a bigger depth of penetration. We obtained that the laser power should not surpass 10 % of the nominal, in other way the material will be ablate completely. Taking into account all the parameters, writing speed is the less significant one. All the obtained parameters could vary for different substances. Also, the positive results depend on the thickness of the films and homogeneity of the layer.

Conclusion. Experimental data show us the principle possibility of the rGO patterns fabrication for the future application in the wearable tattoo-like sensors. The obtained results give us the suitable parameters to work with laser patterning at the future stages.

REFERENCES

1. TJ McCue. $117 Billion Market For Internet of Things In Healthcare By 2020 [electronic source]. – Free: https://www.forbes.com/forbes/welcome/?toURL=https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2015/04/22/117-billion-market-for-internet-of-things-in-healthcare-by-2020/&refURL=https://away.vk.com/away.php&referrer=https://away.vk.com/away.php#5924c54669d9. - 22.10.17
2. 50 Sensor Applications for a Smarter World [electronic source]. – Free: http://www.libelium.com/resources/top_50_iot_sensor_applications_ranking/ - 22.10.17
3. Shideh Kabiri, Ameri Rebecca Ho, Hongwoo Jang, Li Tao, Youhua Wang, Liu Wang, David M. Schnyer, Deji Akinwande and Nanshu Lu. Graphene Electronic Tattoo Sensors// ACS Nano11 - 2017. №8. – P.7634–7641
4. Lu, N. S.; Yang, S. X. Mechanics for Stretchable Sensors// Curr. Opin. Solid State Mater. Sci. – 2015. - №19. – P. 149−159

FABRICATION OF 2D BASED PN JUNCTIONS WITH IMPROVED PERFORMANCE BY SELECTIVE LASER ANNEALING

Ma Bing, R. D. Rodriguez, A. Lipovka, T. Nekrasova, G. Murastov, O. Nozdrina
Tomsk Polytechnic University, Lenina ave. 30, 634034, Tomsk, Russia
Scientific adviser: professor, PhD E. Sheremet*
Email: 562918740@qq.com, *jane.sheremet@gmail.com

Keywords: WS_2; MoS_2; laser annealing; Schottky barrier.

Abstract. There is a growing body of research on transistors based on nanomaterials such as 2D transition metal dichalcogenides (TMDs) (WS_2, MoS_2, etc.) and carbon nanotubes (CNTs). Here we co-deposited MoS_2 and WS_2 as PN junctions. The deposition could be performed on a PCB (printed circuit board) with Cu electrodes. The current-voltage characteristics were obtained using an Arduino board. The effect of laser irradiation could be investigated by studying the IV curves and light sensitivity for the same kind of devices in which one of the Cu electrodes was modified by a laser. The IV curves from the devices with and without laser treatment could be compared to quantify the changes in performance.

Introduction

Graphene as a two-dimensional (2D) material has attracted extensive attention due to its unusual physicochemical properties such as high conductivity, light transmission, and mechanical strength. Although graphene has great potential in various technological applications, its zero bandgap limits its use in devices such as channel materials in transistors which are the building blocks of electronics. A lot of work has been done on using CNTs as folded-up graphene with a bandgap. New research also revealed other 2D materials such as transition metal dichalcogenides (TMDs) (WS_2, MoS_2, etc.), which have energy bandgaps in the range 1–3 eV. One of the main issues in transistors based on these devices is high contact resistance. The possibility to improve the performance of CNT-based transistors was first suggested by the computational results from Nurbawono *et al*. [1] who showed that the laser annealing of the CNT/metal contact interface gives a way to control the Schottky barrier between them. Recently, Kwon et al. [1] showed the possibility to significatively improve the performance of MoS_2 field-effect transistors by the selective laser annealing of the MoS2/metal junction. We aim at investigating the possibility to use such an approach at the large-scale device level.

Materials and Methods

In CNT-FET transistors provided by Fraunhofer ENAS, Germany, we have performed laser annealing of the CNT/metal junction. The Raman measurements were used to characterize the change in the CNT structure, while the Kelvin-probe force microscopy measurements were used to characterize electronic properties of the junction.

In the second approach, MoS_2 and WS_2 were co-deposited as n and p-type materials, respectively, in order to form heterojunctions. The deposition was performed on a cleaned PCB (printed circuit board) with Cu electrodes. The electrical properties of the deposited materials could be measured by Arduino board which is used to obtain and record the current-voltage characteristics. One of the electrodes on PCB was irradiated by a laser. We checked the conductivity by Arduino board.

Results and discussions

According to the measurement results we observed a change in contact potential difference for a CNT transistor demonstrating the effectiveness of this approach to modifying the electronic properties of the junction. CNTs remained intact after the laser annealing procedure according to the results of the Raman measurements. The MoS_2-WS_2 heterostructures could also be modified by the selective laser processing.

Conclusion

Nanomaterials such as CNTs and 2D TMDs are widely used in different devices such as transistors, diodes, photosensors, and solar cells. Therefore, discovering effective ways to modify potential barriers in order to improve their performance has an important implication. The use of lasers to modify 2D based PN junction is a very convenient, cost efficient and scalable way to achieve that. The results of our work imply that laser treatment can be exploited to modify Schottky barriers and PN junctions in transistors resulting in improved performance.

References

1. N. Huo, J. Kang , Z. Wei. Novel and Enhanced Optoelectronic Performances of Multilayer MoS_2-WS_2 Heterostructure Transistors // Advanced Functional Materials. 2014. Vol.24. №44. P. 7025-7031.

THIN CONDUCTORS OF rGO IN 2D GRAPHENE OXIDE STRUCTURE

G. Murastov[1], R. Rodriguez[1], A. Lipovka[1], O. Nozdrina[1], M. Bing[1],
O. Kanoun[2], A. Al-Hamry[2], V. Prakash[3], S. Mehta[3]
Scientific adviser: professor, PhD E. Sheremet*
[1]Tomsk Polytechnic University,Russia, Tomsk, Lenina av., 30, 634050
[2]Chemnitz University of Technology, Germany, Chemnitz, Straße der Nationen 62, 09111
[3]Institute of Forensic Science & Criminology, Panjab University, India, Chandigarh, Sector 14, 160014
E-mails: gvm1@tpu.ru, genboysk@gmail.com, *jane.sheremet@gmail.com

In the modern world, portable devices and gadgets have become a significant part of our lives. Smartphones, cellphones, watches with many functions as calls, alerts, calendar; portable players, tablets, thin laptops and ultrabooks – there are a large number of devices that need to be small and energy efficient. And all of these devices need a tiny conductor.

The idea of this research is to develop an alternative technology for creating flexible (*i.e.* efficient and wearable) electronic circuits.

The extraordinary properties of graphene structures are used already to create wearable sensors [1], conductive substrates, *etc*. The required conductor pattern is achieved by removing extra graphene. This creates an empty space between graphene wires. Another way to create complicated circuitry directly under the laser beam is based on graphene oxide. Being modified by laser energy this insulating material starts to conduct electrical current. This process is attributed to the reduction of graphene oxide and requires high temperature annealing [2]. This is one of the most prospective ways of creating conductive channels in two-dimensional materials.

Experimental method and samples. The T1592 P water level sensor from the arduino was selected as a substrate for the deposition of graphene oxide. Previously, the sensor modified by soldering and setting two jumpers. After that, the plate was prepared and consists of 5 pairs of parallel electrodes made of aluminum. The solution of graphene oxide was dropwise deposited at equal distances from the edge of the platform. After ethanol was evaporated the sample was ready for analysis.

The M20 minimarker of Laser Center at Tomsk Polytechnic University (TPU) was used for the purpose of modifying graphene oxide and creating microconductors between two electrodes. The dedicated software was used to control the laser position with 0.1 mm step. The varying speed of the scanning beam and the duration of one pulse are 100-800 mm/s and 20-100 ns, respectively. The pulse repetition rate was fixed at 90 kHz.

The visual detection of ablation was the point determined the mode of operation with a minimarker. This was achieved under the laser beam parameters: 90 kHz, 50 ns, 1% of the nominal power. The bands between the metal electrodes were applied at the same distance.

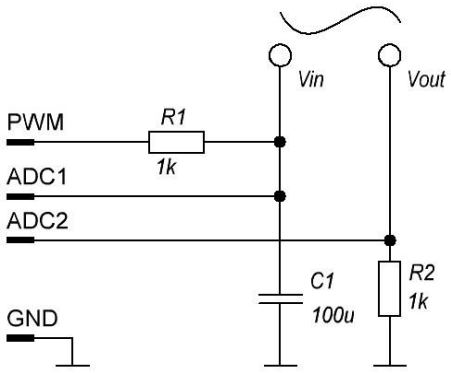


Fig. 1. The electric scheme for the measurement. The sample was connected between V_{in} and V_{out} contacts

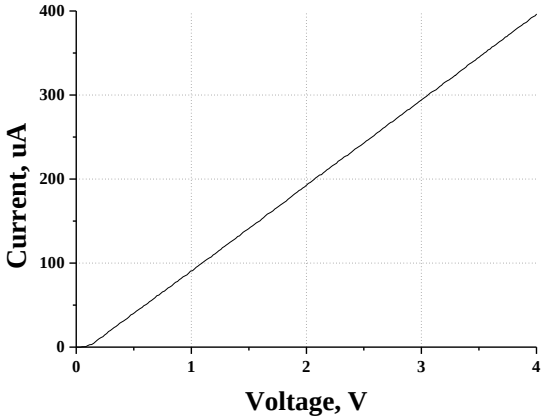


Fig. 2. Data obtained with a 10 kOhm resistor

The circuit measures the volt-ampere characteristics of sample (Fig.1). The Arduino Mega 2560 board has a controller with an 8-channel 10-bit integrated analog-to-digital converter (ADC) for measuring the current in the circuit and 8-bit channels with pulse-width modulation (PWM) for setting voltage on the sample. The

step of changing the voltage is 20 mV, the accuracy of measuring the current equals ±10 μA. The control measurement was done with a 10 kOhm resistor (Fig.2).

Results and discussion. Without any sample modification, the graphene oxide layer did not conduct any electricity. When creating one or two conducting channels, the measurement was possible with a higher voltage than allowed our scheme or nanoscale current sensitivity. Therefore, 10 channels were created at a speed of laser scanning of 200 mm/s for sample №1 and at a speed of 400 mm/s for sample № 2.

Fig. 3 shows the data obtained from these structures. It turned out that they have an electric channel. A more detailed study made by visual inspection with a digital microscope, allowed us to conclude that the electrons can only move along the tiny edges of the channel where the radiation effect was weaker than at the center of the laser beam. Indeed, at the middle of the laser irradiated patterns we observed the removal of graphene oxide. Apparently, some of the heat is transferred to the surrounding matter as a result of high-temperature heating of the material with its subsequent evaporation in the beam focusing region.

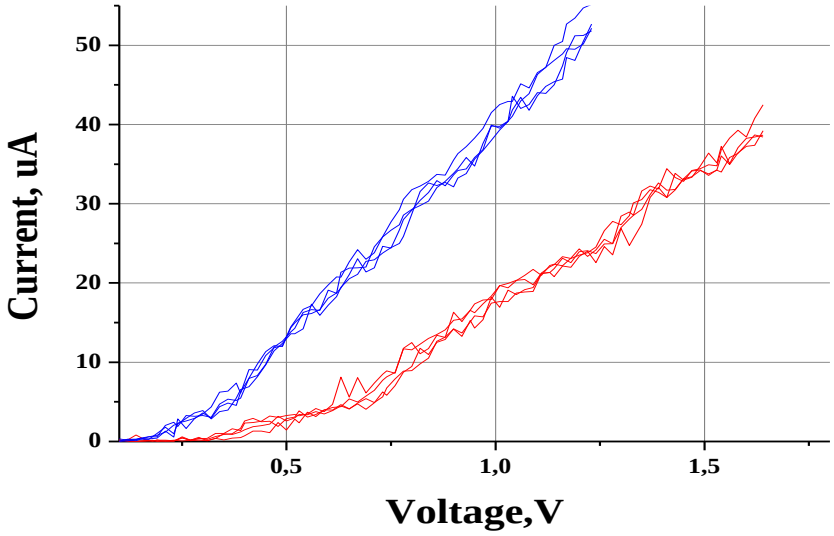


Fig. 3. The volt-ampere characteristics for sample №1 (left) and sample №2 (right).
For one sample experiment corresponds 4 curves

Conclusion. This work confirms the conclusions of the work by Zhang *et al*. [2] about graphene oxide reduction. Indeed, under the influence of laser radiation it is possible to obtain a conductive channel in a dielectric. Moreover, we found that the conductive channels can be not only thin layers that were directly irradiated by the laser beam, but also outside of the beam focus. Such thin edges can be several orders of magnitude smaller than the laser spot. This technology may help to create nano- and microwires, structures, circuits. Further deeper studies are underway. And finally, this is a cheap and flexible alternative method of electronics production.

LITERATURE

1. Hsin-Liu (Cindy) Kao et al. DuoSkin: rapidly prototyping on-skin user interfaces using skin-friendly materials // Proceedings of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers. Heidelberg, Germany — September 12 - 16, 2016. p.16-23.
2. Zhang, Y. et al. Direct imprinting of microcircuits on graphene oxides film by femtosecond laser reduction. // Nano Today. – 2010. №5, p. 15–20.

AN ALTERNATIVE SUBSTRATE FOR THE INVESTIGATION OF TWO-DIMENSIONAL MATERIALS

T.D. Nekrasova[*1, a], R.D. Rodriguez[1, b], E.S. Sheremet[1, c], Dietrich R.T. Zahn[2]
[1]National Research Tomsk Polytechnic University
30, Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia
[2]Semiconductor Physics, Chemnitz University of Technology, Chemnitz 09107, Germany
[a]tanyanekrasova09@gmai.com, [b]raulmet@gmail.com, [c]jane.sheremet@gmail.com

Keywords: two-dimensional materials, van der Waals materials, substrate, graphite, Raman spectroscopy, atomic force microscopy.

Abstract

Since the discovery of two-dimensional materials, there is a strong research focus motivated by their unique properties. Such investigations give a way to several applications and discoveries not observed in the 2D bulk counterparts. However, practically all research in 2D materials until now was performed with Si/SiO_2 as the substrate and 2D material support by default. This research focuses on the possibility of using HOPG as a universal substrate for the future investigation of two-dimensional materials due to a number of unique properties such as chemical purity, stability, high flatness, and electrical conductivity. This study demonstrates the results of a systematic investigation with AFM, photoluminescence, and Raman spectroscopy of 2D materials deposited on HOPG and several other substrates. The obtained results show a strong interaction between HOPG and two-dimensional materials. The enhanced adhesion to HOPG allowed the instant deposition of different kinds of 2D materials that is normally not easily accomplished on SiO_2. This work shows the advantages and potential of an alternative substrate that could make a significant impact in future investigation of novel 2D materials.

Introduction

Since the first isolation of single layer graphene in 2004 and the recognition of this research with the award of a Nobel Prize in 2010, the number of new two-dimensional materials has grown significantly. Nowadays, there is a strong research focus on two-dimensional materials motivated by their unique properties that arise when van der Waals materials are scaled down to the single or few layers level [1]. Such physical properties are usually not observed in their 3D counterparts. These properties make them promising materials for different applications and pave the way to the future discoveries involving physical systems spatially confined in 2D. However, practically all research in 2D materials until now has been performed with SiO_2/Si as the substrate and 2D material support by default. A systematic investigation of other materials as support for 2D layers is nowadays missing in the literature. Such investigation could give a way to alternative substrates with better adhesion and chemical inertness allowing a next wave of discoveries in this hot topic of layered van der Waals materials.

In the present study we demonstrate that graphite offers significant advantages with respect to the usual SiO_2/Si substrate due to the number of unique properties. The chemical purity and stability of the substrate, the high flatness and good conductivity properties, the possibility to deposit any kind of 2D material from multilayer to monolayers makes graphite a good choice as an alternative substrate.

Materials and Methods

In this study, we present the results of a systematic investigation with atomic force microscopy (AFM), current sensing AFM (CSAFM), Kelvin probe force microscopy (KPFM), photoluminescence (PL), and Raman micro-spectroscopies of GaSe, MoS_2, and $ZnIn_2S_4$ deposited by mechanical exfoliation on several other substrates (SiO_2, indium tin oxide, mica) and HOPG.

Results

The obtained results demonstrate a strong interaction between HOPG and two-dimensional materials. The close contact between the 2D layer and graphite, readily achieved without the need of external pressure, is reflected by the direct propagation of native defects in the substrate all the way up to the top layers of the deposited 2D layer (Fig.1). We attribute this large interaction to graphite as due to van der Waals interactions

between the two layered materials. The conductive nature of HOPG allowed the investigation of the transport and electronic properties of different 2D materials at the nanoscale by CSAFM and KPFM. The enhanced adhesion to HOPG allowed the instant deposition of different kinds of 2D materials that is normally not easily accomplished on SiO_2. The Raman and photoluminescence spectroscopy investigations show that the pristine properties of the 2D materials are preserved despite the remarkable vdW coupling to HOPG.

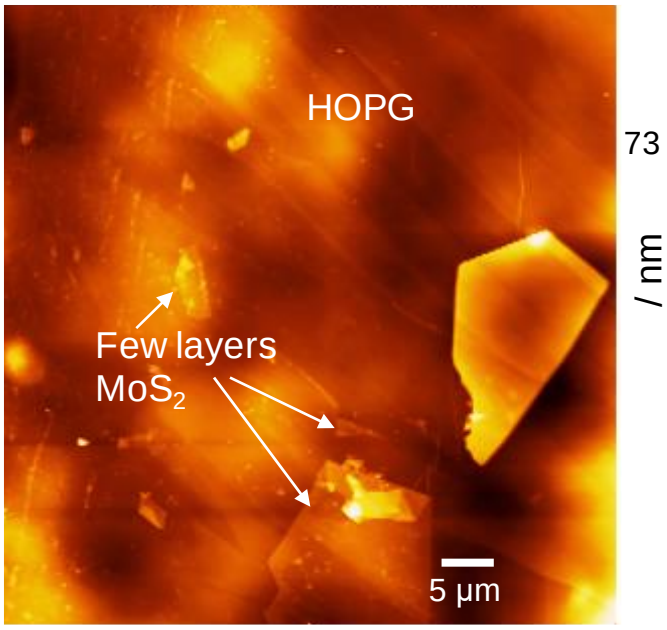


Fig.1 AFM of MoS_2 on HOPG

Conclusions

Graphite shows its potential as a good alternative to the usual SiO_2/Si substrates due to a number of unique properties such as chemical purity, stability, high flatness and strong interactions with 2D materials. The obtained results make a significant impact in the future research of novel two-dimensional materials. Our research also paves the way to the investigation of 2D materials with low chemical stability (*i.e.*: phosphorene, silicene, and others not yet reported) which should benefit from a substrate with a large non-covalent interaction.

Reference

1. Late, D. J.; Liu, B.; Matte, H. S. S. R.; Rao, C. N. R.; Dravid, V. P., Rapid Characterization of Ultrathin Layers of Chalcogenides on SiO2/Si Substrates. Advanced Functional Materials 2012, 22 (9), 1894-1905.

ЭФФЕКТИВНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ОБЛУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ В ТЕПЛИЧНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

А.А. Бактыбаев, С.Б. Туранов, К.А. Толеутаев
Научный руководитель: к.ф.-м.н. А.Н. Яковлев
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: mr.baktybayev@gmail.com

Введение

В агропромышленном комплексе на облучение растений затрачивается около 20 % всей потребляемой электрической энергии [1, 2]. В настоящий момент для реализации экономного и эффективного потребления электроэнергии в области освещения весь мир стремится к занижению отношения 1 лк/$., в связи с этим, целью данной работы является определение возможности замены светильников ЖСП 64-400-001 на более экономичные светодиодные, при условии сохранения урожайности салата на базе тепличного хозяйства.

Методика проведения эксперимента и контрольно - измерительные приборы

Исследования возможности замены натриевых светильников ЖСП 64-400-001 на светодиодные, проводились на выделенном участке теплицы ЗАО «Овощевод» (Томская область, д. Кисловка).

В качестве светового прибора использовались серийно выпускаемые светодиодные светильники, изготовленные предприятием ООО «Технологии Сибири» по разработке Национального исследовательского Томского политехнического университета. На начальном этапе был произведен энергоаудит в области освещения на предоставленной площадке теплицы ЗАО «Овощевод».

Параметры	ЖСП 64-400-001	Светодиодный светильник
Напряжение питания, В	220	220
Степень защиты от воздействия окружающей среды	IP 23	IP 65
Полная мощность потребления светильника, ВА	600	76
Ток на лампе (при 220В), А	4,6	0,350
Время выхода на рабочий режим освещения, сек.	180	2
Вес, кг.	2,1	4,2
Количество светильников, шт.	5	10

Методика проведения исследований заключается в следующем:

- определение средней освещенности на уровне грунта от полупроводниковых светильников и светильников ЖСП 64-400-001;
- измерение спектрального состава светового потока полупроводниковых светильников и светильников ЖСП 64-400-001;
- измерение размера листа салата на контрольных кустах проводилась один раз в пять дней.

Результаты исследований

Спектры светового потока, падающего на поверхность листа при освещении светильниками ЖСП 64-400-001 и полупроводниковыми светильниками, изображены на рисунке 1 и 2, соответственно.

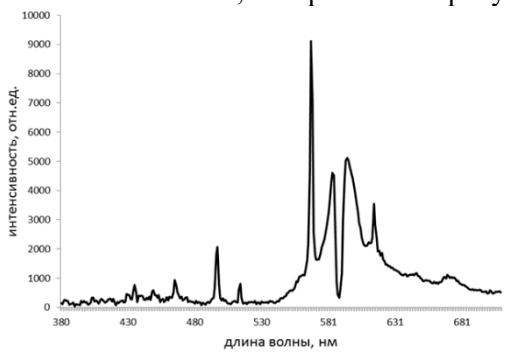


Рис.1 Спектр излучения светильника ЖСП 64-400-001

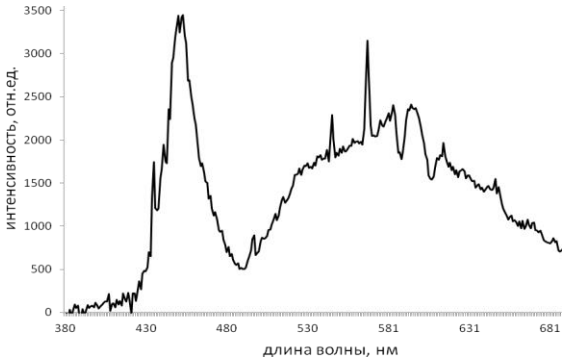


Рис.2 Спектр излучения светодиодных светильников

Средняя освещенность на участке с освещением светильниками ЖСП64-400-001 и полупроводниковыми светильниками составляет 6,1 клк и 6,9 клк соответственно.

Выводы

Средняя освещенность и равномерность освещения участка с полупроводниковыми светильниками выше, чем на участке со светильниками ЖСП 64-400-001 (800 клк). Урожайность салата на участке с освещением светодиодными светильниками такая же, как и на контрольном участке с освещением светильниками ЖСП 64-400-001. При этом экономия электрической энергии при освещении светодиодными светильниками в сравнении с ЖСП64-400-001 составляет 2,5-3 раза. Сравнение спектров светильников показывает преимущество светодиодного светильника за счет наличия в спектре светодиодов синей составляющей, что приближает излучение полупроводниковых светильников к естественному солнечному [3].

Список использованной литературы

1. С. Б. Туранов, И. Козырева, А. Н. Яковлев. Методы оценки качественных характеристик светодиодных световых приборов для растений // Полупроводниковая светотехника. - 2014. - Т. 6, № 32. - С. 56-57.
2. А. Н. Яковлев, С. Б. Туранов. Влияние спектрального состава светодиодного источника света на развитие тепличных образцов салата // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: материалы XII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках III Всероссийского светотехнического форума с международным участием. - Саранск: [б. и.], 2015. - С. 71-78.
3. Kilpatrick D. Light and lighting // Paperback. – 1984. – 144 p.

РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ КОМПОЗИТА С ЛЮМИНОФОРОМ ДЛЯ БЕЛЫХ СД

В.А. Ваганов, А.Т. Тулегенова
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.М. Лисицын
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: vav13@tpu.ru

Существует несколько способов получения светодиодов белого света, но в настоящее время самым эффективным и экономически выгодным является использование кристалла синего светодиода и нанесенного на него слоя желто-красного люминофора[1]. Такой метод позволяет создавать излучение в широком диапазоне цветов от «теплого» белого цвета лампы накаливания до «холодного» люминесцентного белого, в зависимости от задач применения. Очевидно, при увеличении пленки люминофора будет увеличиваться преобразование излучения синего чипа в желто-красное излучение люминесценции, и при достижении какой-то придельной толщины слоя, излучение светодиода бутит определятся только спектром люминофора[2]. Поэтому для контроля цветности излучения СД представляется важным решение проблемы определения оптимального количества люминофора в пленке композита. Отметим, что решение проблемы усложняется тем, что не может быть общих способов решения проблемы. Оптимальная толщина пленки к проектируемому СД должна выбираться для каждой комбинации чип-люминофор и требований к СД. В данной работе проведена методика расчета зависимости цветовых характеристик СД от толщины пленки композита на основе люминофора.

В основе методики лежит расчет координат цветностей на цветовой диаграмме МКО, для её построения используются координаты цветностей x, y и z – относительные цветовые координаты 1931 г.[3].

Итоговая цветность СД есть смесь излучения чипа и люминесценции люминофора, для спектров излучения СД характерно наличие двух полос излучения. Интенсивность полос напрямую влияет на цветность излучения и на световой поток СД.

Излучение чипа лежит в диапазоне от 407 нм до 512 нм, а полоса люминесценции данного люминофора регистрируется в области 485 - 760 нм. Световой поток итогового излучения СД рассчитывается как сумма излучений в области 400 - 760 нм и определяется по формуле 1.

$$\Phi = \int_{400}^{760} \varphi_{c\lambda} \cdot \nu_{\lambda} \cdot d\lambda = 683 \cdot \varphi_{cm} \int_{400}^{760} \varphi_{c}(\lambda) \cdot \nu(\lambda) \cdot d\lambda \quad (1)$$

Интенсивность полос напрямую зависит от толщены слоя люминофора и влияет на цветность излучения СД. Для учёта влияния толщины пленки на отношение итоговых излучений чипа и люминофора вводим величину S рассчитываемую по формуле 2.

$$S = \frac{\int_{500}^{760} \nu_{\lambda} \cdot \varphi_{\lambda ч} \cdot d\lambda}{\int_{400}^{500} \varphi_{\lambda л} \nu_{\lambda} d\lambda} = \frac{\int_{500}^{760} \nu(\lambda) \cdot \varphi_{ч}(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{400}^{500} \nu(\lambda) \varphi_{л}(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

где $\Phi_{\lambda ч}$ – световой поток чипа, $\Phi_{\lambda л}$ – световой поток люминесценции композита

С другой стороны, можно найти соотношение световых потоков излучения чипа и люминофора следующим образом. Соотношение световых потоков в области излучения люминофора (500- 760 нм) и чипа (500-760 нм) S рассчитывается по формуле 3.

$$S = \frac{\int_{500}^{760} \nu_{\lambda} \cdot k_{\lambda л} (\int_{400}^{500} (1 - \tau_{\lambda л}) \varphi_{ч\lambda} \cdot d\lambda) d\lambda}{\int_{400}^{500} \tau_{\lambda л} \varphi_{ч\lambda} \nu_{\lambda} d\lambda} \quad (3)$$

где $\varphi_{\lambda л} = k_{\lambda л} \int_{400}^{500} (1 - \tau_{\lambda л}) \varphi_{\lambda ч} \cdot d\lambda$ - спектральная плотность излучения люминофора,

$\tau_{\lambda л}$ - коэффициент ослабления излучения чипа люминофором при заданной длине волны,
$k_{\lambda л}$ - спектральный коэффициент преобразования излучения чипа в излучение люминофора при указанной длине волны.

Преобразуем формулы 2 и 3 и выразим коэффициент ослабления формулы 4-5:

$$\frac{\int_{500}^{760} \nu(\lambda)\cdot\varphi_c(\lambda)\cdot d\lambda}{\int_{400}^{500} \nu(\lambda)\varphi_c(\lambda)d\lambda} = \frac{(1-\tau_л)\int_{500}^{760} \nu(\lambda)\cdot\varphi_л(\lambda)d\lambda}{\tau_л \int_{400}^{500} \varphi_ч(\lambda)\nu(\lambda)d\lambda} \quad (4)$$

$$\tau_л = \frac{\int_{500}^{760} \nu(\lambda)\cdot\varphi_л(\lambda)d\lambda}{\int_{400}^{500} \varphi_ч(\lambda)\nu(\lambda)d\lambda} / \left(\frac{\int_{500}^{760} \nu(\lambda)\cdot\varphi_c(\lambda)\cdot d\lambda}{\int_{400}^{500} \nu(\lambda)\varphi_c(\lambda)d\lambda} + \frac{\int_{500}^{760} \nu(\lambda)\cdot\varphi_л(\lambda)d\lambda}{\int_{400}^{500} \varphi_ч(\lambda)\nu(\lambda)d\lambda}\right) \quad (5)$$

Зная коэффициент ослабления излучения чипа люминофором можно рассчитать приведённую толщину слоя люминофора по формуле $d_л = 1/\chi_л \ln(1/\tau_л)$ где $\chi_л$ показатель ослабления излучения чипа люминофором.

В качестве примера расчёта выбран композит и люминофор с известными спектрами изучения. Далее полоса излучения чипа была приравнена к единице, а полосу композита искусственно увеличивали и уменьшали с интервалом 20 %, для нахождения координат цветности, S, d, τ, см. таблицу 1. Полученные спектры излучения СД и цветовые координаты представлены на рис.1.

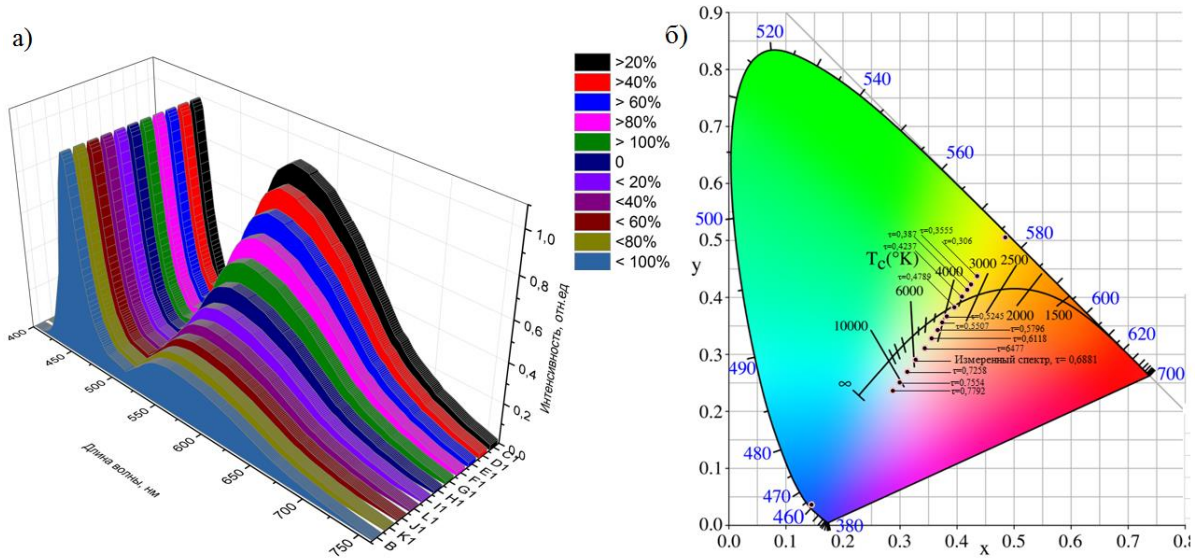


Рис.1. Расчетные спектры СД (а), и цветовые координаты на диаграмме МКО (б)

Таблица 1 - Расчетные значения координат цветности, S, d и τ

	Уменьшение полосы люминесценции на					Измерен-ный спектр	Увеличение полосы люминесценции на						
	100%	80%	60%	40%	20%		20%	40%	60%	80%	100%	120%	140%
x	0,27	0,279	0,288	0,3	0,313	0,328	0,343	0,356	0,366	0,375	0,382	0,389	0,395
y	0,212	0,223	0,236	0,251	0,269	0,290	0,311	0,329	0,343	0,356	0,366	0,375	0,383
z	0,519	0,499	0,476	0,449	0,418	0,382	0,345	0,316	0,291	0,27	0,251	0,236	0,221
S	0,944	1,044	1,17	1,33	1,551	1,853	2,227	2,591	2,948	3,287	3,663	3,985	4,435
τ	0,815	0,799	0,779	0,755	0,726	0,688	0,648	0,612	0,58	0,551	0,525	0,501	0,479

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуберт Ф. Светодиоды: пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – С. 496 .
2. Сощин Н.П., Гальчина Н.А., Коган Л.М. и др. Светодиоды "теплого" белого свечения на основе p-n-гетероструктур типа InGaN/AlGaN/GaN, покрытых люминофорами из иттрий-гадолиниевых гранатов // ФТП. – 2009. – Т. 43, вып. 5.– С.700–705.
3. Горбунова Е.В., Чертов А.Н. Учебное пособие «Типовые расчеты по колориметрии источников излучения». СПб: Университет ИТМО, 2014.– С 90.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ОДНООСНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА РАСПРЯМЛЕНИЕ НАНОЦЕПЕЙ В ПЛЕНОЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Н. А. Воронова[1], А. И. Купчишин[1,2], М. Н. Ниязов[1], А.Т. Тулегенова[1], В.М. Лисицын[1,3]
[1]Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Достык, 13,Алматы, Казахстан
[2]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан
[3]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: ankupchishin@mail.ru

Введение

Использование полимерных наноматериалов является важным в тех областях промышленности, где требуются высокие удельные значения механических и других характеристик материалов. Механические свойства материала определяются как структурой наночастиц, так и характером их взаимодействия [1].

Методика эксперимента

В качестве исследуемого материала были выбраны промышленные пленки полиэтилентерефталата толщиной 90 мкм и политетрафторэтилена толщиной 100 мкм. Длина испытываемого материала составляла 7 см, рабочая часть 5 см. Исследования зависимости деформации от одноосного напряжения проводились на модернизированной разрывной установке, на основе РУ-50 со скоростью движения траверсы 12 см/мин.

Облучение пленочных образцов велось на линейном ускорителе электронов ЭЛУ-6 с энергией 2 МэВ в воздушной среде. Доза облучения была равна 50 и 100 кГр для полиэтилентерефталата и 5, 10 кГр для фторопласта. Температура материала равнялась 23 ^{0}C, а относительная влажность – 55%. Температура материала при исследованиях составляла 23 ^{0}C.

Результаты и обсуждение

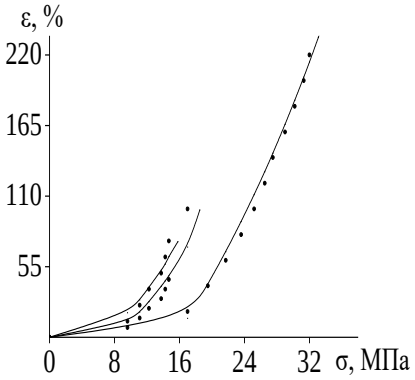
Были проведены экспериментальные исследования зависимости деформации от одноосного напряжения для полиэтилентерефталата и политетрафторэтилена. На рисунке 1 показана зависимость ε от σ как для необлученного (кривая 1), так и для облученного (кривая 2) дозой 5 кГр, 10 кГр (кривая 3) фторопласта. Из рисунка следует, что с ростом напряжения деформация сначала медленно увеличивается до $\sigma \sim 18$ МПа, а затем резко растет по экспоненциальному закону [2]. После облучения дозами 5 и 10кГр, образцы материала теряют пластичность и начинают рваться при меньшей деформации, чем до облучения. При этом наблюдается существенное уменьшение относительного удлинения по сравнению с необлученным материалом при этом прочность не потерпевает значительных изменений.

Ранее в работе [2] нами было показано, что представление результатов по механическим свойствам в виде зависимости напряжения от деформации является некорректным и фактически не имеет физического смысла, поскольку σ является аргументом, а ε – функцией. Необходимо рассматривать зависимость ε от σ, которая для наших материалов при $\sigma > \sigma_1$ хорошо описывается экспоненциальной моделью.

На рисунке 2 показана зависимость деформации от одноосного напряжения для необлученного и облученного полиэтилентерефталата. После облучения дозами 50 и 100 кГр, пластичность материала практически не меняется, и образцы начинают рваться при большем напряжении, чем до облучения. При этом наблюдается увеличение предела прочности по сравнению с необлученным материалом. В интервале напряжений 13 – 16 МПа электронное облучение приводит к существенному уменьшению деформации (до 80 %). Как следует из рисунка 2, экспериментальные кривые удовлетворительно описываются в рамках линейной модели [2]. При этом, в интервале значений σ = 0 – 13 МПа экспериментальные данные для необлученного и облученных образцов (кривая 1) совпадают.

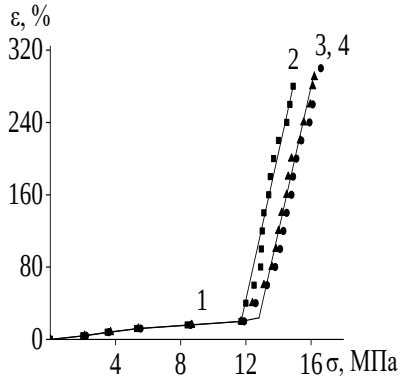
Уменьшение прочности вещества и увеличение относительного удлинения говорит о существенном влиянии радиационных дефектов на структуру и механические свойства лавсана и фторопласта. Относительное удлинение у обоих материалов падает после облучения в несколько раз.

У фторопласта прочность уменьшается значительней, в отличие от полиэтилентерефталата. Распрямление цепей ярко выражено у лавсанового полимера. Сравнивая свойства фторопласта с лавсаном, можно сказать, что фторопласт является значительно чувствительней к облучению, чем лавсан. Полученные кривые зависимости ε от σ как для необлученного, так и для облученного материала удовлетворительно описываются в рамках экспоненциальной и линейной моделей.



1 – необлученный образец, 2 – 5; 3 – 10 кГр (точки) сплошные линии – расчет по формуле (1)

Рис. 1. Зависимость деформации от напряжения для необлученного и облученного политетрафторэтилена



■ – необлученный образец; ● – 50; ▲ – 100 кГр, – эксперимент; сплошные линии – расчет

Рис. 2. Зависимость деформации от механического напряжения для необлученного и облученного полиэтилентерефталат

Уменьшение прочности вещества и увеличение относительного удлинения говорит о существенном влиянии радиационных дефектов на структуру и механические свойства лавсана и фторопласта. Относительное удлинение у обоих материалов падает после облучения в несколько раз. У фторопласта прочность уменьшается значительней, в отличие от полиэтилентерефталата. Распрямление цепей ярко выражено у лавсанового полимера. Сравнивая свойства фторопласта с лавсаном, можно сказать, что фторопласт является значительно чувствительней к облучению, чем лавсан. Полученные кривые зависимости ε от σ как для необлученного, так и для облученного материала удовлетворительно описываются в рамках экспоненциальной и линейной моделей.

Заключение

Проведены комплексные исследования по воздействию одноосного напряжения и электронного облучения на распрямление наноцепей пленочных полимерных материалов (фторопласта и лавсана). На кривых зависимости деформации (ε) от одноосного напряжения (σ) обнаружены существенные изменения поведения материала после облучения, в том числе и распрямление цепей. Увеличение одноосного напряжения как для фторопласта, так и для лавсана ведет к возрастанию деформации. Причем в политетрафторэтилене во всем интервале напряжений (0 – 32 МПа) идет монотонный рост деформации. В полиэтилентерефталате в интервале 0 – 13 МПа происходит медленный рост деформации, что связано с распрямлением наноцепей, а при σ > 13 МПа деформация резко возрастает.

Литература

1. Тютнев А. П., Саенко В. С., Пожидаев Е. Д., Костюков Н. С. Диэлектрики и радиация: Кн. 5: Диэлектрические свойства полимеров в полях ионизирующих излучений. – Наука, 2005. – 453с.
2. Kupchishin A. I., Taipova B. G., Kupchishin A. A., Voronova N. A., Kirdyashkin V. I., Fursa T.V. Catastrophic models of materials destruction// IOP Conf. Series: Material Science and Engineering. 110. 012037. – 2016. – P. 1 – 5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОКЛАСТЕРОВ И ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДА

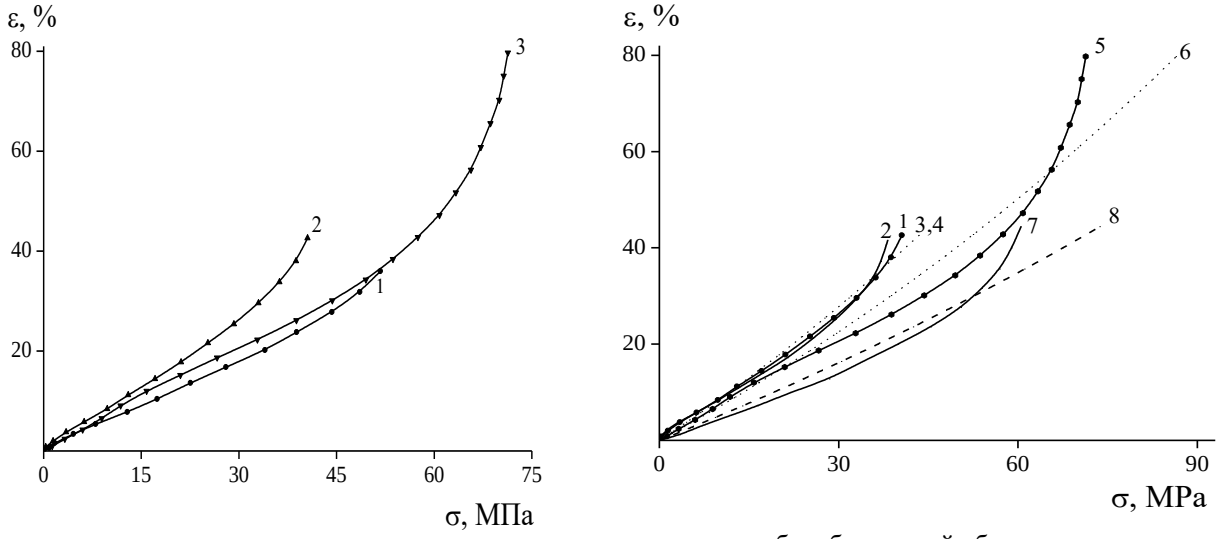
Н.А. Воронова[1], А.И. Купчишин[1,2], Б.Г. Таипова[1], А.Т. Тулегенова[1],
В.И. Кирдяшкин[1], Л.М. Беркин[1]
[1] Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан
[2] Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
E-mail: ankupchishin@mail.ru

Изучение поведения композитных материалов в экстремальных условиях при воздействии ионизирующего излучения, температурных полей, механических нагрузок и других внешних воздействий является актуальной задачей, которая создает основы для разработки новых радиационных технологий [1]. Перспективными методами модификации материалов являются введение нанонаполнителей и воздействие ионизирующего излучения, что приводит к улучшенным эксплуатационным свойствам материала [2].

Методика эксперимента. Методом механического смешения нами были получены композиты на основе лаков полиимида (ПИ) и полиэтилентерефталата (ПЭТФ), полиимида и монтмориллонита (ММ). Для композита с ПЭТФ наполнителем концентрации составили 0,5; 2 и 5 мас. %, для ММ – 0,25; 0,5 и 1 мас. %. Образцы представляли собой полоски шириной 5 мм, рабочей длиной 50 мм и толщиной 40 – 85 мкм. Максимальные разрывные напряжения композитов были определены предварительно. Облучение производилось на воздухе на ускорителе электронов типа ЭЛУ-6 при 20 ºС с энергией 4 МэВ, плотностью тока 0,5 мкА/с. Одноосное растяжение исследуемых образцов производилось на компьютеризированной разрывной машине типа РМУ-0,05-1 со скоростью раздвижения зажимов 36,09 ± 0,05 мм/мин. при постоянной нагрузке и температуре 20 ± 2 °С, относительной влажности воздуха (45 ± 5) %, перемещении захвата 0,1 мм.

Результаты и их обсуждение. На рисунке 1а представлены зависимости относительного удлинения от напряжения для композитов на основе полиимида. Видно, что введение 0,5 мас. % ПЭТФ приводит к увеличению пластичности в 2 раза и прочности на 38 %, тогда как введение ММ увеличивает относительное удлинение на 18 % и уменьшает прочность на 22 %. Как показывают эксперименты, рост концентрации лавсана до 5 масс. % в ПИ приводит к росту относительного удлинения в 6 раз, а разрывного напряжения – в 1,5 раза по сравнению с исходным полиимидом. Улучшение механических свойств композитных материалов с наполнителем из ПЭТФ связано с тем, что при перемешивании лаков полиимида с полиэтилентерефталатом наполнитель заполняет поры в матрице, и тем самым фиксирует макромолекулы лавсана и полиимида (размерами в несколько нм), т.е. происходит структурирование цепей полиимида пластичным каркасом полиэтилентерефталата.

На рисунке 1б представлен сравнительный анализ зависимостей ε от σ для композитов с лавсаном и монтмориллонитом. Для описания физико-механических свойств ранее нами предложены модели катастрофического разрушения материала [2]. Сравнение кривых рисунка 1б показывает, что экспериментальные зависимости ε от σ для необлученных и облученных композитных материалов для разных концентраций второго компонента, неплохо описываются экспоненциальной моделью. Электронное облучение композиции с 5 масс. % ПЭТФ приводит к росту пластичности в 3,8 раза и увеличению прочности на 36 %. Воздействие электронного облучения ведет к преобладанию процессов сшивания, приводящего к структурированию наноцепей полиимида с нанокаркасом полиэтилентерефталата. Это улучшает механические свойства композитного материала. У композитных материалов с ММ-наполнителем характерно незначительное повышение прочности с ростом концентрации (*C*) до 0,2 мас. %. Дальнейшее увеличение *C* приводит к падению σ на 30 % по сравнению с полиимидом. В то же время введение в полиимид ММ-наполнителя до 0,25 мас. % ведет к резкому росту пластичности (в 2 раза), а последующее увеличение концентрации наполнителя до 1 мас. % увеличивает его пластичность на 18 % по сравнению с чистым полиимидом.



а – необлученный образец
1 – полиимид; 2 – ПИ+0,5 мас.% ММ;
3 – ПИ+0,5 мас.% ПЭТФ

б – облученный образец
1, 5 – ПИ+0,5 мас.% ММ и ПИ+0,5 мас.% ПЭТФ;
2, 7 – облученный (250кГр) ПИ+ММ и ПИ+ПЭТФ;
3, 6 – расчет для необлученных композитов ПИ+ММ и ПИ+ПЭТФ; 4, 8 – расчет для облученных композитов ПИ+ММ и ПИ+ПЭТФ соответственно

Рис.1. Зависимость относительного удлинения от нагрузки для композита на основе полиимида

Установлено, что композитному материалу ПИ+ММ как для необлученного, так и электронно-облученного материала дозой 250 кГр, свойственно резкое возрастание пластичности и прочности при концентрации 0,25 мас. % наполнителя. Электронное облучение вызывает резкое возрастание пластичности: в 2 раза по сравнению с облученным чистым полиимидом, а по сравнению с необлученным чистым полиимидом это возрастание составляет ~ 18 %. Это связано с содержанием межслоевой воды в наполнителе и технологией приготовления КМ (перемешивание компонентов при 170 °С). Такая операция способствует выделению радикала -НОН- из наполнителя в матрицу и ведет к процессу сшивания радикала с макромолекулами полиимида. Наполнитель с концентрацией ~ 0,25 мас.% в этом случае выделяет малое количество радикала, которое успевает полностью прореагировать с макромолекулами полиимида, вызывая их сшивку. Уменьшение прочности материала связано с гидролитической деструкцией материала.

Заключение. Электронное облучение композиции с 5 масс. % ПЭТФ приводит к росту пластичности в 3,8 раза и увеличению прочности на 36 %, что связано с преобладанием процессов сшивания цепей полиимида с макромолекулами лавсана, а композита с ММ-наполнителем – к возрастанию пластичности, что связано с содержанием межслоевой воды в наполнителе и выделению радикала -НОН- из наполнителя в матрицу, что ведет к процессу сшивания радикала с макромолекулами полиимида и затем к гидролитической деструкции материала. Предложены различные модели при одноосном нагружении материалов. Наилучшее согласие с экспериментом дает экспоненциальная модель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Под ред. Вильдемана В.Э. Экспериментальные исследования свойств материалов при сложных термомеханических воздействиях. – М.: Физматлит, 2012. – 203 с.
2. Kupchishin A.I., Taipova B.G., Kupchishin A.A., Voronova N.A., Kirdyashkin V.I., Fursa T.V. Catastrophic models of materials destruction// IOP Conf. Series: Material Science and Engineering. 110. 012037. – 2016. – P. 1 – 5.

КИНЕТИКА НАКОПЛЕНИЯ ЦЕНТРОВ ОКРАСКИ В КРИСТАЛЛАХ LIF С ОКСИДАМИ МЕТАЛЛОВ

Гуанхуэй Гэ, П.В. Петикарь
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.И. Корепанов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: korepanov@tpu.ru

Сцинтилляторы на основе фторида лития в процессе эксплуатации достаточно сильно деградируют. Основная причина – накопление центров окраски. В [1] нами показано, что на эффективность накопления элементарных дефектов (*F*-, *H*-, V_k-центры) при низких температурах очень сильное влияние оказывают примеси активатора. В настоящей работе мы представляем результаты исследования эффективности накопления центров окраски в кристаллах LiF-WO_3 в широком температурном диапазоне 20….300 К.

Облучение образцов производилось в вакуумной камере электронными импульсами со средней энергией 250 КэВ, длительностью 10 нс и плотностью энергии за импульс около 0,4 Дж/см^2. Измерение спектров поглощения производилось волоконно-оптическим спектрометром AvaSpec 3648-USB2. В качестве источника зондирующего излучения использовалась импульсная ксеноновая лампа Avalight-XE. Низкие температуры получали с помощью микрокриогенной системы МСМР-150Н-5/20. Спектры поглощения фиксировались в течении 30 секунд после окончания электронного импульса.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

1. При температурах ниже 120 К в спектрах поглощения кристаллов, облученных максимальной дозой 75x10 ^{3} Гр, присутствуют полосы поглощения собственных дефектов решетки кристалла LiF: *F*-, *H*-, V_k -центры, нейтральные и заряженные F_2-центры, нейтральные и заряженные F_3-центры. При облучении при всех температурах наводится также полоса в области 290 нм, которая, по-видимому, связана с примесями. Спектры поглощения приведены на рис 1 для температуры 60 К.

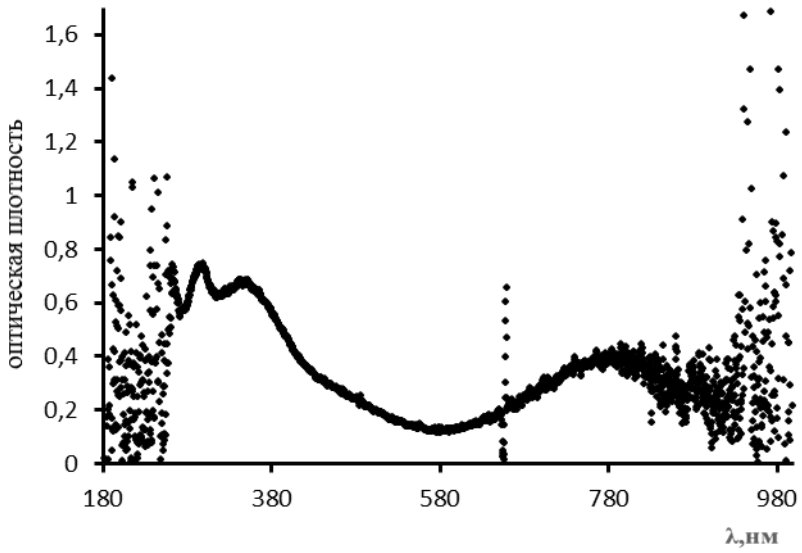


Рис.1. Спектры поглощения LiF-WO_3 при 60 К после облучения дозой 75x10 ^{3} Гр

2. При температурах выше 120 К отсутствуют V_k –центры, так как они не стабильны в этом диапазоне температур. Отметим, что величина оптической плотности в области поглощения V_k – центрами сильно зависит от времени измерения после окончания импульса радиации и растет с повышением температуры. Исследования показывают, что при измерениях в течении 30 с величина накопленных к этому V_k –центры постоянна в диапазоне 20…100 К.

3. Нами подробно изучены кинетики накопления центров окраски. Накопление *F*-, V_k -, F_2-центров описывается суммой быстрой и медленной составляющих. Пример кинетики накопления и результатов ее разложения для V_k –центр при 60 К показан на рис. 2. Медленные компоненты накопления полностью соответствуют кинетикам накопления центров окраски в неактивированных кристаллах фторида лития. Быстрые составляющие кинетик накопления для всех типов центров окраски имею вид кривых с насыщением. Диапазон доз облучения, в котором происходит насыщение одинаков для всех типов центров окраски. Ясно, что быстрые компоненты обусловлены присутствием примесей.

4. Температурные зависимости эффективности накопления быстрого и медленного компонентов отличаются. Однако для обоих компонентов накопление при изодозном облучении начинает уменьшаться при температурах выше 250 К. Эффективность накопления на быстрой стадии одинакова как при низких (60 К), так и высоких (250 К) температурах и минимальна при 150 К. температурная зависимость эффективности накопления на медленной стадии подобна таковой для неактивированного кристалла.



Рис 2. Кинетики накопления и разделения на 350нм при 60К

При выращивании сцинтилляционных кристаллов фторида лития примеси Ti, W и других металлов создают комплексы, содержащие оксиды металлов и другие дефекты, компенсирующие избыточный заряд. Такие комплексы могут быть эффективными ловушками различных типов электронных и ионных возбуждений, создаваемых при электронной бомбардировке кристаллов. Это, безусловно, оказывает влияние на процессы преобразования дорадиационной дефектности и накопления центров окраски, что приводит к изменению сцинтилляционных свойства кристаллов. Представленные результаты свидетельствуют о том, что в кристаллах LiF-WO_3 присутствуют как электронные, так и ионные ловушки. Их влияние сказывается в появлении быстрой составляющей кинетики накопления центров окраски.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. И. Корепанов, П. В. Петикарь Накопление центров окраски в кристаллах LiF, LiF-TiO2, LiF-WO3 при низких температурах // Известия вузов. Физика : научный журнал. — 2015. — Т. 58, № 6-2. — [С. 147-151].

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КИСЛОРОДНЫХ ЦЕНТРОВ В КРИСТАЛЛАХ LiF

Гуанхуэй Гэ, П.В. Петикарь, А.А. Липовка
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.И. Корепанов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: korepanov@tpu.ru

Сцинтилляторы на основе фторида лития с примесями металлов используются для регистрации различных частиц, в том числе слабовзаимодействующих с веществом. Однако до настоящего времени не выяснена окончательно ни структура центров свечения, ни механизмы их возбуждения. В работах [1..3] нами представлены результаты исследования параметров и характеристик импульсной активаторной катодолюминесценции кристаллов LiF-WO_3, LiF-TiO_2, LiF-Fe_2O_3. В настоящей работе мы описываем исследования фотостимулированной люминесценции кристаллов фторида лития с широким набором кислородосодержащих примесей: LiF-WO_3, LiF-TiO_2, LiF-Fe_2O_3, LiF-Li_2O, LiF-OH в спектральном диапазоне 6,5 – 4,4 эВ при температурах 20 – 300 К. Отметим, что кристаллы с примесями W и Ti обладают сильным поглощением в области спектра < 290 нм.

Фотолюминесценции кристаллов при 300 К

Показано, что спектр люминесценции кислородного центра в кристалле LiF:Li_2O состоит из двух полос с полуширинами 0,5 эВ и максимумами полос при 3.1 эВ и 2,64 эВ. Максимум спектра возбуждения люминесценции соответствует полосе поглощения (O_2^- - V_a) – центра.

В кристаллах LiF:OH в области длин волн 200 – 300 нм возбуждается люминесценция только кислородных центров. Эти центры, по-видимому, создаются при выращивании кристаллов. Фотолюминесценции, вызванной примесью, в этом диапазоне энергий возбуждающего излучения не обнаружено.

В кристаллах LiF:Fe_2O_3, также, как и в кристаллах LiF:Li_2O, LiF:OH, в области длин волн 200 – 300 нм возбуждается преимущественно люминесценция кислородных центров (O_2^--Va). Слабое активаторное свечение обусловлено полосой с максимумом при энергии 3,37 эВ и полушириной около 0,5 эВ.

Спектры люминесценции кристаллов LiF:WO_3, измеренные в диапазоне длин волн 350-800 нм существенно отличаются от спектров люминесценции кристаллов LiF:Li_2O, LiF:OH, LiF:Fe_2O_3. Спектр может быть представлен суммой двух полос с максимумами при 2,9 эВ и 2,6 эВ и полуширинами около 0,5 эВ. Таким образом, в спектре излучения кристалла LiF:WO_3 обнаружены две полосы люминесценции, которые, очевидно, связанны с примесью активатора (W). Возможно люминесценция (O_2^--V_a)-центра мала, в сравнении с примесной, из-за высокой концентрации последней. Спектр возбуждения люминесценции LiF:WO_3 также сильно отличаются от спектров возбуждения кристаллов LiF:Li_2O и может быть разложен на 2 компонента: кислородный ((O_2^- - V_a) – центр) и примесный кислородный.

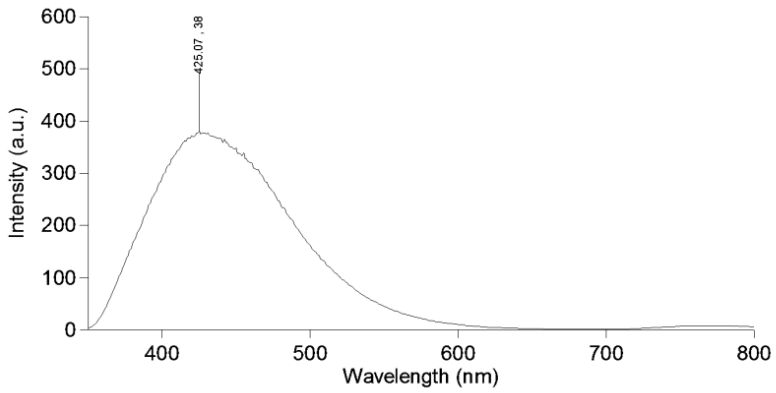


Рис. 1. Спектр люминесценция кристалла LiF:WO3 (возбуждение при E = 4,96 эВ)

Люминесценция кристаллов LiF-TiO_2 также содержит примесные полосы люминесценции. Из анализа полученных данных можно сделать вывод о том, что в образце присутствуют, как минимум,

три полосы излучения. Одна из полос соответствует полосе люминесценции (O_2^--V_a)-центра, две другие с максимумами в области 2, 05 и 2,5 эВ имеют примесное происхождение. Характер влияния примеси титана на спектры люминесценции и спектры возбуждения люминесценции такой же, как в кристаллах с примесями вольфрама. Отличия в конкретных параметрах спектров или соотношениях интенсивностей полос излучения и возбуждения.

Особенности люминесценции кристаллов при 20 К

Нами подробно изучены кристаллы LiF: TiO_2 и LiF:Li_2O. Спектры люминесценции кристаллов LiF:Li_2O обусловлены свечением кислородных центров (O_2^- - V_a). Особенность состоит в том, что люминесценция кислородных центров возбуждается не только в области 6,2–5,0 эВ, но и в других диапазонах длин волн. Дополнительные максимумы в спектре возбуждения наблюдаются при 4,6 эВ и 4,0 эВ.

Спектры фотолюминесценции кристаллов LiF:TiO_2 при 20 К подобны спектрам, измеренным при 300 К. Особенность состоит в том, что также как и в кристалле LiF:Li_2O, люминесценция эффективно возбуждается не только в области поглощения кислородных центров и примеси титана, но и при длинах волн, обнаруженных при низких температурах в кристалле LiF:Li_2O (4,6 эВ и 4,0 эВ).

Изучены температурные зависимости параметров полос активаторного свечения в кристаллах LiF: TiO_2 и LiF:WO_3. Полуширина полос практически не изменяется в диапазоне 20 – 300 К, а интенсивность уменьшается при повышении температуры от 20 К. Видно два характерных участка нарушения плавного хода кривой изменения интенсивности (50 К и 250 К). Максимум излучения слабо зависит от температуры.

Выращивание кристаллов с поливалентными примесями сопровождается вхождением в них различных компенсирующих примесей и дефектов. По этой причине центр свечения представляет собой комплекс из ряда примесей и дефектов структуры кристалла. Предполагается, что в сцинтилляторах типа LiF-W, LiF-Ti излучательными центрами являются оксианионные комплексы WO_3, TiO_2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Korepanov V.I., Petikar P.V., Kamrikova A.A... Pulsed cathodoluminescence of LiF-Fe_2O_3 crystals // Journal of Physics: Conference Series. – 2014. 552 012038
2. Korepanov V.I., Petikar P.V., Ge Guanghui. Luminescence of LiF Crystals Doped with Metal Oxide Impurities // Key Engineering Materials, – 2016. – 685. – С. 623– 626
3. V.I. Korepanov, P.V. Petikar, Ge Guanghui, Yanyi Li. Pulsed Cathodoluminescence of LiF Crystals Doped with W and Ti // Key Engineering Materials. – 2016. – 712.– С. 372– 375

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И ПРОЦЕССОВ НАГРЕВА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ЛЮМИНОФОРОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМОИТТРИЕВОГО ГРАНАТА

В.Д. Демчук, С.А. Степанов
Научный руководитель: к.ф. – м.н. Д.Т. Валиев
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: vdd4@tpu.ru

Промышленные белые светодиоды (СИД) создаются на основе полупроводникового светодиода синего или УФ света, излучение которого частично или полностью поглощается преобразователем длины волны – люминофором. В качестве таких люминофоров широко используют порошки на основе алюмоиттриевого граната допированного ионами церия (АИГ:Ce^{3+}) [1]. Повышение температуры в процессе эксплуатации светодиодов, приводит к изменению интенсивности люминесценции люминофора и смещению положения максимума спектра люминесценции. Высокая температура люминофора может быть причиной безызлучательных переходов и снижения квантового выхода люминесценции и светового потока СИД. Одной из причин снижения светового потока светодиодов белого света является деградация люминофора под воздействием температуры. Деградация люминофора в светодиоде в основном происходит из-за высокой температуры (55°C и выше). Исследования показали, что повышения тепловой устойчивости люминофоров в полупроводниковых источниках света позволит значительно улучшить их эксплуатационные характеристики, цветопередачу и снизить скорость деградации световых характеристик [2].

Целью работы является установление закономерностей по влиянию активатора на спектральные характеристики и процессов нагрева на фотолюминесцентные свойства люминофоров на основе алюмоиттриевого граната. В работе была исследована группа люминофоров на основе АИГ с переменной концентрацией ионов активатора Ce^{3+} (от 0,02 до 0,1 вес%, с шагом 0,02.) Данные образцы были получены методом твердофазного синтеза в Чунцинском университете науки и искусств (г. Чунцин, Китай).

На рисунке 1(а) приведены интегральные спектры в абсолютных энергетических величинах потоков излучения возбуждающего светодиода (λ_{max} = 447 нм, световой поток 16730 мкВт/см^2) и излучения люминофора с целью определения эффективности люминофора. Измерение осуществлялось с использованием интегрирующей сферы и калибрированного спектрометра AvaSpec.

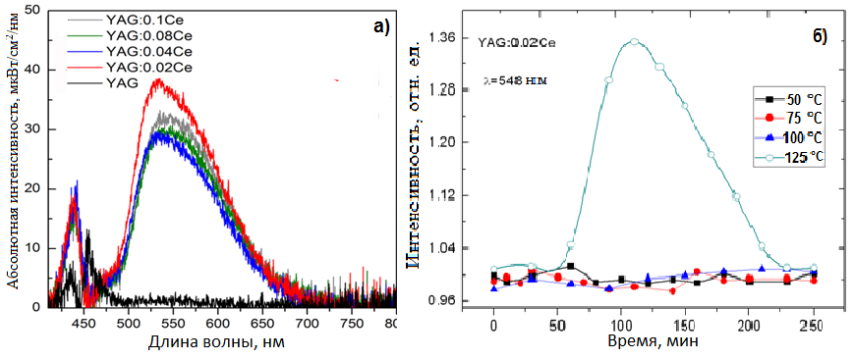


Рис. 1. а) Спектры фотолюминесценции образцов $Y_3Al_5O_{12}$:XCe (X вес. %), где X = 0; 0,02; 0,04; 0,08; 0,1; б) Зависимость интенсивности люминесценции от времени отжига образца YAG:0,02Ce в максимуме полосы люминесценции 548 нм

Измерения проводились при комнатной температуре. Интегральная спектральная эффективность излучения образцов оценивалась как отношение потоков светодиода к потоку, поглощенному люминофором. Из полученных результатов видно, что наибольшее значение интенсивности люминесценции имеет люминофор с содержанием церия 0,02 вес%. У люминофора содержащих концентрацию ионов церия в пределах от 0,04 до 0,1 значение интегральной энергетической эффективности излучения меняется не существенно.

Зависимости значения интенсивности в максимуме полосы люминесценции (548 нм), от времени отжига при разных значениях температуры приведены на рисунке 1(б). Эксперименты по влиянию температуры проводились следующим образом: образец порошка размещали между двумя кварцевыми стеклами и отпаивался алюминиевой фольгой. Далее образец помещался в цилиндрическую печь (температура до 1200 ˚С, 5кВт) со сквозным отверстием диаметром 2 см. Излучения чипа светодиода с помощью фокусирующей линзы собиралось на образец. Люминесцентный поток от образца с помощью оптической системы фокусировался на волокно автоматизированного спектрометра Avantes 3648. В процессе отжига (диапазон времени 0 - 250 мин, диапазон температур 325 - 400 K с шагом 25 K) регистрировался спектр люминесценции каждые 10 секунд. Как видно из результатов, выраженных изменений интенсивности люминесценции не проявляется. Однако при повышении температуры 125˚С начиная с 50 мин отжига, наблюдается резкий рост интенсивности люминесценции, примерно на 30% достигая максимального значения к 120 мин отжига, далее наблюдается плавный спад до исходного значения интенсивности. Причины роста и спада интенсивности, могут быть обусловлены как по - отдельности так и в совокупности двумя процессами:

1) Синтезированные люминофоры обладают исходной неоднородностью химического состава отдельных микрокристаллов. В процессе отжига происходит перераспределение ионов церия – повышение однородности сенсибилизирующей примеси (ионов церия) по образцу, что приводит к увеличению концентрации центров свечения в микрокристаллах. Наблюдаемый дальнейший спад люминесценции можно связать с деградацией микрокристаллов люминофора из-за разрушения созданных центров свечения до исходного уровня, вследствие выхода ионов церия на поверхность микрокристалла.

2) Процессом изменения расположения или геометрии частиц люминофора: как люминесцирующих (100-150 мкм), так и более мелких (1-2 мкм) слабо люминесцирующих микрокристаллов.

В работе были проведены исследования неорганических люминофоров на основе АИГ активированного ионами церия (Ce^{3+}), полученных твердофазным методом синтеза. Выявлено, что повышение концентрации ионов - активаторов с 0,02 до 0,1 вес% не приводит к росту интенсивности люминесценции. Оптимальной концентрацией является люминофор с содержанием церия 0,02 вес%. Были оценены фотолюминесцентные свойства при температурном воздействии. Экспериментально показано, что при относительно не высокой температуре отжига 125˚С, которая казалась бы никак не должна влиять на процессы, проявляется эффект роста интенсивности люминесценции. Причиной такого роста, по всей видимости, может быть обусловлено завершением синтеза люминофора, процессами увеличения концентрации центров свечения или расположением геометрии микрокристаллов, за счет которых происходит перераспределение энергии и, следовательно, рост интенсивности люминесценции.

Такой пост нагрев при относительно не высоких температурах (125˚С) на порядок меньшими, по сравнению с теми, что приводятся в литературе, может быть использован в качестве завершающего этапа синтеза люминофора, при котором наблюдается рост интенсивности свечения люминесценции, что в итоге может быть существенно выгодно, при использовании люминофоров в составе белых светодиодов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dipti Chitnis, N. Thejokalyani, H.C. Swart, S.J.Dhoble Escalating opportunities in the field of lighting // Renewable and Sustainable Energy Reviews.– 2016.– 64.– P.727–748.
2. T. Han, S. Cao, D. Zhu, C. Zhao, M. Ma, M. Tu, J. Zhang Effects of annealing temperature on YAG:Ce synthesized by spray-drying method // Optik. – 2013. – 124. – P.3539-3541
3. J. Meyer, F. Tappe Photoluminescent materials for solid-state lighting: state of the art and future challenges // Adv. Opt. Mater. – 2015. – 3(4). – P. 424-430.
4. S. Zhang, W. Zhuang, T. He, Y. Liu, R. Liu, W. Gao, Y. Hu, et al Study on co-precipitation synthesized $Y_3Al_5O_{12}$:Ce yellow phosphor for white LED // J. of Rare Earths. – 210. – 28. – P. 713- 716.
5. Xia Z. and Meijerin A., Ce^{3+}-Doped garnet phosphors: composition modification, luminescence properties and application // The Royal Society of Chemistry. –2017. – 46. – P.275-299

НИЗКОПОРОГОВЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ПРОБОЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ МИШЕНЕЙ

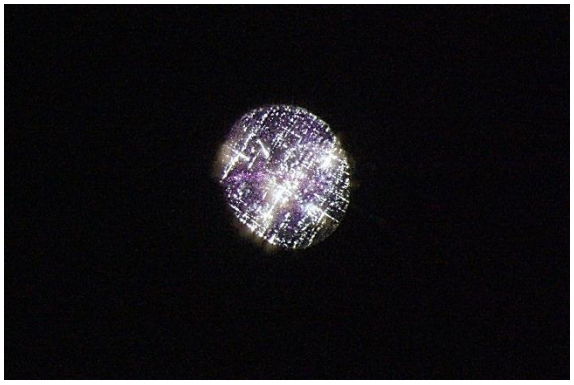
К.А. Денисенко
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.И. Олешко
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: kad8@tpu.ru

Воздействие интенсивного лазерного излучения на газовые и конденсированные среды может сопровождаться оптическим пробоем и разрушением твердотельных мишеней. Исследования оптического пробоя вещества ведутся практически с момента создания мощных твердотельных лазеров.

В процессе этих исследований было обнаружено интересное пороговое явление – возникновение вблизи поверхности твердого тела плазмы. Такую плазму называют приповерхностной лазерной плазмой (ПЛП). Было установлено, что интенсивность лазерного излучения, необходимое для образования ПЛП составляет q ~10^7 Вт/см^2, что на два-три порядка меньше порога оптического пробоя в воздухе в условиях отсутствия твердого тела. Исследование механизмов и выяснение причин низкопорогового оптического пробоя[1] (НОП) является актуальной задачей.



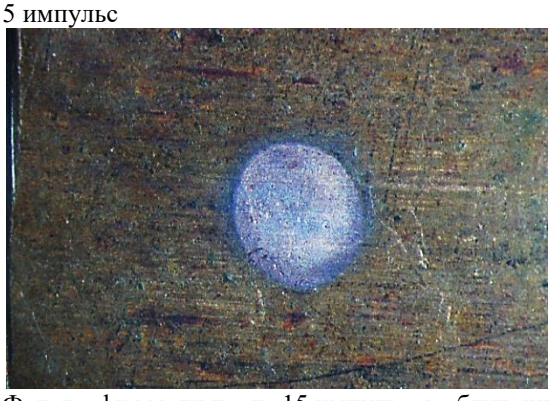
1 импульс



5 импульс



15 импульс



Фотография меди после 15 импульсов облучения

Рис.1 Фотографии свечения ПЛП при возбуждении не полированной меди (образец №1) в серии последовательных импульсов возбуждения. H = 1, 3 Дж/см^2

Данная работа посвящена изучению закономерностей образования приповерхностной лазерной плазмы (ПЛП), образующейся при возбуждении металлических мишеней первой гармоникой неодимового лазера (λ = 1,06 мкм). В качестве исследуемых материалов использовались образцы из меди и титана. Образцы представляли собой пластинки, толщиной от 1 до 4 мм. Одна из сторон пластин подвергалась полировке с помощью абразива. Другая сторона пластин - формировалась обработкой на токарном станке. Образцы из меди не обрабатывались и были покрыты окислами

меди. В качестве источника возбуждения использовался YAG:Nd3+-лазер LQ929 (SOLAR Laser Systems, г. Минск), работающий в режиме модуляции добротности (1,06 мкм, 16 нс). Плотность энергии измерялась колориметром ИКТ-1Н. Средняя плотность энергии в пятне облучения изменялась от 0,5 до 5 Дж/см2.

Установлено, что возбуждение металлических мишеней лазерным пучком с плотностью потока мощности выше пороговой (H > 106 Вт/см2) сопровождается образованием поверхностной лазерной плазмы (ПЛП), оптические характеристики которой (порог формирования, интенсивность, пространственное распределение, спектральный состав и кинетика свечения), определяются параметрами ЛИ (лазерного излучения), типом возбуждаемой мишени и присутствием на ее поверхности поглощающих неоднородностей (ПН), в качестве которых могут выступать физические и химические дефекты – трещины, шероховатости, дислокации, примеси и окисный слой на поверхности не обработанных металлов.

Фотографии свечения ПЛП, образующейся вблизи облучаемой поверхности не полированной медной пластины, приведены на рис. 1.Анализ фотографий и осциллограмм свечения ПЛП не полированной медной мишени в серии последовательных импульсов возбуждения (при различных H) позволяет сделать следующие выводы. Установлено, что оптические характеристики ПЛП при низких и высоких плотностях энергии ЛИ сильно различаются. При $H < 1,5$ Дж/см^2 характеристики ПЛП определяются поглощающими неоднородностями (ПН), расположенными в тонком «дефектном» поверхностном слое облучаемой мишени. Многоимпульсное возбуждение одной и той же зоны мишени приводит к полному «отжигу» дефектов. Роль поглощающих неоднородностей выполняют как химические, так и физические дефекты. Интенсивность свечения ПЛП в серии последовательных импульсов снижается на один порядок.

Наиболее интересным является вопрос о влиянии «дефектного» слоя на характеристики ПЛП. В связи с этим нами исследованы пространственные и амплитудные характеристики свечения ПЛП при низких плотностях энергии ЛИ ($0,3 < H < 1,5$ Дж/см^2). При указанных выше H эрозия основной матрицы (меди) не происходит, а испаряется только «дефектный» слой, находящийся на поверхности облучаемой медной пластины.

Результаты данной работы подтверждают наличие ПН на поверхности образца и их «отжиг» в серии последовательных импульсов. Полученные результаты исследования могут быть использованы для решения ряда прикладных проблем – диагностики оптических материалов, используемых в мощных лазерных системах, для развития методов лазерной искровой спектроскопии и при разработке лазерных технологий.

Список использованных источников:

1. Воробьев В. С. Плазма, возникающая при взаимодействии лазерного излучения с твердыми мишенями // Успехи физических наук. – 1993. – Т. 163. – № 12. – С. 51–83.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ КЕРАМИК, НА ОСНОВЕ АЛЮМОМАГНИЕВОЙ ШПИНЕЛИ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Р.Г. Калинин, С.А. Степанов
Научный руководитель: к. ф.-м. н. Д.Т. Валиев
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: kalininrostislav@gmail.com

Для развития элементной базы фотоники требуется разработка оптических материалов нового поколения. Поэтому создание новых и уникальных с точки зрения практического применения материалов и разработка технологий их синтеза являются стратегической задачей, обеспечивающей прогресс в оптическом приборостроении и материаловедении. Разработка таких материалов должна основываться на новых принципах и подходах, среди которых эффективными являются применение наноструктурированных материалов и технологий их изготовления [1]. В качестве таких материалов на сегодняшний день активно используется поликристаллическая керамика [2]. Алюмомагниевая шпинель ($MgAl_2O_4$) находит широкое применение в оптической технике, в качестве линз, преобразователей излучения [3].

В работе поликристаллическая керамика на основе $MgAl_2O_4$ была получена методом электроимпульсного плазменного спекания на установке SPS-515S (Syntex Inc., Япония). Данный метод является наиболее перспективным [3-5]. Невысокая продолжительность синтеза изделий этим способом и возможность точного контроля и управления параметрами спекания позволяет получать высококачественные, конкурентоспособные изделия с комплексом высоких оптических и физико-механических свойств. Спекание проводилось в вакууме (10^{-3} Па), в диапазоне температур от 1300°С до 1500°С с постоянной скоростью нагрева - 50°С/мин. Скорость выдержки при максимальной температуре для всех образцов была постоянной – 10 минут. Давление прессования варьировалось от 60 до 83 МПа. Оптически прозрачная керамика была изготовлена из коммерческого нанопорошка алюмомагниевой шпинели производства компании Baikalox (Франция).

Талица 1 - Параметров спекания

	№ образца	Параметры SPS спекания					Параметры спекания		
		Давление прессования		Время нагрева	Время выдержки под давлением	Температура охлаждения	Температура спекания	Время выдержки	Скорость нагрева
		Р, кН	Р, МПа	мин	мин	°С	°С	мин	°С/мин
Серия №1	1	24,6	78	18	10	1000	1300	10	50
	2	24,6	78	18	10	1000	1350	10	50
	3	24,6	78	20	10	1000	1400	10	50
	4	24,6	78	22	10	1000	1500	10	50
Серия №2	1	18,8	60	20	10	1000	1400	10	50
	2	22,6	72	20	10	1000	1400	10	50
	3	26,2	83	20	10	1000	1400	10	50

В результате спекания были получены 2 серии прозрачных керамических образцов высотой 2,4 – 2,5 мм, диаметром 20 мм, различающимися технологией синтеза (переменное давление и температура спекания). Дальнейшие исследования керамики проводили после её механической полировки. Плотность была рассчитана путем измерения массы и линейных размеров. Основные характеристики исследуемых образцов и параметров спекания приведены в таблицах 1, 2.

Для всех образцов были измерены спектры пропускания с использованием спектрофотометров СФ-256УВИ, СФ-256БИК. Полученные спектры представлены на рис. 1.

Таблица 2 - Характеристики спеченной керамики

	№ образца	Масса	Высота	диаметр	Абсолютная плотность	Относительная плотность
		г	Мм	мм	г·см$^{-3}$	%
Серия №1	1	2,676	2,414	20,06	3,51	97,97%
	2	1,557	2,414	20,07	3,51	98,01%
	3	2,82	2,535	20,08	3,51	98,12%
	4	2,781	2,502	20,09	3,51	97,94%
Серия №2	1	2,718	2,408	20,19	3,53	98,48%
	2	2,724	2,425	20,11	3,54	98,79%
	3	2,801	2,475	20,22	3,52	98,45%

Из рисунка 1а видно, что для серии 1 с изменением температуры синтеза наблюдается уменьшение коэффициента пропускания до 10% (1500°С), при Т=1300°С значение пропускания составляет 30%. Увеличение давления прессования (р=83 МПа) при постоянной температуре (Т=1400°С) приводит к снижению значения пропускания до 10% (Рис.1 б).

Возможной причиной ухудшения оптических свойств образцов алюмомагниевой шпинели может быть обусловлено ростом зерен и появлением остаточных пор в образцах [1, 3].

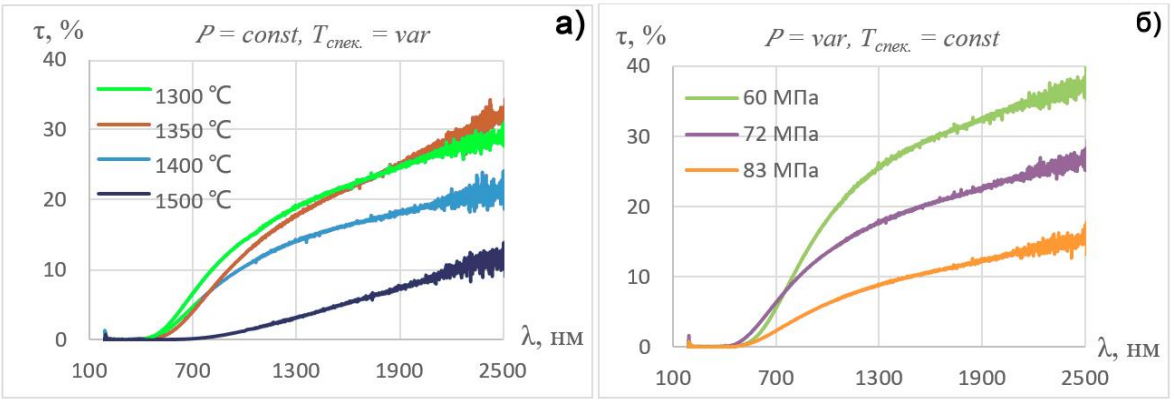


Рис. 1 Спектры пропускания керамики на основе алюмомагниевой шпинели ($MgAl_2O_4$):
а) серия №1; б) серия №2

Таким образом, в работе получены образцы алюмомагниевой шпинели, методом спарк-плазменного спекания. Показано, что варьируя параметры синтеза можно направленно изменять оптические свойства поликристаллической керамики.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (17-13-01233)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fu P., Lu W., Lei W. and etc. Transparent polycrystalline $MgAl_2O_4$ ceramic fabricated by spark plasma sintering: Microwave dielectric and optical properties.// Ceramics International.– 2013.– v. 39.– p.2481–2487.
2. W. Cao and Z. Zhe / Transparent $MgAl_2O_4$ ceramic produced by spark plasma sintering.// Scripta Materialia.– 2009.– v.61– p. 193–196.
3. Ping Fu. Optical and Microwave Dielectric Properties of Zn-Doped $MgAl_2O_4$ Transparent Ceramics Fabricated by Spark Plasma Sintering.// Int. J. Appl. Ceram. Technol.– 2015.– v.12.– p.116–123.
4. Frage N., Cohen S., Meir S., Kalabukhov S., Dariel M.P., Mater J.. Spark plasma sintering (SPS) of transparent magnesium-aluminate spinel.// Journal of Materials Science.–2007.– v.42.– p. 3273–3275
5. Morita K., Kim B.-N., Hiraga K., Yoshida H. Fabrication of transparent $MgAl_2O_4$ spinel polycrystal by spark plasma sintering processing.// Scripta Materialia.– 2008.– v. 58.– p. 1114-1117

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ АКТИВИРОВАННОЙ ВОЛЬФРАМОМ КЕРАМИКИ MgF_2

Ж.Т. Карипбаев, Д.А. Мусаханов, А.Т. Тулегенова, А.А. Мархабаева
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.М. Лисицын
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г.Томск, ул. Тимакова, 12, 41-98-31
E-mail: lisitsyn@tpu.ru

Синтез керамики. Существует трудность в синтезе активированных кристаллов MgF_2. Температура плавления кристалла 1263 С, что исключает возможность выращивания кристаллов не в вакууме и введение поливалентных примесей металла в обычных нагревательных печах с вольфрамовыми нагревателями. В вакуумной среде при высоких температурах образуются летучие соединения фтора с ионами поливалентных металлов. Поэтому нужно проводить в воздушной атмосфере, лучше с добавками кислорода гидроксила. Для синтеза было сделано тигель, изготовленной из меди массивной пластин. В шихту из порошка MgF_2 добавлялся для активации оксид вольфрама (WO_2) и соактиватор в виде гидроокиси лития (LiOH) с весовыми концентрациями от 0.05 до 0.3%. Шихта насыпалась в тигель, представляющий собою ряд конических углублений диаметром 1 см. На шихту в тигле направлялся мощный поток электронов с энергией 1.4 МэВ и плотностью мощности 18 КВт на $см^2$ от ускорителя ЭЛВ-6, который сканировал вдоль тигля со скоростью 1 $см \cdot с^{-1}$. Пучок электронов с сечением у поверхности мишени 1 $см^2$ в течении 1 с плавил шихту, которая после воздействия быстро застывала, образуя керамический образец с заданным по шихте соотношением примесей. Отличие использованного метода синтеза заключается в том, система атомов, формирующих материал, находится в сильно ионизованном состоянии.

Синтезированные керамические образцы на основе фторида магния имеет вид пластин диаметром около 1 см и толщиною до 3 мм. Внешний вид образцов, расколотых после синтеза, представлен на рис. 1. Исследования морфологии образцов с использованием растрового электронного микроскопа (РЭМ) Hitachi TM3030 показали, что поверхность образца имеет вид застывшего расплава. Как показали исследования, элементный анализ образцов соответствует заложенному в шихте, но отличается количественно, неравномерно изменяется по поверхности образца. Примесь вольфрама распределена дисперсно по поверхности.



Рис. 1. Фотография образцов синтезированной керамики

Люминесценция керамики**.** Исследования спектров возбуждения и люминесценции образцов синтезированной керамики MgF_2 с разным составом активатора WO_3 и соактиватора LiOH были выполнены с использованием спектрофлуориметра Cary Eclipse фирмы «Аджилент».

Керамика, синтезированная из особо очищенного сырья фторида магния, подготовленного для выращивания особо чистых кристаллов MgF_2 практически не люминесцирует привозбуждении излучением в области 200 – 500 нм. Результаты исследования образцов керамики, синтезированных из шихты с добавками активаторов представлены ниже. На рис. 2 приведены результаты исследований спектров возбуждения и люминесценции образцов керамики MgF_2, синтезированной из шихты с содержанием 0.05 вес. % WO_3. Люминесценция возбуждается в области 340 – 650 нм. Спектр люминесценции имеет вид полосы с хорошо выраженным максимумом излучения на 470 нм и

полушириной 0,7 эВ. Спектр возбуждения люминесценции имеет два выраженных участка. Люминесценция нарастает с уменьшением длины волны возбуждения от 300 до 270 нм, затем остается почти неизменной вплоть до 230 нм и резко растет к 200 нм. Характер спектра возбуждения не зависит от длины волны спектра измеряемой люминесценции.

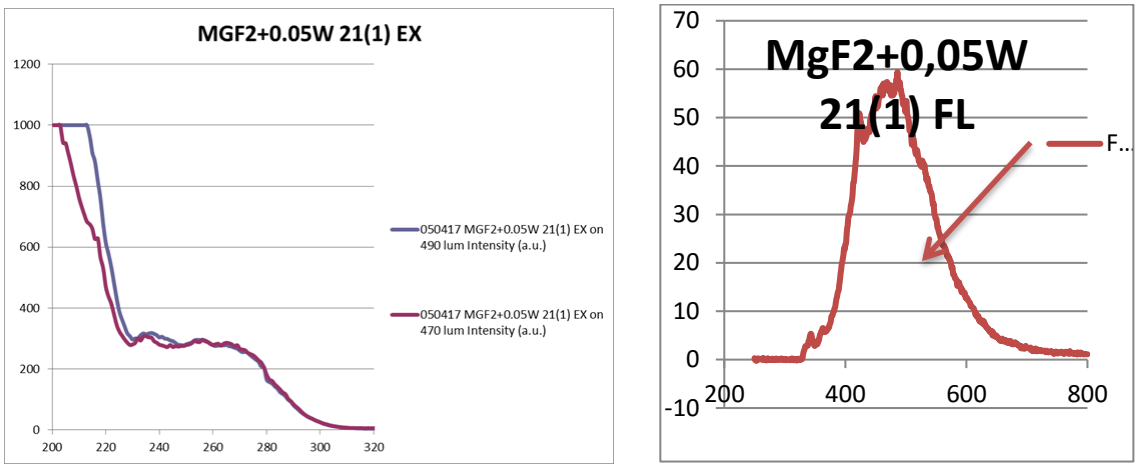


Рис. 2. а) Спектры возбуждения люминесценции на 470 (1) и 490 (2) нм в образце MgF_2 + 0.05 вес. % WO_3. б) Спектр люминесценции MgF_2 + 0.05 вес. % WO_3 при возбуждении в области 250 нм

Результаты исследований спектральных характеристик люминесценции и возбуждения керамических образцов с различным содержанием активатора и соактиватора можно выделить следующие основные закономерности. Введение активатора и соактиватора в керамику на основе фторида магния делает материал способным к интенсивной люминесценции, по крайней мере на два порядка более интенсивной, чем люминесценция чистых кристаллов. Вид спектров возбуждения люминесценции не зависит от концентрации активатора, наличия соактиватора. Люминесценция возбуждается в области 340 – 650 нм во всех исследованных материалах с подобными характеристиками спектров.

Спектры люминесценции, возбуждаемые излучением в области 240 – 290 нм имеют вид монополосы с выраженным максимумом и относительно простой формой. Полученные результаты спектральных исследований керамики MgF_2, в основном имеют сходство с результатами изучения активированных поливалентными ионами кристаллов LiF [4,5]. Можно высказать предположение о том, что в исследованной керамике на основе MgF_2, активированной ионами вольфрама при синтезе формируются центры свечения с кислородно-вакансионными комплексами [6]. Кислород играет доминирующую роль в излучательных свойствах керамики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ikesue A., Aung Y.L., Taira T., Kamimura T., Yoshida K., Messing. G.L. Progress In Ceramic Lasers // Annu. Rev. Mater. Res. 2006. V. 36. P. 397–429

2. Минакова Т.С., Екимова И.А. М61 Фториды и оксиды щелочноземельных металлов и магния. Поверхностные свойства. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2014. – 148 с.

3. Martinů, P. Thin films prepared by sputtering MgF2 in an rf planar magnetron / P. Martinů, H. Biederman and L. Holland // Vacuum. – 1985. – Vol. 35. – № 12. – P. 531–535.

4. Lisitsyna L. A. , Korepanov V. I. , Lisitsyn V. M. , Eliseev A. E. , Timoshenko N. N. , Dauletbekova A. K. Impurity cathodoluminescence of oxygen-containing LiF crystals // Optics and Spectroscopy. - 2011 - Vol. 110 - №. 4 - p. 529-533

5. Lisitsyna L. A. , Korepanov V. I. , Abdrakhmetova A. A. , Timoshenko N. N. , Dauletbekova A. K. Pulsed photo- and cathodoluminescence of LiF crystals doped with tungsten oxide // Optics and Spectroscopy. - 2012 - Vol. 112 - №. 2 - p. 175-181

6. Lisitsyna L. A. , Lisitsyn V. M. Composition nanodefects in doped lithium fluoride crystals // Physics of the Solid State. - 2013 - Vol. 55 - №. 11. - p. 2297-2303 [11409-2013]

МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭВМ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПО ГЛУБИНЕ НАНОКЛАСТЕРОВ ВАКАНСИОННОГО ТИПА В МАТЕРИАЛАХ, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ

А.И. Купчишин[1,2], А.А. Купчишин[1], Т.А. Шмыгалева[2], С.М. Есхожаева
[1]Казахский национальный университет им. Абая, Алматы, Казахстан
[2]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Создание новых материалов с уникальными свойствами является одной из приоритетных областей исследований, как в физике, так и в технике. Изучение свойств малых металлических частиц из сотен и тысяч атомов представляет большой интерес благодаря их возможному использованию в качестве материалов или поверхностных наноструктур. Несомненным является тот факт, что свойства наноматериалов в значительной мере зависят от свойств составляющих их частиц. Исследование внутреннего строения свободных кластеров может играть ключевую роль в объяснении их физических или химических особенностей. Металлы и сплавы по-прежнему остаются основой конструкционных, инструментальных и других материалов. Важным фактором в формировании их свойств являются нанодефекты кристаллической решётки, возникающие, в частности, при облучении [1].

Методика расчета

Для вычисления распределений по глубине нанокластеров в материалах, облученных ионами, рассчитывались каскадно-вероятностные функции (КВФ). При рассмотрении многоканальных процессов взаимодействия заряженных частиц с твердым телом необходимо учитывать, в частности, полные потери энергии на ионизацию и возбуждение в процессе генерации первично-выбитых атомов.

Глубины наблюдений находились по таблицам параметров пространственного распределения ионно-имплантированных примесей [2]. Далее производился расчет аппроксимированных сечений взаимодействия.

Результаты и их обсуждение

Анализ расчетов показывает, что аппроксимационные кривые модифицированных сечений взаимодействия хорошо описываются аналитической формулой, что позволяет с высокой точностью рассчитывать КВ-функции для кремния и железа. При этом теоретическое корреляционное отношение колеблется в интервале от 0, 99 до 0,9999.

Концентрация нанокластеров вакансионного типа в кремнии и железе при облучении ионами рассчитывалась по формуле:

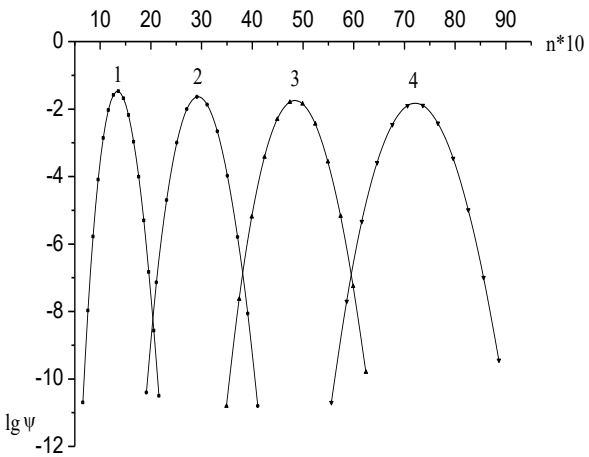
$$c_k(E_0,h)=\frac{E_d}{E_c}\frac{(E_{2\max}-E_c)}{(E_{2\max}-E_d)}\sum_{n=n_0}^{n_1}\int_{h-k\lambda_2}^{h}\psi_n(h',E_0)\exp\left(-\frac{h-h'}{\lambda_2}\right)\frac{dh'}{\lambda_1(h')\lambda_2}, \qquad (1)$$

где E_d – пороговая энергия смещения, E_c – энергия первично-выбитого атома (ПВА), при которой количество смещенных атомов равняется числу атомов N_d, находящихся в зоне спонтанной рекомбинации, $E_{2\max}$– максимально возможная энергия, приобретенная атомом, $\psi_n(h',E_0)$ – каскадно-вероятностная функция в модифицированном виде, $\lambda_1(h')$ и λ_2 – пробеги смещения ион- и атом-атомных смещений, n_0, n_1 – начальное и конечное значения области результата, k – целое число, большее 1.

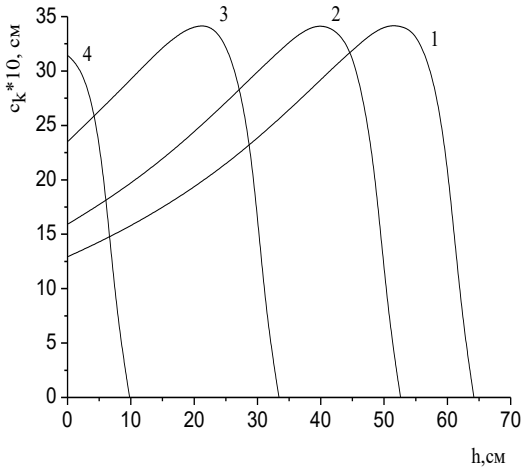
На рисунке 1 представлены зависимости КВФ для углерода в железе от числа взаимодействий. Результаты расчетов показывают, что КВФ в зависимости от n и от h возрастают, достигая максимума, затем убывают. Результаты расчетов профилей распределения по глубине нанокластеров вакансионного типа (размерами 1 – 10 нм) представлены на рисунке 1.

Анализ полученных результатов говорит о том, что с уменьшением первоначальной энергии первичной частицы интервал области результата смещается вправо, значения концентрации радиационных дефектов возрастают. В зависимости от глубины проникновения начальное и конечное значения числа взаимодействий увеличиваются, интервал области результата (n_0 n_1) также увеличивается и смещается вправо. С увеличением пороговой энергии при одной и той же глубине

проникновения значения концентрации радиационных дефектов значительно уменьшаются, границы области результата не меняются.



E_0 = 900 кэВ (1–4); h = $1{,}0\times10^{-4}$; $2{,}0\times10^{-4}$; $3{,}0\times10^{-4}$; $4{,}0\times10^{-4}$ (см.)
Рис. 1 – Зависимость КВФ от числа взаимодействий для углерода в железе



E_c = 100 кэВ; E_0 = 1000 (1), 800 (2), 500 (3), 200 (4) кэВ
Рис. 2 – Профили распределения по глубине нанокластеров вакансионного типа при ионном облучении для азота в кремнии

Заключение

В работе разработаны алгоритмы расчета каскадно-вероятностных функций и концентрации нанокластеров вакансионного типа и проведены их вычисления для различных налетающих частиц в кремнии и железе. Проведены расчеты КВФ для налетающих ионов углерода в зависимости от числа взаимодействий в железе. С ростом числа взаимодействий КВФ резко возрастает, достигает максимума и далее быстро убывает. С увеличением энергии ионов кривые КВФ смещаются вправо. Установлены особенности поведения концентрации нанокластеров вакансионного типа в зависимости от первоначальной энергии первичной частицы, глубины проникновения, пороговой энергии. При этом концентрация дефектов сначала медленно возрастает, затем достигает максимума и резко спадает на конце пробега иона.

Литература

1. Боос Э.Г., Купчишин А.А., Купчишин А.И., Шмыгалев Е.В., Шмыгалева Т.А. Каскадно-вероятностный метод, решение радиационно-физических задач, уравнений Больцмана. Связь с цепями Маркова. Монография. – Алматы: КазНПУ им. Абая, НИИ НХТ и М КазНУ им. аль-Фараби. 2015 г. – 388 с.

2. Буренков А.Ф., Комаров Ф.Ф., Кулмаханов М.А., Темкин М.М. Таблицы параметров пространственного распределения ионно-имплантированных примесей. – Минск: БГУ им.В.И. Ленина, 1980. – 300 с.

ВРЕМЯ РАЗРЕШЕННАЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ InGaN/GaN-КВАНТОВЫХ ЯМ

Ли Цзысюань, С.Г. Сысоева, В.И. Олешко
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.И. Олешко
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: llzzxx0@163.com

Полупроводниковые гетероструктуры на основе GaN благодаря своим оптическим свойствам являются одним из самых перспективных материалов оптоэлектроники [1]. Однако получение структур высокого качества сопровождается целым рядом трудностей. Существенное влияние на свойства слоев и гетероструктуры в целом оказывают неконтролируемые примеси, собственные дефекты и дислокации, образующиеся в кристаллической решетке при выращивании.

Время-разрешенная ФЛ позволяет получать информацию о процессах возбуждения и излучательной релаксации центров свечения, их природе и свойствах, без знания которых невозможно направлено оптимизировать технологию роста светоизлучающих структур [2–4].

Несмотря на то, что ФЛ InGaN/GaN - КЯ исследовалась в значительном числе работ, механизмы излучательной рекомбинации в этой системе остаются до сих пор непонятыми и широко дискутируются в литературе [4]. В связи с этим, дальнейшие исследования люминесценции в КЯ InGaN/GaN и установление механизмов, ответственных за спонтанное излучение гетероструктур, является актуальной задачей.

Цель настоящей работы заключается в получении информации о природе центров люминесценции и механизме излучательной рекомбинации в КЯ InGaN/GaN на основании сравнительного анализа время-разрешенных спектров ФЛ двух гетероструктур: ГС-1 (Китай) и ГС-2 (Снежинск), полученных методом металлоорганической газофазной эпитаксии на сапфире.

Фотолюминесценция возбуждалась излучением импульсного азотного лазера (λ = 337,1 нм), работающего с частотой 10 Гц при длительности импульса 4 нс. Уровень оптического возбуждения составлял $I_{ex} \sim 10^4$ Вт/см^2. Время-разрешенная ФЛ измерялась с помощью измерительной системы на основе дифракционного монохроматора МДР-23, ФЭУ-84 и осциллографа Tektronix DPO 3034, связанного с компьютером. Измерения проводились при температуре 300 К.

Нормированные спектры ФЛ образца ГС-1 и образца ГС-2 измеренные в максимуме лазерного импульса, т.е. при нулевой задержке времени регистрации спектра (t = 0 ns) и при t = 20,40,50 и 100 ns приведены на рис. 1-2.

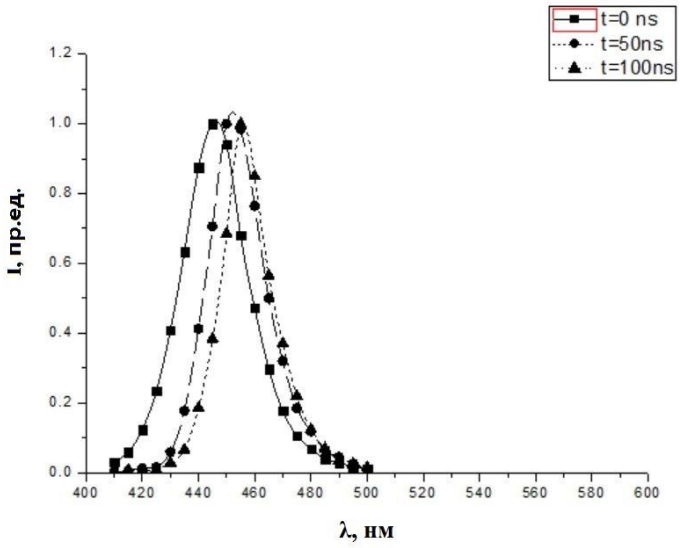


Рис. 1. Спектры ФЛ образца ГС-1, измеренные в момент окончания импульса возбуждения (t = 0 ns) и с временной задержкой 50 и 100 ns при I=10^4 Вт/см^2, нормированные на максимальный сигнал

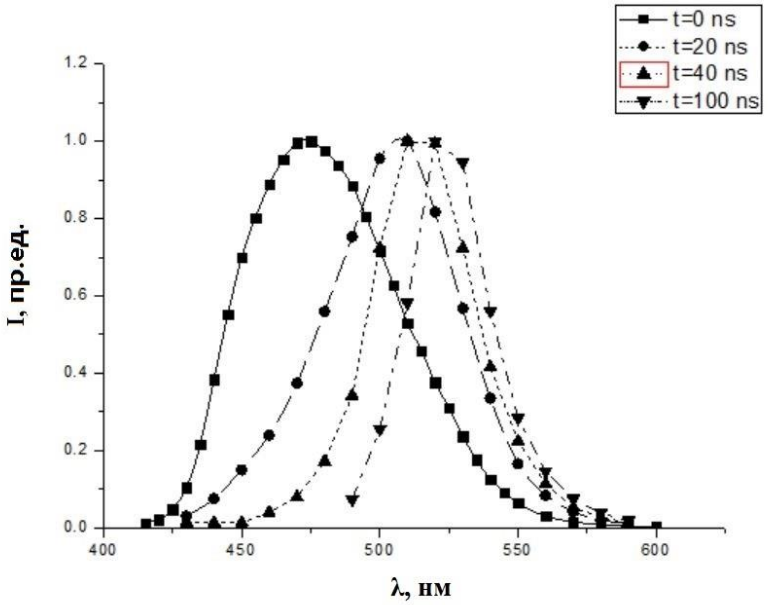


Рис. 2. Спектры ФЛ образца ГС-2, измеренные в момент окончания импульса возбуждения (t = 0 ns) и с временной задержкой 20, 40 и 100 ns при I=10^4 Вт/см^2, нормированные на максимальный сигнал

Наблюдаемые свойства время-разрешенных спектров ФЛ образцов, по нашему мнению, могут быть объяснены проявлением донорно-акцепторной рекомбинации (ДАР) в исследуемых InGaN/GaN - квантовых ямах. Об этом свидетельствуют следующие свойства ФЛ: неэкспоненциальная кинетика, сдвиг максимума спектра ФЛ в длинноволновую область с увеличением времени задержки регистрации спектра с одновременным уменьшением полуширины полосы излучения за счет быстрого высвечивания близких пар и падения интенсивности в коротковолновой области спектра в соответствии с теорией [5]. Энергия излучаемых при этом фотонов может быть представлена формулой:

$$\hbar\omega = E_g - (E_a + E_d) + e^2 / \varepsilon R,$$

где E_g – ширина запрещенной зоны, E_a и E_d – энергии связи акцепторного и донорного центров, соответственно, ε – статическая диэлектрическая проницаемость, R – расстояние между центрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лундин В.В., Николаев А.Е., Сахаров А.В. и др. // ПЖТФ. 2010. Т. 36, № 22. С. 89—95.
2. Sun C.-K., Chiu T.-L., Keller S. et al. // Appl. Phys. Lett. 1997. V. 71, №4. P. 425—427.
3. Андрианов А.В., Некрасов В.Ю., Шмидт Н.М. и др. // ФТП. 2002. Т. 36, № 6. С. 679—684.
4. Зубелевич В.З., Луценко В.Е., Павловский В.Н. и др. // ЖПС. 2009. Т. 75, № 1. С. 94—101.
5. Thomas D.G., Hopfield J.J., Augustyniak W.M. // Phys. Rev. 1965. V. 140, № 1A. P. A202—A220.

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ И ЗАЛИВАЮЩЕЙ ПОДСТВЕТКИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ДЕРЕВЯННОГО ЗОДЧЕТВА

А.В. Овсянникова, К.П.Толкачева
Научный руководитель: доцент, к.т.н. И.И. Петров
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: tkp@tpu.ru

В архитектуре города, который живет и развивается многие века, отражается вся его история, и сменяющиеся поколения жителей всегда ощущают историческое прошлое по сохранившимся архитектурным памятникам [1]. Деревянные дома г. Томска, их великолепный декор созданы в дереве руками простых народных умельцев, зодчих-плотников, являются главной достопримечательностью для туристов. В таблице 1 представлен количественный анализ объектов деревянного зодчества в г. Томске.

Таблица 1 - Количество объектов деревянного зодчества в г. Томске

Зона	Памятники деревянного зодчества	Ценные здания, рекомендуемые как историческая среда	Количество объектов, имеющих освещение в вечернее время
« Еланская»	25	5	11(8)*
«Воскресенская гора»	105	83	15
«Татарская слобода»	65	43	30
«Преображенская»	94	15	25
«Дворянская»	49	21	12 (4)*
«Заозёрье»	33	29	13
«Иоанно-Предтеченского женского монастыря»	4	-	-
«Психиатрические клиники»	21	9	-
* В скобках дана информация об объектах имеющих освещение			

В результате анализа таблицы видно, что только 26% зданий выделяются в вечернее время в городском ансамбле. Проектирование архитектурного освещения (АО) объектов деревянного зодчества это сложная многоаспектная задача, в результате которой необходимо учитывать ряд факторов и аспектов приведенных в [2]. На сегодня можно выделить 2 доминирующих приема освещения, используемых в проектировании АО.

Заливающий свет (ЗС)	Локальная подсветка (ЛП)
Формирует похожий на дневной вид рассредоточение тени и света, световые приборы находятся наиболее высоко, к примеру, располагаются на самом верху противоположных строений.	Выделяет оригинальные и характерные пластические и колористические качества фасадов. Световые приборы располагаются на самом фасаде.

На рисунке 1 представлены примеры ЛП. Сравнение достоинств и недостатков локальной подсветки и заливающего света относительно объектов деревянного зодчества дано в табл.2.

Рассмотрим сравнение стоимостных показателей (табл. 3) для деревянного дома по адресу, ул. Кузнецова, 30, который имеет локальную подсветку (рис.1) Экспертная оценка светового пятна S=10 и коэффициента заполнения светового пятна β=50, при тарифе на электроэнергию равен 3,25 руб/кВт·ч

Таблица 2 - Сравнение локальной подсветки и заливающего света

Достоинства и особенности ЛП	Недостатки в сравнении с ПЗС
1. Позволяет выявить особенности освещаемого фасада. 2. Удобна для монтажа и управления (сеть проходит по стене здания). 3. Все согласования выполняются легче, чем при ЗС (с опор уличного освещения или противостоящих сооружений).	1. Излишняя пятнистость дробность световой композиции, темные провалы (особенно на резьбе объекта) 2. Неприемлема для деревянного зодчества по 2аспектам:первый – расположение на стене (кабель каналов, труб и др. элементов) может испортить внешний облик объекта, второй – неправильный расчет Sкабеля может привести к быстро возгоранию объекта. 3. Согласования по выполнению тоже сложный процесс, т.к. данные объекты являются исторической средой города.



А Б

Рис.1.Примеры локальной подсветки: А) ул.Кузнецова, 30 (Дом Эдисона Денисова), Б) ул.Гагарина,36

Таблица 3 - Сравнение светотехнических и стоимостных показателей

Расчетные параметры		ЛП (N=19 шт, СП с МГЛ)	ЗС (N=2 шт, СП с LED)
Мощность		150Вт	159Вт
Эффективность		80 лм/Вт	127 лм/Вт,
Срок службы		$20 \cdot 10^3$ часов	$50 \cdot 10^3$ часов
СтоимостьN·(СП+ИС)		19·5 500=104 500 руб	2·34 500=69 000
Значение стоимости	удельной ($C \cdot P \cdot S^{-1}$) для 1 СП	$\frac{5500 \cdot 150}{10} = 82500 руб.$	$\frac{34500 \cdot 159}{50} = 109710 руб.$
	единицы световой энергии ($q \cdot \eta_{\text{ъ}}^{-1} + C \cdot Ф^{-1} \cdot \tau^{-1}$) для 1 СП	$\frac{3,25}{80} + \frac{5500}{12000 \cdot 20} = 63,54 руб / лм \cdot ч$	$\frac{3,25}{127} + \frac{34500}{20193 \cdot 50} = 59,76 руб / лм \cdot ч$

Анализ показывает, что при принятии решений по АО мало учитывать только архитектурные и чисто экономические соображения – необходимо принимать во внимание и светотехнические данные приборов, которые используются в реализации а может и возможности создания новых СП для освещения объектов деревянного зодчества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дрейзин Э. И., Пасечник А. Ф. Деревянная архитектура Томска. –Томск.: Издательство «Советский художник», 1975. – 189 с.
2. Никитин В. Д. Толкачева К.П. Световое поле в установках наружного освещения: учебное пособие. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 113 с.

ОПЕРАТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА СПЕКТРА КИНЕТИЧЕСКИХ ЭНЕРГИЙ ЭЛЕКТРОНОВ ПУЧКА ИМПУЛЬСНОГО УСКОРИТЕЛЯ

А.В. Полосков, И.С. Егоров, А.А. Курилова, А.А. Исемберлинова
Научный руководитель: научный сотрудник лаборатории №1, к.т.н. И.С. Егоров
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: poloskovav@tpu.ru

Разработано и испытано устройство для получения спектра кинетических энергий электронов пучка импульсного ускорителя с регистрацией распределения дозы в сечении. Для регистрации дозы электронного пучка используется пленка окрашенная радиационно-чувствительная (ПОР)[1]. Оптическая плотность, которой изменяется в зависимости от дозы, сообщаемой электронным пучком. На поверхности пленки расположены алюминиевые пластины разной толщины [2]. Пластины расположены таким образом, чтобы между ними было расстояние для контроля распределения дозы в сечении. Кроме того, изменяя толщину пластин и их количество можно задать диапазон и шаг измерений. Работы проводились на импульсном частотном ускорителе электронов АСТРА-М [3].

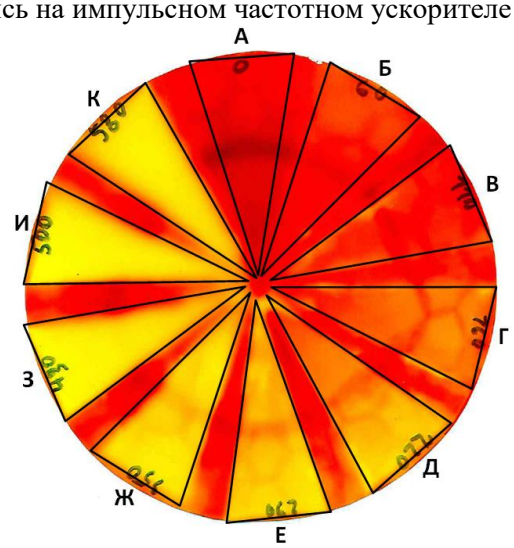


Рис. 1. Отпечаток электронного пучка на плёнке ПОР при использовании спектрометра, цифрами указана толщина алюминиевых пластин секций(мкм)

Таблица 1 - Диапазон и шаг измерений спектрометра

Название сектора	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
Толщина металла, мкм	0	60	110	160	220	290	350	430	500	580
Кинетическая энергия отсекаемых электронов, кэВ		86	119	142	177	212	226	261	268	273
Энергия пучка электронов, измеренная ПОР, %	100	77	73	50	31	18	7	5	0	0
Энергия пучка электронов, измеренная Цилиндром Фарадея, %	100	76	58	44	34	19	12	4	1	0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «ЗАО БИТ» [Электронный ресурс].– Режим доступа: http://www.zaobit.ru. –19.07.2017
2. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Юдин Н.П. Частицы и атомные ядра. – М:.Издательство ЛКИ, 2007. – 584 с.
3. Egorov I.S., Remnev G.E., Kaikanov M.I., Lukonin E.I., Esipov V.S., Poloskov A.V., Kolokolov D.Yu. Repetitive source of pulsed electron beams// Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 10-3. – С. 58-60.

АДРЕСНЫЕ ТАБЛИЧКИ С АВТОНОМНОЙ ПОДСВЕТКОЙ

Д.Е. Саттыбаев
Научный руководитель: к.ф-м.н И.Ю.Зыков
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: darkhan_ss@mail.ru

Световое оформление городской среды включает в себя, главным образом, утилитарное освещение, архитектурное освещение и рекламно-оформительское освещение. Тем не менее, существует еще одна группа световых приборов, часто выпадающая из области внимания светотехников - подсветка информационных указателей и в частности – адресных табличек. Они остаются либо без подсветки, либо, в лучшем случае, представляют из себя достаточно громоздкие лайтбоксы рис.1.



Рис. 1. Лайтбоксы



Рис. 2. Пример таблички, наиболее полно отвечающий всем перечисленным требованиям

Вместе с тем, существует достаточно много зданий, представляющих историческую и архитектурную ценность, для которых крайне желательна минимизация любых посторонних элементов, размещенных на фасаде. К таким элементам относятся, в том числе, и адресные таблички, и кабели для питания их подсветки, и сами элементы подсветки, если они не интегрированы в табличку. Одним из вариантов решения этой проблемы может стать создание табличек с наименьшим «загрязнением» фасада со встроенной светодиодной подсветкой и, по возможности, автономным питанием от солнечных элементов.

Данные таблички должны отвечать ряду требований, наиболее значимые из которых приведены ниже:

- надписи должны быть хорошо видны в дневное и в ночное время;
- в ночное время табличка должна быть хорошо видна в случае включенной подсветки и уверенно читаться в случае, если подсветка не работает;
- табличка должна вносить минимальные посторонние акценты на фасад (если мы имеем дело с памятниками архитектуры) или быть эстетически привлекательно оформлена;
- желательна возможность автономного питания от солнечных элементов.

Последнее требование является весьма жестким, поскольку его реализация требует существенного усложнения таблички. Возникает несколько технических сложных вопросов, которые мы и попытаемся рассмотреть.

Стандартные вопросы об источнике энергии, аккумуляторе и источниках света на сегодняшний момент можно считать решеными: существующие солнечные батареи, литий ионные аккумуляторы и светодиоды являются вполне удовлетворительными ответами. Вместе с тем возникает ряд других вопросов, требующих своего решения:

1. Место расположения солнечных элементов. Понятно, что применение отдельных панелей, на фасаде здания, тем более исторического, невозможно. Единственным вариантом является расположение за табличкой, что в свою очередь выдвигает требования прозрачности материала таблички.
2. Максимальная эффективность использования электроэнергии, поскольку её ресурсы будут крайне ограничены. Комплекс мер экономии может включать в себя улучшение видности таблички в

сумерках (Чем дольше видна табличка при естественном освещении, тем позднее можно включать подсветку), режим экономии электроэнергии для ночной работы в периоды суток с минимальным количеством людей на улицах, при котором интенсивность подсветки либо снижается, либо подсветка работает с интервалами, максимальная эффективность использования света, испускаемого светодиодами.

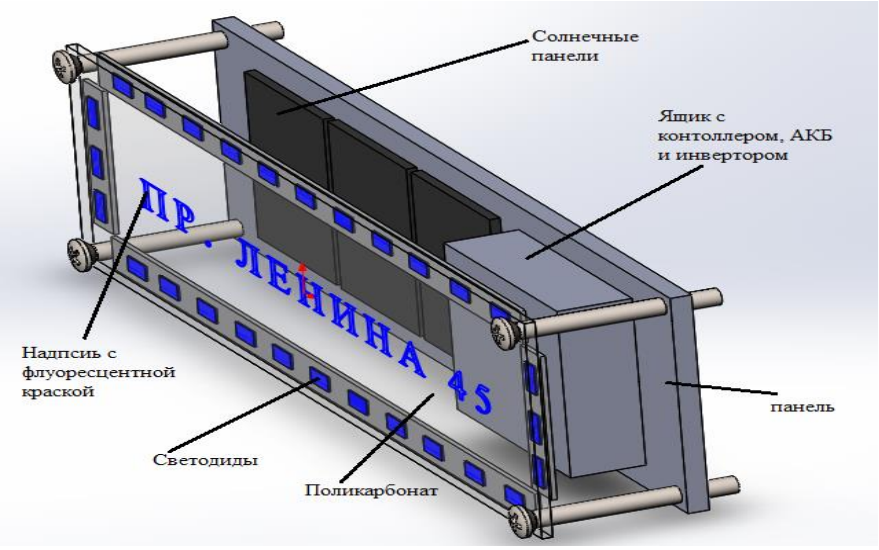


Рис. 3. Макет адресной таблички

С нашей точки зрения, конструкция таблички, представленная на рис.2. наиболее полно отвечает всем вышеперечисленным требованиям. Сама табличка делается из прозрачного материала – пластины оргстекла, поликарбоната или силикатного стекла. Наиболее подходящим материалом представляется поликарбонат, который сочетает простоту обработки и фотохимическую стойкость. На одну боковую грань пластины устанавливаются светодиоды подсветки, остальные – покрываются отражающим покрытием. Изображение наносится на внутренней стороне пластины с помощью лазерной или механической гравировки и покрывается флуоресцентной краской с максимумом флуоресценции в желто-зеленой области. За табличкой располагаются солнечные батареи, в торце – блок электроники и аккумуляторов. При наличии внешнего электропитания электронный блок такой таблички существенно упрощается, исчезает потребность в солнечных батареях, что существенно снижает стоимость, оставляя неизменным внешний вид, что позволяет использовать однотипные таблички в пределах определенного ансамбля зданий вне зависимости от наличия или отсутствия внешнего электропитания.

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО И СТАТИЧЕСКОГО СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРИРОСТ МИКРОВОДОРОСЛИ ХЛОРЕЛЛЫ

О.А. Трофимчук
Научный руководитель: к.ф. – м.н., директор ИФВТ, А.Н. Яковлев
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: ravena1208@mail.ru

За последнее десятилетие наравне с премиксами, витаминами, биодобавками кормовой рацион сельскохозяйственных животных пополнился водорослями. К ним относится и хлорелла – представитель зеленых микроскопических водорослей [1].

При массовой культуре водорослей интенсификация процесса биосинтеза может быть достигнута за счет создания высокой напряженности основных факторов, обусловливающих в автотрофных условиях высокую продуктивность фотосинтеза и накопления биомассы. К таким факторам, прежде всего, относятся углекислый газ, минеральное питание и свет [2].

Сегодня для выращивания микроводоросли хлорелла (Chlorella vulgaris) используются неэффективные источники излучения, которые не учитывают спектр поглощения и фазы роста микроводоросли [3,4].

Для лабораторных установок была разработана методика проведения эксперимента. На основе имеющихся установок фитотронов был проведен эксперимент по культивированию микроводоросли хлореллы на протяжении 8 часов.

В течение всего эксперимента проводилось измерение спектра оптической плотности на спектрофотометре СФ-256 УВИ, с интервалом в один час. Основные задачи эксперимента – сравнить влияние динамического и статического спектров излучения; изучить влияние динамического спектра, близкого по спектральному составу солнечному; исследовать влияние спектра, близкого к спектру поглощения.

Для сравнения эффективности источников облучения хлореллы использовались фитотроны. В центре каждого из четырех фитотронов на дно были установлены мерные стаканы объемом 100 мл, которые предназначены для непосредственного выращивания хлореллы. Стаканы заполнены 50% питательной средой Тамия и маточной культурой хлореллы, объем суспензии в каждом стакане соответствует 50 мл.

На протяжении всего эксперимента температурный режим был равен 28 градусов цельсия стабилизировался цифровым термостатом с выносным датчиком, который погружался в один из мерных стаканов.

В каждом из четырех фитотронов соблюдался разный спектральный состав.В фитотроне №1 на протяжении всего эксперимента использовались синие светодиоды; в фитотроне №2 – красные светодиоды и в фитотроне №3 – белые светодиоды. Так выявлялось влияние трех светодиодных модулей (белый, синий и красный) на предмет роста оптической плотности хлореллы. Заранее были померены источники излучения на высокочувствительном оптоволоконном спектрофотометре AvaSpec-2048 для формирования одинакового фотосинтетического фотонного потока. В четвертом фитотроне использовался смешанный режим, который был выявлен в эксперименте ранее. Чередование спектров очень похоже на спектр излучения солнца в течение дня: с утра - это синий восход, в полдень - это преимущественно белый спектр, а на заходе – это красный закат. Соответственно, эти выводы были опробованы на четвертой кювете. Каждые три часа спектр облучения менялся.

По измеренным данным при помощи спектрофотометром AvaSpec 2048 был построен график спектров излучения четырех фитотронов, используемых в эксперименте. А также график спектра поглощения хлореллы (рисунок 1).

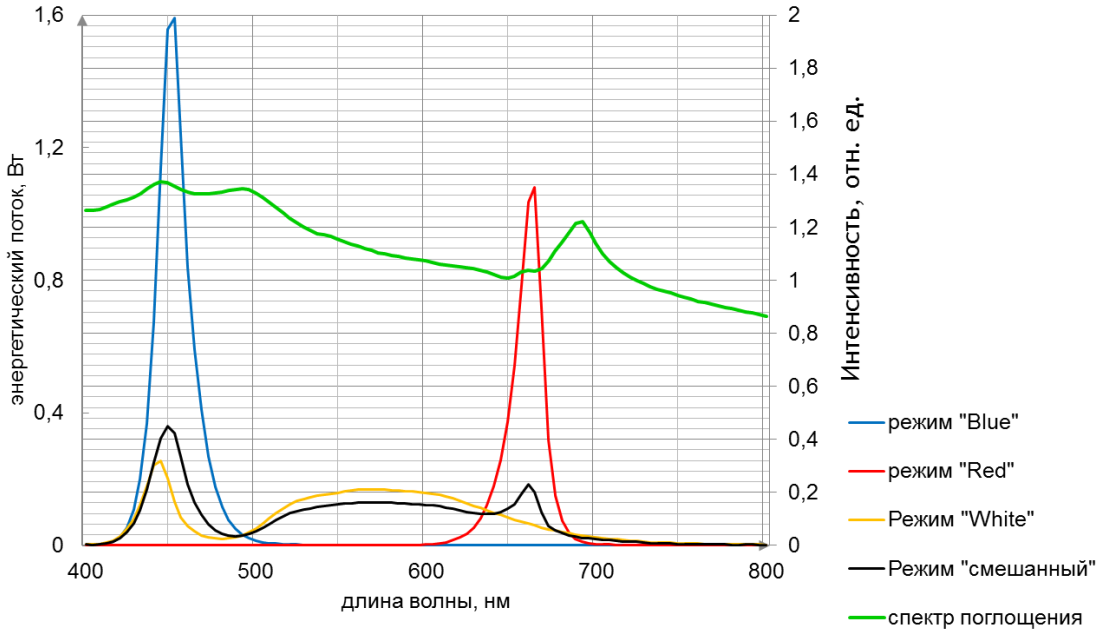


Рис. 1. Спектры облучения и поглощения хлореллы

Из графика видно, что каждый спектр в определенный промежуток времени давал наибольший прирост хлореллы. С утра требовалось больше синего спектра, днем – белого, а вечером – красного. Данные полученные из рисунка 1 возможно свидетельствуют о том, что хлорелла обладает фазами роста и в определенный промежуток времени водоросли требуется определенное излучение. Таким образом, динамический спектр излучения более полно покрывает нужды хлореллы в определенном диапазоне длин волн в каждый промежуток времени на протяжении всего эксперимента. Следовательно, применяя правильный порядок чередования спектров, появляется возможность в сокращении применения других спектров в каждый момент времени, вследствие чего сокращается и потребление электроэнергии при больших масштабах производства.

Список литературы

1. Суспензия хлореллы в рационе сельскохозяйственных животных / Н.И. Богданов. – Пенза, 2-е изд. Перераб. и доп., 2007. – 48 с.
2. Интенсивная культура одноклеточных водорослей / М.Г. Владимирова, В.Е. Семененко. – Изд. Академии наук СССР, Москва, 1962. – С. 5.
3. Геворгиз Р.Г., Щепачёв С.Г. Предельная оценка продуктивности микроводорослей в условиях естественного и искусственного освещения // Экология моря. – 2010. – Вып. 80. – С. 29.
4. Складнев Д. А. Интернет-журнал «Коммерческая биотехнология». URL: http://cbio.ru/page/43/id/3433 (дата обращения: 1.02.2016).

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ YAG:Ce ЛЮМИНОФОРА ПРИ УФ-ВОЗБУЖДЕНИИ

А.Т. Тулегенова, Цзюй Янян, В.А. Ваганов, С.А. Степанов
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н., В.М. Лисицын
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: tulegenova.aida@gmail.com

Светодиоды как новое поколение источников света получили широкое распространение благодаря таким преимуществам, как длительный срок службы, экономичность, экологичность. В светодиодах излучение УФ диапазона преобразуется люминофором в видимое. Для того чтобы люминофор эффективно преобразовывал УФ излучение в видимое, он должен хорошо поглощать энергию возбуждения, эффективно передавать ее центрам свечения. Поэтому очень важна информация о передаче энергии возбуждения центрам свечения.

В настоящей работе приведены результаты исследования спектров УФ возбуждения и люминесценции по составу ИАГ люминофоров.

Методы исследования и образцы

Для исследования были выбраны ИАГ люминофоры серии MG 397 2W S800, L-2083-2+L 2085-1 S1000 и AWS 5 90818-1. Спектры люминесценции и возбуждения были измерены с помощью спектрофотометра Cary Eclipse фирмы «Аджилент» в диапазоне спектра от 200 до 800 нм. Элементный состав образцов определялся на СЭМ «Quanta3D 200i», включающий в себя систему энергодисперсионного анализа. Результаты определения элементного состава люминофоров приведены в табл.1.

Таблица 1 - Элементный состав люминофоров

Люминофор	Y	Al	O	Ba	F	Ce	Mg	Eu	Si	Na
MG-397 2 W S800	12.46	26.77	60.77			+				
AWS 5 90818-1	12.32	25.04	61.09			+		1.55		
L-2083-2+L-2085-1s1000	10.46	4.40	45.72	3.06	13.48	0.27	9.80		9.86	2.93

Спектры возбуждения и люминесценции люминофора YAG:Ce

Спектры возбуждения люминесценции люминофоров MG 397 2W S800, L-2083-2+L 2085-1 S1000 и AWS 5 90818-1 приведены на рис.1. Фотолюминесценция образцов наблюдается в широком диапазоне от ближнего УФ до ИК. Возбуждается люминесценция излучением в диапазоне спектра от 200 до 500 нм. В спектре возбуждении наблюдаются полосы возбуждения с максимумами на 250, 280 - 290 нм люминесценции на 315, 380 и 540 нм. Как видно из представленных результатов, спектр возбуждения люминесценции на 540 нм отличается от спектров возбуждения на 315, 380 нм.

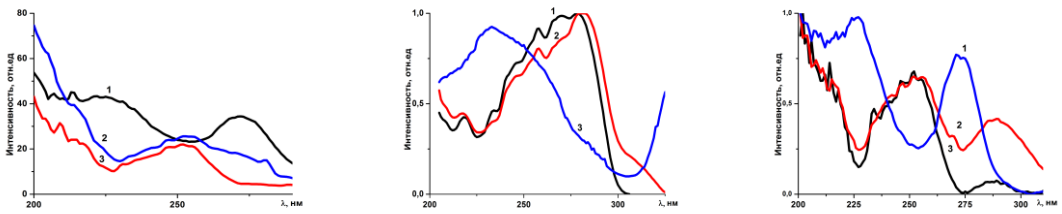


Рис.1. Спектры возбуждения люминесценции люминофоров MG 397 2W S800 (1-540, 2-315, 3-385 нм), AWS 5 90818-1 (1-380, 2-320, 3-540 нм), L-2083-2+L 2085-1 S1000 (1-540, 2-380, 3-315 нм)

На рис. 2. представлены спектры люминесценции люминофора MG 397 2W S800 в области 250-750 нм при возбуждении излучением на 260 нм. Люминесценция в области 540 нм, известно [1,2], возбуждается излучением в полосах на 460 и 340 нм. При возбуждении излучением в области от 200-300 нм кроме этой полосы появляются две дополнительные перекрывающиеся полосы люминесценции в области 315 и 380 нм.

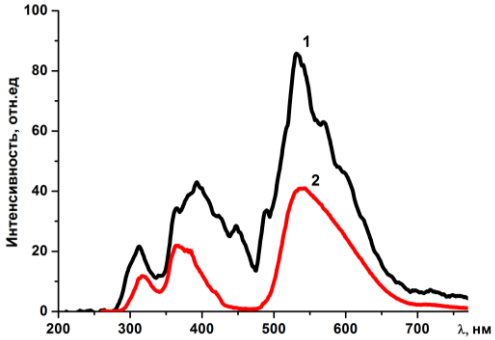


Рис.2. Спектр люминесценции MG 397 2W S800

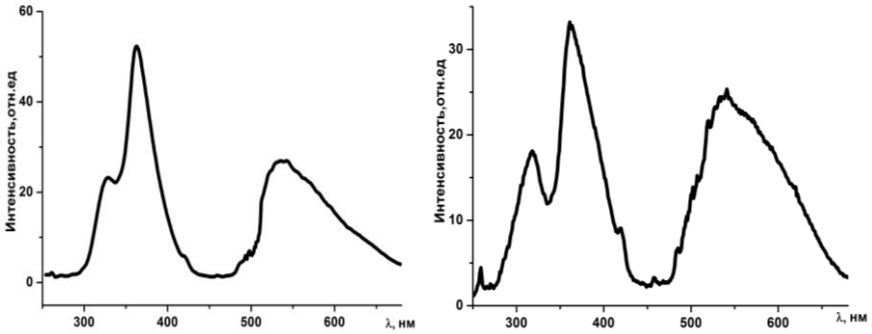


Рис.3. Спектр люминесценции люминофоров L-2083-2+L 2085-1 S1000 и AWS5 90818-1

Такие же полосы люминесценции в области 315 и 380 нм при УФ возбуждении наблюдаются и в люминофорах L-2083-2+L 2085-1 S1000, AWS 5 90818-1 (рис.3). Сопоставление спектров возбуждения изученных люминофоров позволяет сделать заключение о том, что они различаются для разных люминофоров и для полос в УФ области спектра. При возбуждении излучением в области 260 нм в MG 397 2W S800 полосы люминесценции приходятся на 315 и 380 нм, в L-2083-2+L 2085-1 S1000 на 318 и 360 нм, в AWS 5 90818-1 - на 325 и 363 нм.

Заключение. Наблюдается качественное подобие спектров возбуждения и люминесценции исследованных люминофоров. Однако очевидно количественное различие люминесценцтных характеристик люминофоров с разным соотношением основных элементов состава. Вероятно изменение состава приводит к искажению (изменению) элементарной ячейки в решетке $Y_3Al_5O_{12}$:Ce. Следствием этого является изменение структуры центров поглощения и люминесценции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аладов А.В., Васильева Е.Д., Закгейм А.Л., Иткинсон Г. В., Лундин В.В., Мизеров М.Н., Устинов В.М., Цацульников А.Ф. О современных мощных светодиодах и их светотехническом применении // Светотехника.- 2010, -№ 3.- Стр. 8-16.
2. Yu. Zorenko, E. Zych, A. Voloshinovskii. Intrinsic and Ce3+-related luminescence of YAG and YAG:Ce single crystals, single crystalline films and nanopowders // Optical Materials 31 (2009) 1845–1848pp.

МОРФОЛОГИЯ И СТРУКТУРА ЛЮМИНОФОРОВ ТИПА СДЛ

А.Т. Тулегенова, Цзюй Янян, С.А. Степанов
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.М. Лисицын
Томский политехнический университет, Томск, Россия
Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Люминофоры на основе иттрий-алюминиевых гранатов (ИАГ), активированных трехвалентным церием: $Y_3Al_5O_{12}$: Ce^{3+} (YAG:Ce), являются перспективными материалами для преобразования УФ и синего излучения чипа в видимое в светодиодах [1–3]. Эффективность преобразования излучения чипа люминофором определяется не только составом, но и технологией синтеза люминофора. Несмотря на то, что технологии синтеза люминофоров достаточно хорошо отработаны, наблюдается большой разброс в характеристиках синтезированных люминофоров. Настоящая работа посвящена изучению морфологии и структуры люминофоров типа СДЛ, синтезированных по одной технологии, но в разное время.

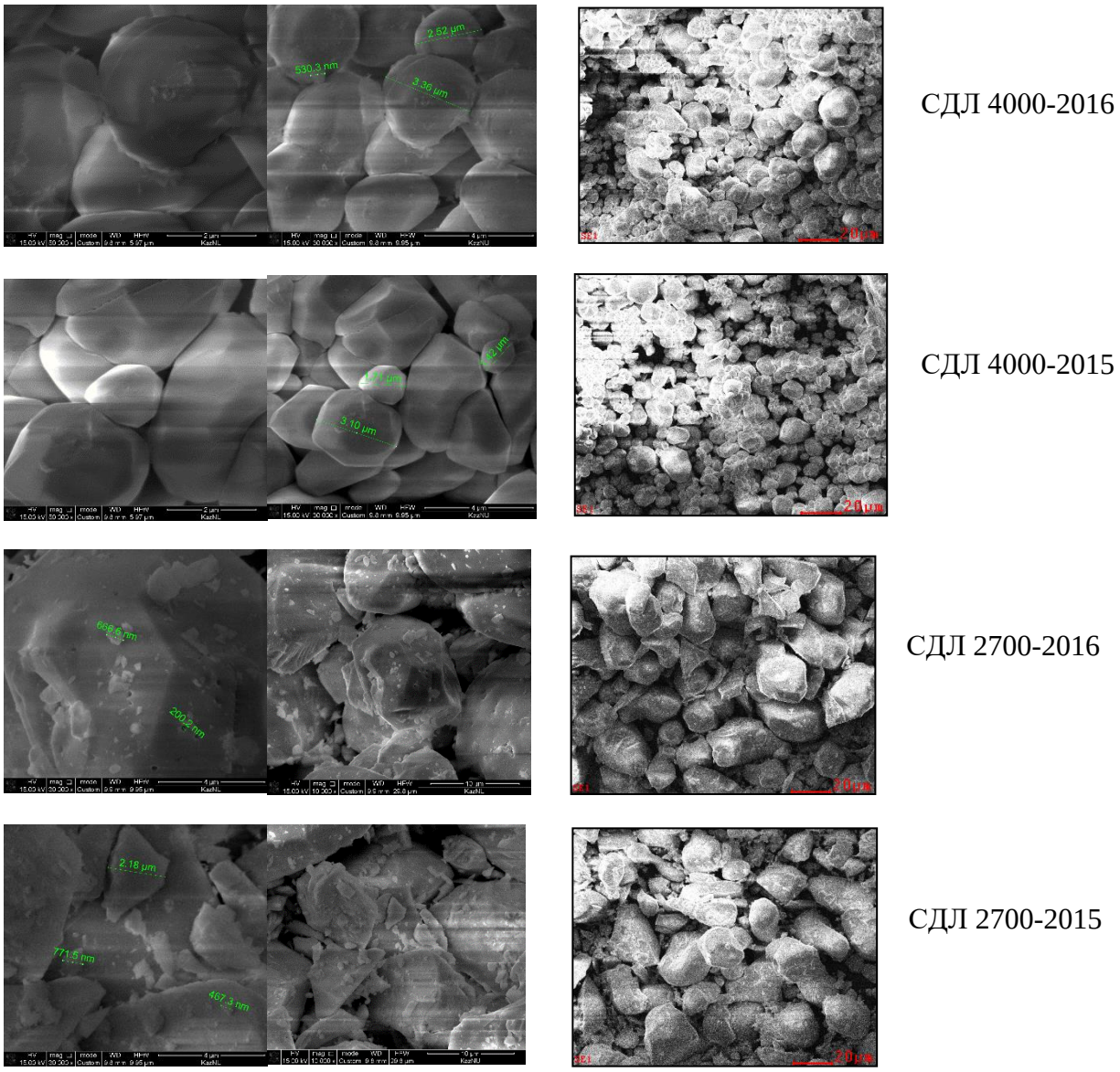


Рис.1 Микроснимки образцов СДЛ 4000 и 2700, синтезированных в 2015 и в 2016 гг.

Для исследований использовались промышленные люминофоры СДЛ4000, СДЛ2700, СДЛ3500, синтезированные во ФГУП «НИИ ПЛАТАН» в 2015 и 2016 гг. Элементный состав образцов измерялся

на установке ESCALAB 250 в Цзилиньском университете и представлен в таблице 1. Морфология образцов изучалась с помощью электронного микроскопа Quanta3D 200i в КазНУ им Эль Фараби, Алмата, Казахстан. Структура люминофоров была идентифицирована с помощью рентгеновской дифракции (XRD) на рентгеновских дифрактометрах ДРОН-7 Буревестник в КазНУ им.аль-Фараби и Rigaku в Цзилиньском университете.

Как показали проведенные нами исследования люминофоры СДЛ2700 и СДЛ3500 имели в своем составе Gd и Ce. Люминофоры СДЛ4000 не содержали Gd и Ce в достаточном для обнаружения количестве. Элементный состав однотипных люминофоров, синтезированных в разные годы различается.

На рис.1 приведены микрофотографии образцов люминофоров СДЛ 4000 и СДЛ 2700, синтезированных в разные годы.

Выделяются следующие различия в морфологии частиц люминофоров. Все люминофоры СДЛ 4000 состоят из частиц, максимальные размеры которых не превышают 20 мкм. В люминофоре СДЛ 2700 многие частицы имеют размеры более 20 мкм, в СДЛ 3500 – около 20 мкм. Крупные частицы составляют большую часть объема в СДЛ2700 и 3500, меньшую – в СДЛ 4000. Мелкие частицы имеют микронные и субмикронные размеры.

Обращает на себя внимание следующее. Частицы люминофора СДЛ 4000-2015 имеют вид чистых гранул, ограниченных плоскостями. Гранулы люминофора СДЛ 4000-2016 имеют более скругленную форму и покрыты паутинкой не вошедшего в частицы состава шихты. В люминофорах СДЛ 3500-2015 наблюдается множество не сформировавшихся в кристаллы частиц и мелких частиц субмикронных размеров. В СДЛ 3500-2016 такие частицы имеют вид плавней, не имеющих характерной для кристаллов огранки. Частицы люминофоров СДЛ 2700 имеют вид гранул с тенденцией к формированию огранки. Все крупные частицы покрыты мелкими, похожими на осколки, формирующимися частицами, размеры которых колеблются от 200на до единиц микрон.

Были изучены рентгенограммы исследованных люминофоров. Обнаружено, что положение дифракционных пиков всех исследованных люминофоров в основном соответствует положению пиков кристаллической фазы кристалла ИАГ по литературным данным. Исследованные ИАГ люминофоры состоят из частиц с очень хорошей степенью кристалличности. Есть некоторые отличия в интенсивностях и положениях отдельных пиков, обусловленных разницей соотношения элементов в составе основы и концентрации активатора.

Таким образом, синтезированные в разное время люминофоры заметно различаются по составу, морфологии, структуре. Различие объясняется только возможными малыми отклонениями в технологии синтеза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аладов А.В., Васильева Е.Д., Закгейм А.Л., Иткинсон Г. В., Лундин В.В., Мизеров М.Н., Устинов В.М., Цацульников А.Ф./ О современных мощных светодиодах и их светотехническом применении// Светотехника.- 2010, -№ 3.- Стр. 8-16.

2. Qinglin Sai, Zhiwei Zhao, Changtai Xia, Xaodong Xu, Feng Wu, Juding Di, Lulu Wang. Ce-doped Al2O3-YAG eutectic and its application for LEDs//Optical Materials. - 2013.- 35.- P.2155–2159.

3. Лисицын В.М., Абдуллин Х.А., Степанов С.А., Ваганов В.А., Тулегенова А.Т. Спектральные характеристики люминесценции промышленных ИАГ люминофоров// Известия вузов. Физика.- 2016.- Т. 59.- № 9/2, С. 164-168.

БЕЗАППАРАТУРНОЕ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ С ПОМОЩЬЮ СМАРТФОНА

Э.В. Уразов, А.К. Посвященная
Научный руководитель: доцент, д.х.н. М.А. Гавриленко
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: dce@mail.ru

Разработано и реализовано приложения для смартфона для колориметрического анализа с использованием одноразового оптода. Используя встроенную камеру в смартфоне, изображения до и после аналитической реакции металлов с комплексообразующим реагентом и появлением окраски оптода проанализированы мобильным приложением. Основными проблемами коррекции цвета являются задачи нивелирования засвечивания изображения и влияния окружающего света. Для решения этих задач в приложение включена цветодиффузионная модель сравнения с исходным изображением колориметрического оптода. С помощью программы обработки изображений на смартфоне, разработанные прозрачные оптоды успешно применены для определения металлов в природной и технической воде. Предел обнаружения, полученный с разработанной платформой составляет 4-12 ppb. Таким образом, достигнуто быстрое и чувствительное определение металлов с помощью одноразового колориметрического оптода и последующей обработки изображения приложением для смартфона без использования любого аналитического оборудования.

Колориметрические оптоды для тест-методов анализа произвели революцию в области исследований и обнаружения токсичных или, наоборот, полезных веществ и витаминов вследствие простоты применения, мобильности и миниатюризации [1-4]. Однако разработка и изготовление функциональных устройств для интерпретации их аналитического сигнала остаются сложными и дорогостоящими. Системы распознавания изображений на основе смартфонов потенциально затронули упомянутые проблемы, компенсирующие рентабельность с использованием прозрачных и непрозрачных оптодов при экспресс-тестировании. Установлено, что точность систем распознавания цвета на смартфоне в основном связана с качеством, чувствительностью исследуемого образца и технологическими аспектами, принятыми на смартфонах. В настоящее время несколько исследовательских групп работают над переносным оптическим детектором, объединяющим смартфоны с высоким разрешением и оптодные чувствительные элементы.

В этой работе мы представляем мобильное приложение распознавания оптических моделей цветообразования на основе смартфонов для колориметрического анализа с использованием прозрачных полиметакрилатных оптодов. Распознавание происходит с использованием алгоритма, основанного на разности яркости между областью референции и областью обнаружения изображения оптода с использованием приложения обработки изображений для Android.

Вспышка в большинстве смартфонов достаточно яркая, чтобы снимать объекты на расстоянии менее 20 см, изображения засвечиваются во время съемки, что ведет к искажениям яркости. Поэтому мы предложили цветодиффузорное сравнение с исходным эталоном оптода, хранящимся в памяти приложения или облачном хранилище, чтобы избежать неправильного освещения или интенсивного света вспышки на образце,

Фото выполняется на белом фоне, причем оптод помещают на держатель с отметкой выравнивания, которая позволяет размещать область формирования изображения в камере сматртфона в сопоставлении с хранящимся эталоном изображения исходного оптода.

Изображение получено на смартфонах Samsung Galaxy различных модификаций и проанализирован разработанным приложением для обработки изображений. Полученное изображение показано на экране либо для обрезки изображения, либо для повторного использования, если это необходимо. Затем, выбранная область изображения количественно анализируют с помощью алгоритма вычисления суммарного показателя цвета RGB и опорного канала RGB. Затем RGB каналы усредняют по модельному уравнению, а усредненные RGB каналы индивидуально кластеризуют по оси Y с расстоянием до пикселя изображения по оси X. Наконец, результирующий показатель RGB определяли вычитанием усредненных RGB канала относительно эталонного изображения, что позволяет реализовать цветодиффузионную модель.

Чтобы продемонстрировать цветовые шакалы цветодиффузионной модели, мы представляем изображения колориметрических оптодов, полученные на смартфонах для понимания эффекта связи концентрации металлов в анализируемых объектах и цветовой насыщенности.

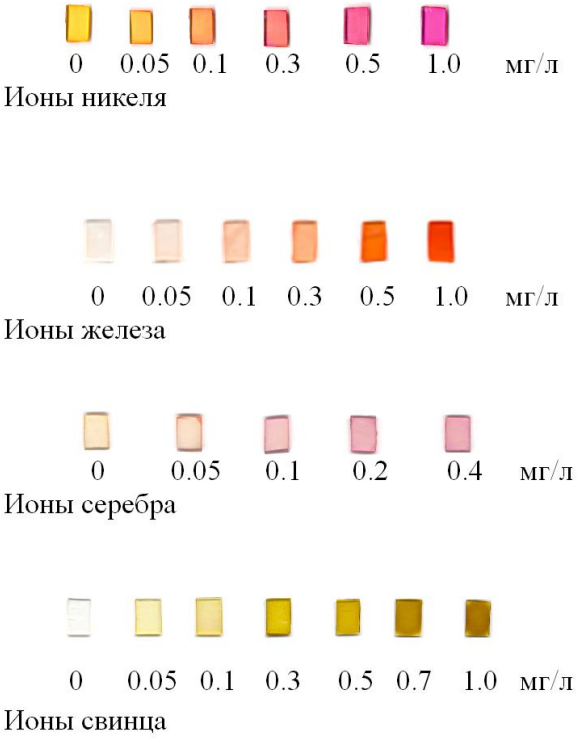


Рис.1. Изображения цветометрических шкал оптодов, полученных на разработанном приложении

Чтобы охарактеризовать корреляцию между цветом оптода и RGB изображения, оценки RGB каждого канала наносят на график относительно их суммы, характеризующей общий цвет колориметрического оптода. Базовая линия от изображения белой подложки использовалась в качестве эталона, а относительный вклад RGB для каждого канала определялся как разность между оцифрованного показателя канала и подложкой. Результат показывает, что относительный вклад RGB был пропорционален цветовому тренду, соответственно концентрации иона металла в исследуемом образце.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гавриленко Н.А. Полиметакрилатные колориметрические сенсоры.1. Ионы металлов. – СПб.: ХимИздат, 2016. – 143 с.
2. Gavrilenko N.A., Volgina T.N., Gavrilenko M.A. Colorimetric sensor for determination of thiocyanate in fossil and drill waters // Mendeleev Communication. – 2017. – Т. 27. – № 6. – С. 635–636.
3. Гавриленко Н.А., Саранчина Н.В., Федан Д.А., Гавриленко М.А. Твердофазно-спектрофотометрическое иодометрическое определение нитрита и селена (IV) с использованием полиметакрилатной матрицы // Журнал аналитической химии. – 2017. – Т. 72. – № 5. – С. 546–550.
4. Gavrilenko N.A., Gavrilenko M.A. Novel colorimetric sensor for determination of low molecular heparin // Mendeleev Communication. – 2017. – Т. 27. – № 4. – С. 419–420.

МЕТОД ЛАЗЕРНОЙ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ ДИАГНОСТИКИ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ МИОКАРДА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В УСЛОВИЯХ ОПЕРАТИВНОГО КАРДИОХИРУРГИЧЕСКОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА

Л.П. Цапко[1], А.В. Евтушенко[1], В.В. Евтушенко[1], В.П. Ципилев[2]
Научный руководитель: профессор, д.м.н. С.А. Афанасьев
[1] Научно-исследовательский институт кардиологии «Томский национальный исследовательский медицинский центр» Российской академии наук,
Россия, г. Томск, ул. Киевская, 111а, 634012
[2] Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: flu01@mail.ru

По современным данным ВОЗ в структуре заболеваемости, инвалидизации и смертности населения развитых стран мира лидируют болезни сердечно-сосудистой системы [1, 2].

В связи с этим, обоснован интерес врачей и исследователей к оценке состояния миокарда. В настоящее время в клинике состояние миокарда с различной степенью эффективности и достоверности оценивается при помощи таких методов исследования, как электрокардиография, импедансометрия, ультразвуковое исследование сердца, сцинтиграфия миокарда, магнитно-резонансная томография [2, 3]. Однако, «золотым стандартом» изучения состояния миокарда остается его морфологическое исследование (биопсия), недостатки которого (травматичность, длительное ожидание результата, опасность контаминации и т.д.) связаны с его инвазивностью.

Современный мониторинг состояния миокарда при оперативных вмешательствах в условиях искусственного кровообращения (ИК) представлен следующими методами: определение маркеров повреждения миокарда из системного и коронарного кровотока, pH-метрия, термометрия миокарда и др. [2, 3]. Все вышеописанные методы имеют ряд общих недостатков: изолированность точек анализа, длительность получения результатов и, как следствие, недостаточная информативность, приводящая к пагубным последствиям (станнинг, инфаркт) [2].

В связи с этим, остро встает вопрос о разработках новых методов неинвазивного «онлайн» мониторинга состояния миокарда, основанного на оценке метаболических изменений и морфологии его основных структур. Одним из таких методов является оценка функционального состояния миокарда на основе индуцированной лазерной флуоресценции (ИЛФ), который имеет хорошие показатели чувствительности и специфичности при работе на экспериментальных моделях [4, 5]. Вместе с этим, способность отображать результаты в «онлайн» режиме без разрушения структуры ткани позволяет относить ИЛФ к неразрушающим технологиям.

Однако до настоящего времени не было случаев применения данной технологии в клинических условиях реальной операционной для мониторирования функционального состояния миокарда и, соответственно, отсутствуют клинико-морфологические параллели с данными ИЛФ.

Практическая значимость: проведение исследования позволит заложить основу оценки функционального состояния миокарда в режиме реального времени, что может явиться абсолютно новым разделом оптической диагностики, по значимости сопоставимым с ультразвуковым, рентгеновским и магнитно-резонансными исследованиями.

Цель работы: разработать технологию неразрушающего контроля функционального состояния миокарда на основе метода лазерной флуоресцентной диагностики (ЛФД) в условиях оперативного вмешательства.

Задачи:

1. Адаптация оборудования оптической лазерной диагностики к условиям клинического применения.
2. Разработка технологии и алгоритмов исследования функционального состояния миокарда методом ЛФД.
3. Набор клинического материала для оценки зависимости изучаемых параметров ИЛФ от времени ишемии и реперфузии миокарда и глубины повреждения миокарда при радиочастотном воздействии.

Методы исследования:

Объектом исследования являются пациенты с показаниями к хирургическому лечению в условиях ИК. Критериями включения пациентов в обследование явились следующие показатели:

1. Возраст старше 18 лет.
2. Наличие органического сердечного заболевания, требующего хирургической коррекции в условиях ИК и фармакохолодовой кардиоплегии. Две группы пациентов:

– С ишемической болезнью сердца (ИБС);

– С приобретенными первичными пороками клапанов левых камер сердца.

3. Подписанное информированное согласие.

Критерии исключения пациентов из исследования: возраст менее 18 лет; признаки вторичной кардиопатии (ишемической или вальвулярной); повторные операции на сердце; полиорганная недостаточность; фракция изгнания левого желудочка менее 40%; декомпенсированная коморбидная патология; острый коронарный синдром; слипчивый перикардит; комбинированные и гибридные процедуры на открытом сердце; отказ от участия в исследовании.

Для выполнения поставленных задач в условиях оперативного вмешательства с целью «онлайн» мониторирования функционального состояния миокарда использовался метод ЛФД. Метод основан на регистрации спектра вторичного излучения (флуоресценция) ткани при ее зондировании лазерным излучением на длине волны, соответствующей длине волны максимального поглощения излучения определенным ферментом. Для возбуждения флуоресценции ферментов миокарда применялся источник в УФ-спектре с длиной волны 365 нм. Это позволяет оценивать интенсивность излучения флуоресценции следующих показателей: коллаген (420 нм), эластин (450 нм), НАД-Н (490 нм), пиридоксин (525 нм), флавины (550 нм), липофусцин (570 нм), каротин (608 нм).

Для оценки флуоресценции применялся коэффициент флуоресцентной контрастности биоткани, определяемый по формуле:

$$K_f = 1 + (I_f - I_l)/(I_f - I_l),$$

где: $\boldsymbol{I_f}$ *– максимум (пик) интенсивности в линии флюоресценции фермента,* $\boldsymbol{I_l}$ *– максимум интенсивности в лазерной линии возбуждения.*

Для проведения клинико-морфологических параллелей с данными метода ЛФД использованы методы по определению кислотно-щелочного состава артериальной и венозной крови, биохимических маркеров крови из коронарного синуса до и после кардиоплегии, гистологический анализ биоптатов интактного миокарда и с разной степенью повреждения.

Результаты: проведена работа по адаптации действующей экспериментальной установки и ее комплектующих к клиническим условиям кардиохирургического вмешательства. Создана насадка для зонда аппарата оптической лазерной диагностики, позволяющая выполнение исследовательской работы в стерильных условиях операционной, не изменяющая параметры исходящего сигнала УФ-спектра и флуоресценции ткани миокарда. Разработана технология и последовательный алгоритм исследования функционального состояния миокарда методом ЛФД.

Начат набор клинического материала («first-in-man») по двум группам пациентов с ИБС и приобретенными первичными пороками клапанов левых камер сердца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оганов Р.Г. и др. Эпидемиология артериальной гипертонии в России. Результаты федерального мониторинга в 2003-2010гг. // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2011. – №1. – С.9–13.

2. Бокерия Л.А., Гудкова Р.Г. Сердечно-сосудистая хирургия – 2014. Болезни и аномалии системы кровообращения. – М.: НЦССХ им. А.И. Бакулева РАМН, 2015. – 226 с.

3. Шальнова С.А., Деев А.Д. Ишемическая болезнь сердца в России: распространенность и лечение (по данным клинико-эпидемиологических исследований) // Тер.архив. – 2011. – №1. –С. 7–12.

4. Шляхто Е.В. Молекулярные и генетические аспекты сердечной недостаточности при сахарном диабете // Вестник РАМН. –2012. – № 1. – С.31–37.

5. Сергеева Е.А., Крутицкий С.С. и др. Диагностическая значимость оптической биопсии миокарда для оценки выраженности ишемического и реперфузионного повреждения // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. – 2016. – Т. 5. – № 3. – С. 10–15.

УФ-ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ПРИМЕСНЫХ ЛЮМИНОФОРОВ НА ОСНОВЕ YAG:Ce

Цзюй Янян, В.А. Ваганов, А.Т. Тулегенова, С.А. Степанов
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н., В.М. Лисицын
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: tulegenova.aida@gmail.com

Как новое поколение источников света, люминофоры, преобразующие УФ излучение в видимый белый свет, привлекают все большее внимание в академических и промышленных областях благодаря таким преимуществам, как длительный срок службы, экономия энергии, высокая эффективность и экологичность [1,2]. Для того чтобы люминофор эффективно преобразовал УФ ссвет в видимое он должен поглатить больше энергии возбуждения чтобы в последующем отдать ее центрам свечения. Поэтому очень важно знать о передачи энергии, избытки энергии возбуждения расходуемое на тепло для реализации лучших оптических требований. Не мало важным является изучение дефектов в исследуемых материалах, так как они изучаются в меньшей степени.

В настоящей работе рассматриваются спектральные характеристики люминесценции разных по составу люминофоров

Методы исследования и образцы

Для исследования оптических свойств алюмо-иттриевого граната легированным различными модификаторами были выбраны люминофоры серии MG 397 2W S800, L-2083-2+L 2085-1 S1000 и AWS 5 90818-1. Все исследованные люминофоры имеют широкий спектр люминесценции от 300 до 600 нм при возбуждении излучением от 200 до 500 нм. Спектры люминесценции и возбуждения были измерены с помощью спектрофотометра Cary Eclipse фирмы «Аджилент» в диапазоне спектра от 200 до 800 нм. Элементный состав образцов определялся на СЭМ–е «Quanta3D 200i», включающий в себя систему микроанализа, энергодисперсионного анализа, с энергией электронного пучка 15 кэВ. Результаты определения элементного состава люминофоров приведены в табл.1. Измерение энергетического выхода люмонофоров осуществялось с помощью интегрирующей сферы.

Таблица 1 - Элементный состав люминофоров

Люминофор	Y	Al	O	Ba	F	Ce	Mg	Eu	Si	Na
MG-397 2 W S800	12.46	26.77	60.77			+				
AWS 5 90818-1	12.32	25.04	61.09			+		1.55		
L-2083-2+L-2085-1s1000	10.46	4.40	45.72	3.06	13.48	0.27	9.80		9.86	2.93

Спектры возбуждения и люминесценции люминофора YAG:Ce

Спектры возбуждения люминесценции люминофоров MG 397 2W S800, L-2083-2+L 2085-1 S1000 и AWS 5 90818-1 приведены на рис.1. Спектр ФЛ образцов представляет собой широки диапазон излучения от ближнего УФ до видимого желтого. Возбуждается люминесценция в диапазоне спектра от 200 до 500 нм. В спектре возбуждении наблюдаются полосы возбуждения люминесценции с максимумами на 250, 280, 290 нм на 315-380нм люминесценции. Как видно из спектров, спектр возбуждения люминесценции на 540 нм отличается от остальных двух.

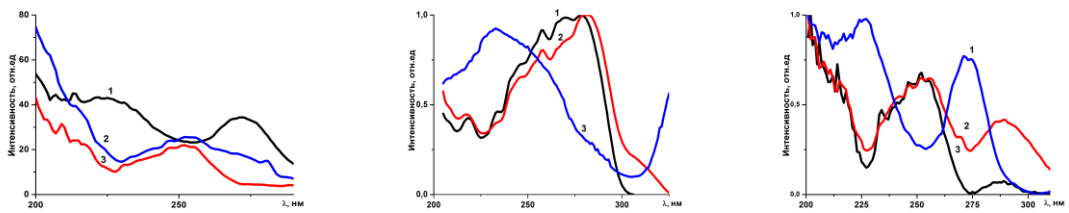


Рис.1. Спектры возбуждения люминесценции люминофоров MG 397 2W S800, AWS 5 90818-1 и L-2083-2+L 2085-1 S1000

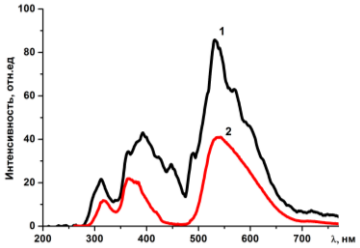


Рис.2. Спектр люминесценции люминофора MG 397 2W S800

На рис.2. представлены спектры люминесценции люминофора MG 397 2W S800 в УФ области. При возбуждении излучением а области от 200-300 нм появляются две дополнительные перекрывающиеся полосы. На рис.2. приведены спектры люминесцнции MG 397 2W S800 при возбуждении излучением на 210 и 260 нм. В спектре люминесценции при возбуждении излучением от 340 до 500 нм наблюдается одна полоса максимумом 535 нм при возбуждении излучением от 200-300 нм дополнительно к основной полосе на 535 нм, наблюдается еще две полосы в УФ области с максимумами на 315 и 380 нм.



Рис.3. Спектр люминесценции люминофоров L-2083-2+L 2085-1 S1000 и AWS5 90818-1

Такая же полоса имеется у L-2083-2+L 2085-1 S1000 и AWS 5 90818-1. Но при возбуждении излучением на 250 нм в спектре люминесценции у L-2083-2+L 2085-1 S1000 и AWS 5 90818-1 (рис.3.) полоса люминесценции немного смещена с максимумами на 325 и 363 нм.

Как интенсивность излучения, так и длина волны зависят от локальной структуры и распределения в нем легированных элементов. Случайное распределение ионов Ce3 + в решетке $Y_3Al_5O_{12}$: Ce может привести к определенному искажению (изменению) элементрной ячейки, что значительно влияет на пошывение квантового выхода [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аладов А.В., Васильева Е.Д., Закгейм А.Л., Иткинсон Г. В., Лундин В.В., Мизеров М.Н., Устинов В.М., Цацульников А.Ф. О современных мощных светодиодах и их светотехническом применении // Светотехника.- 2010, -№ 3.- Стр. 8-16.
2. Yu. Zorenko, E. Zych, A. Voloshinovskii. Intrinsic and Ce3+-related luminescence of YAG and YAG:Ce single crystals, single crystalline films and nanopowders // Optical Materials 31 (2009) 1845–1848pp.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВАНИЯ ЛЮМИНОФОРА ПРИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЧИПА

Рымхан Ауганбай Муратулы, Цзюй Янян
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.М. Лисицын
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: lisitsyn@tpu.ru

Введение

Светодиоды постепенно замещают другие источники света в освещении, осветительных приборах [1,2]. Источники света на основе светодиодов имеют высокую световую отдачу, большой срок службы. В основном светодиоды «белого» света представляют собою чипы, излучающие в синей области спектра, с нанесенным на них люминофором, частично преобразующим это излучение в длинноволновое. Наибольшее распространение получили люминофоры на основе иттрий-алюминиевых гранатов (ИАГ, $Y_3Al_5O_{12}$, активированные церием излучения [3,4]. Эти люминофоры обеспечивают высокий выход преобразования УФ и синего излучения в видимое в области 500 – 650 нм. Существенным представляется то, что люминесценция в них возбуждается излучением в области 460 нм, на которую приходится максимум излучения эффективных чипов на основе InGaN. Результирующий «белый» свет таких светодиодов является комбинацией частично прошедшего «синего» света чипа и люминесценции . Эффективность преобразования излучения чипа люминофором в основном определяются светотехнические характеристики светодиодного источника света.

Преобразование в светодиоде УФ или синего излучения чипа в видимое люминофором сопровождается его нагреванием. В [5] показано, что не менее 25-30% энергии возбуждения чипа с максимумом излучения в области 450 нм, поглощенная люминофором, теряется на нагревание люминофора. Для УФ чипа с максимумом излучения в области 365 нм на нагревание люминофора расходуется до 40 % поглощенной энергии. Очевидно, столь большая величина потерь энергии не только ограничивает предельное значение эффективности преобразования. Нагревание приводит к температурному тушению люминесценции. Поэтому необходима оценка значений предельных температур, до которых люминофор нагревается, кинетики нарастания температуры люминофора, связи этих параметров с теплофизическими характеристиками люминофора, композита на его основе, геометрических характеристик кристалла люминофора, слоя композита.

Экспериментальная оценка температуры кристаллов люминофора затрудняется их малыми размерами, сложной формой, многовариантностью отвода тепла от частицы в реальных условиях. Поэтому представляется перспективной разработка подходов к теоретической оценке предельных значений температуры, до которой люминофор нагревается и времени его нагревания при преобразовании излучения чипа.

Результаты расчетов

Геометрическая модель для расчета представляла собою следующее. На частицу люминофора в виде куба со стороной 0,01 мм падал тепловой поток в виде параллельного пучка от источника излучения в виде параллелепипеда размером 0,02x0,02x0,01мм. Плотность подводимой к люминофору тепловой мощности варьировалась в пределах 40–180 кВт/м2. Диапазон мощности выбран из следующих соображений: чип мощностью 1 Вт генерирует излучение с плотностью около 0,4 Вт/мм^2, 25% которого передается в виде тепла люминофору. В расчетах предполагалось, что излучающая поверхность чипа – абсолютное черное тело. Переданное люминофору тепло полностью им поглощалось. Коэффициент теплового излучения люминофора принимался равные нулю, так как ожидаемая температура нагрева невелика. Расстояние между излучающей поверхностью чипа и передней поверхностью люминофора было принято равным 0,01 мм.

В настоящей работе для расчетов использовался модуль Flow Simulation, интегрированный в систему SolidWorks. Для расчетов были использованы следующие значения параметров: плотность люминофора 4560 кг/м^3, удельная теплоемкость – 590 Дж/кг К, коэффициент теплопроводности – 14 Вт/м К, коэффициент поглощения – 100 мм$^{-1}$. Тепловой расчет проводился при температуре

окружающей среды 20°С. Вся система находится в открытой атмосфере: давление 101325 Па, скорость воздушного потока 0 м/с, влажность 50 %.

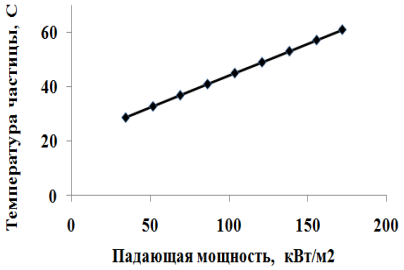


Рис.1. Зависимость предельной температуры нагревания люминофора при преобразовании потока возбуждения от плотности мощности падающего потока тепла.

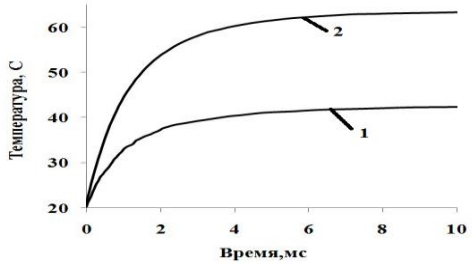


Рис.2. Кинетика нарастания температуры люминофора со временем возбуждения при мощности потока возбуждения 1-85квт/м^2; 2-175 квт/м^2.

Были рассчитаны величины предельной температуры, до которой нагревалась частица люминофора при поглощении потока излучения. В светодиоде, как было сказано выше, при преобразовании потока возбуждения люминофором около 25 % передается ему в виде тепла. Люминофор имеет достаточно высокую теплопроводность, поэтому в расчетах предполагалось, что теплоотвод конвекцией через воздух осуществлялся со всей поверхности частицы. Поглощенному потоку $1 \cdot 10^5$ Вт/м^2 в люминофоре соответствует поток возбуждения 0,4 Вт, который обычно генерируется чипом мощностью 1 Вт. Как показали расчеты, при работе светодиода при температуре 20 С люминофор разогревается до температуры 44 С. Результаты расчетов приведены на рис.1 и 2. На рис.1 приведена зависимость предельной температуры нагревания люминофора от величины поглощенной мощности. С ростом мощности потока возбуждения температура растет в исследованной области линейно и достигает при поглощенной мощности потока возбуждения 180 кВт/м^2 величины, равной 63 С.

На рис. 2 приведена рассчитанная зависимость нарастания температуры со временем воздействия потока возбуждения. Температура частицы люминофора быстро нарастает и достигает предельной величины за время около 0.01 с. Скорость нарастания температуры ниже при низких значениях плотности потока возбуждения.

Заключение

Потери энергии возбуждения в люминофоре при преобразовании в люминесценцию приводят к нагреванию люминофора. Величина нагрева люминофора в реально выпускаемых светодиодах может достигать 60 С. Очевидно, предельная температура нагрева будет определяться процессами теплоотвода. Это обстоятельство следует учитывать при создании люминофорного композита. Полимер, на основе которого делается композит, должен иметь максимально возможную теплопроводность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальчина Н.А., Гофштейн-Гардт А.Л., Коган Л.М., Сощин Н.П. Мощные белые светодиоды со световой отдачей до 120 лм/Вт и изделия на их основе // Светотехника. – 2010. – № 4. – С. 51–53.
2. Аладов А.В., Васильева Е.Д., Закгейм А.Л., Иткинсон Г. В., Лундин В.В., Мизеров М.Н., Устинов В.М., Цацульников А.Ф./ О современных мощных светодиодах и их светотехническом применении// Светотехника.- 2010, -№ 3.- Стр. 8-16.
3. Брискина Ч.М., Румянцев С.И., Рыжков М.В., Сощин Н.П., Спасский Д.А..Поиск оптимальных составов гранатовых люминофоров с Ce3+ для белых светодиодов «Светотехника», 2012, № 5, стр 37-39.
4. Ke Li, Changyu Shen. White LED based on nano-YAG:Ce3+/YAG:Ce3+,Gd3+ hybrid phosphors. Optik 123 (2012) 621– 623.
5. Lisitsyn V. M., Stepanov S. A., Ju Yangyang, Lukash V. S. White LEDs with limit luminous efficacy // AIP Conference Proceedings. – 2016 – Vol. 1698. – P. 060008

СЕКЦИЯ 3

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ

SYNTHESIS OF 2’’-(2-(PHENYLAMINO)ETHOXY)-PAROMOMYCIN

D.L. Avetian[1]
Scientific advisors: assistant professor, PhD E.V. Stepanova[1]; professor, PhD K. Parkan[2]
[1]National Research Tomsk Polytechnic university, Russia, Tomsk, Lenina avenue, 30, 634050
[2] University of Chemistry and Technology, Czech Republic, Prague, Technická street, 5, 166 28
E-mail: ave.dave@mail.ru

The Human Immunodeficiency Virus (HIV) is a causative agent of Acquired Immune Deficiency Syndrome (AIDS). To become infectious, viral particles must undergo maturation (i.e. cleavage of viral polyproteins – Gag and Gag Pol – into functional proteins). This process is mediated by HIV protease (HIV PR): several sites in the Gag region are cleaved in cis, then the HIV PR can be cleaved off from the precursor and complete the polyprotein cleavage into functional proteins giving rise to mature, infectious viral progeny [1].

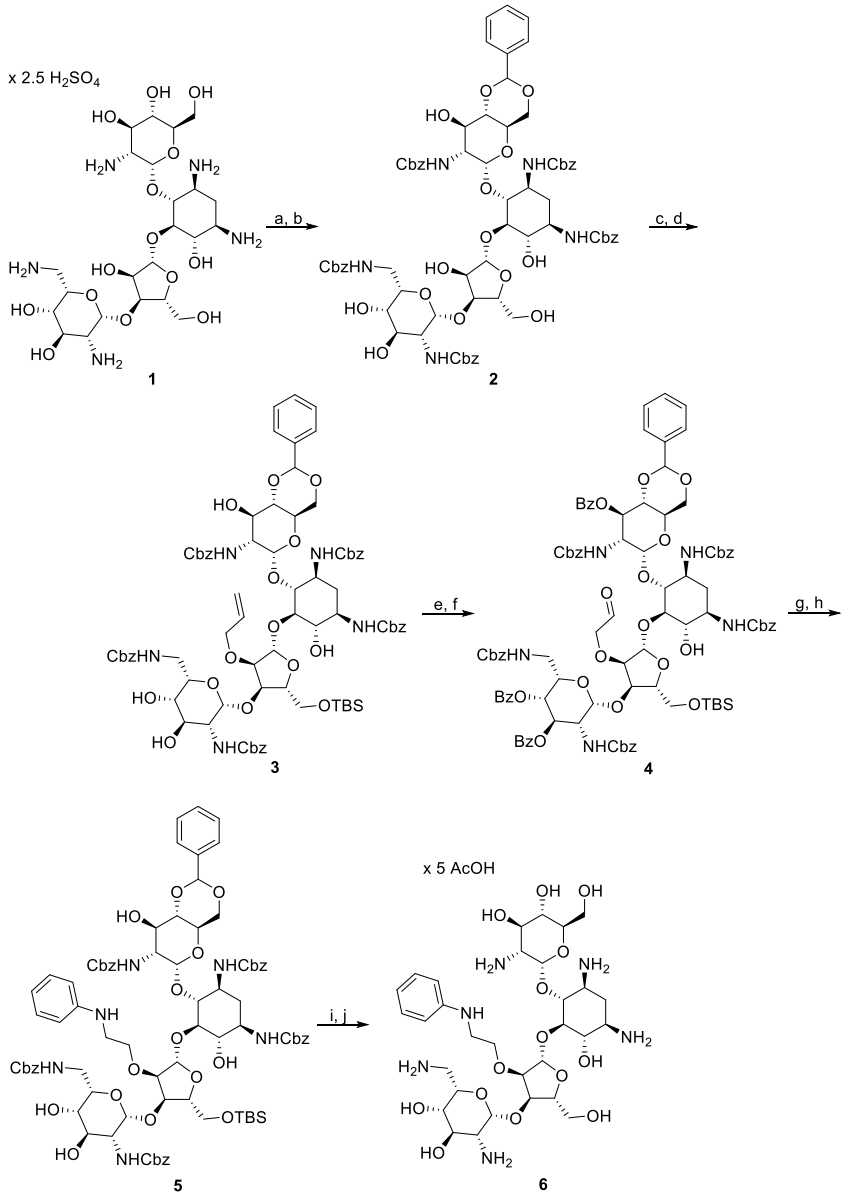


Fig. 1. Scheme of 2’’-(2-(phenylamino)ethoxy)-paromomycin **6** synthesis: (a) CbzCl, Na_2CO_3, $NaHCO_3$, THF/H_2O, RT, 3 h; (b) benzaldehyde, TFA, RT, 14 h; (c) TBDMSOTf, 2,4,6,-trimethylpyridine, THF/H_2O, RT, 24 h, (d) allyl iodine, KHMDS, THF, RT, 24 h; (e) BzCl, Py, RT, 14 h; (f) 1. O_3, CH_2Cl_2, –78 °C, 2. Me_2S, CH_2Cl_2, from –78 °C to RT, 72 h.; (g) benzylamine, AcOH, $NaBH_3CN$, THF, RT, 24 h; (h) MeONa/MeOH; (i) 80% AcOH, 60 °C, 3 h; (j) H_2, $Pd(OH)_2$/C, 80% AcOH

Competitive HIV PR inhibitors are used clinically against HIV infection. Development of drug resistance against these compounds is a common problem and novel compounds are sought after. Allosteric modulators which bind to a site outside the enzyme active site represent an interesting alternative. Thus, the aim of this project is to identify a lead compound targeted beyond the active site of HIV PR.

Virtual screening method was used to find ligands binding out of the HIV PR active site**.** The screening was performed with Schrodinger Glide (v. 2015.4) HIV-1 PR was screened against drugbank database (ver. 4.3) in high throughput mode (HTVS). Highest ranked 300 hits were taken for a next round of docking with a standard precision option. 25 compounds were selected manually and evaluated by Glide XP scoring function. Based on experimental data, analogs of positive hits were selected from ZINC15 database (Tanimoto index threshold of 0.6). These analogs were scored via Glide XP scoring function. The virtual screening (VS) yielded several hits with significantly higher score than for original ligand-receptor complex. One of them – 2''-(2-(phenylamino)ethoxy)-paromomycin – was selected for organic synthesis and further testing.

To obtain the chosen product commercially available paromomycin sulfate **1** (*fig. 1*) was firstly protected with the use of benzyl chloroformate that selectively protects amines. The reaction was performed in mixture of THF and water with sodium carbonate/sodium bicarbonate buffer for 3 h [2]. The product was recrystallized from hexane and used in protection with benzaldehyde, which was performed with trifluoracetic acid to yield the compound **2** [3]. Further reaction was performed to protect the only remaining primary hydroxyl of **2** with *tert*-butyldimethylsilyl to obtain the corresponding product compatible to functional modification performed with allyl iodine and KHMDS, which allows us to selectively protect only 2"-hydroxyl, to yield ether **3** [4]. The next step was performed to protect the remaining free hydroxyls from reduction, to which purpose benzoyl chloride was used [4]. After that, protected compound was ozonated at –78°C and treated with MeS_2 afterwards to obtain the aldehyde **4** [4]. On the next step, sequentially reductive amination with benzylamine and deprotection with MeONa in MeOH were performed to yield benzylamine derivative **5**, which was to be further deprotected with acetic acid and then reduced with hydrogen on $Pd(OH)_2/C$ in acidic conditions to yield the final product **6** in form of acetic acid salt [4].

Thus, in this work, 2''-(2-(phenylamino)ethoxy)-paromomycin **6** was synthesized. Its sample was send to further examination as a ligand for allosteric modification of HIV PR in Czech Academy of Sciences.

REFERENCES

1. Weber I.T., et al. Highly resistant HIV-1 proteases and strategies for their inhibition // Future Med. Chem. – 2015. – T. 7 – №8 – P. 1023–1038.
2. Pat. WO 2011/044501 A2 US. Antibacterial Aminoglycoside Analogs / Aggen J.B. Filed 08.10.2010. Published 14.04.2011 – 170 p.
3. Pat. WO 2011/044538 A1 US. Antibacterial Aminoglycoside Analogs / Aggen J.B. Filed 08.10.2010. Published 14.04.2011 – 345 p.
4. Hanessian S., et al. Structure-Based Design, Synthesis, and A-Site rRNA Cocrystal of Functionally Novel Aminoglycoside Antibiotics: C2" Ether Analogues of Paromomycin // J. Med. Chem. – 2007. – T. 50. – P. 2352–2369

CO-DELIVERY OF DNA-ALKYLATING DRUGS BY CHITOSAN-FOLIC ACID NANOCOMPLEXES FOR MULTIDRUG CANCER THERAPY

A. Di Martino[1,2], S.S. Vlasov[1], P.S. Postnikov[1]
[1]National Research Tomsk Polytechnic University, Lenin Av. 30, 634050, Tomsk, Russian Federation
[2]Centre of Polymer Systems, University Institute, Tomas Bata University in Zlin, Tr. T. Bati 5678, 760 01 Zlin, Czech Republic
E-mail: dimartino@tpu.ru

Cancer remains one of the most devastating diseases threatening public health, causing high mortality worldwide every year. For decades, chemotherapy has served, in combination with surgery, as the preferred treatment. [1,2]. However, conventional chemotherapeutics lack selectivity and inevitably damage healthy cells and tissues with evident toxicity. Delivering adequate doses of the pharmaceutical agent to specific sites in the body promotes a drug action where required, which results in a significant decrease of side effects. Targeted delivery has the potential to revolutionise current anticancer treatments and improve the clinical outcomes [3,4]. Active targeting of therapeutics to cancer tissue normally involves linking or load the therapeutic agent to a carrier, such as nanoparticles, with a targeting small molecule or ligand that can be recognised and interact with receptors expressed on the target tissue. Several targeting moieties have been investigated, including antibodies or specific ligands, as transferrin, glycyrrhetinic acid, aptamers, galactose, mannose and peptides (Arg-Gly-Asp) [5]. Among all, a folic acid conjugation is a popular approach facilitating the entry of the therapeutic into tumour cells by receptor-mediated endocytosis.

In the presented work, chitosan (CS) has been conjugated with folic acid (FA) and complexed with alginate (ALG) to develop nanocomplexes able to load simultaneously two model DNA-alkylating agents; temozolomide (TMZ) and doxorubicin (DOX); control their release and improve their therapeutic efficacy and selectivity towards cancer cells. The use of FA as a targeting moiety has the potential to achieve targeted delivery and improve the efficiency of carrier internalization, whilst bypassing cancer cell multidrug-efflux pumps.

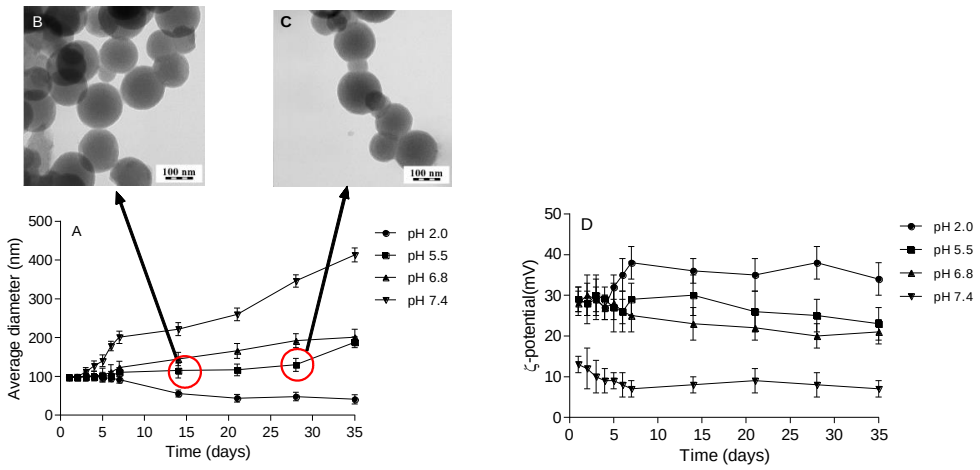


Fig. 1. Evaluation of nanocomplexes dimension over time at different pH. A) Average dimension trend; TEM micrograph of nanocomplexes in solution pH 5.5 after B) 14 days and C) 28 days

The CS-FA-ALG system shown dimension and ζ-potential in the range 70–120 nm, and 30-35mV, respectively, with high stability in physiological condition. Up to 800 g per mg of carrier of drugs were loaded with a weight ratio close to 1. In vitro release patterns demonstrate a two phases controlled release with a pH dependent trend. The possibility to modulate the intensity of the initial burst and the release rate by changing the pH represents an advantage rather than confirm the high versatility of the system. The absence of interference between DOX and TMZ in all phases, from loading to release stand out as important findings. In vitro cytotoxicity studies confirmed the increase of the drugs cytotoxicity and their synergic effect when administered using the carrier compared to the free formulation. Comparing the cell viability results between

FR overexpressing cells and not a significate reduction was observed in the first when CS-FA nanocomplexes were used confirming the importance of labelling. The serum stability studies prove that the prepared formulations were stable and the hemolysis analysis discloses the blood compatibility of the formulations.

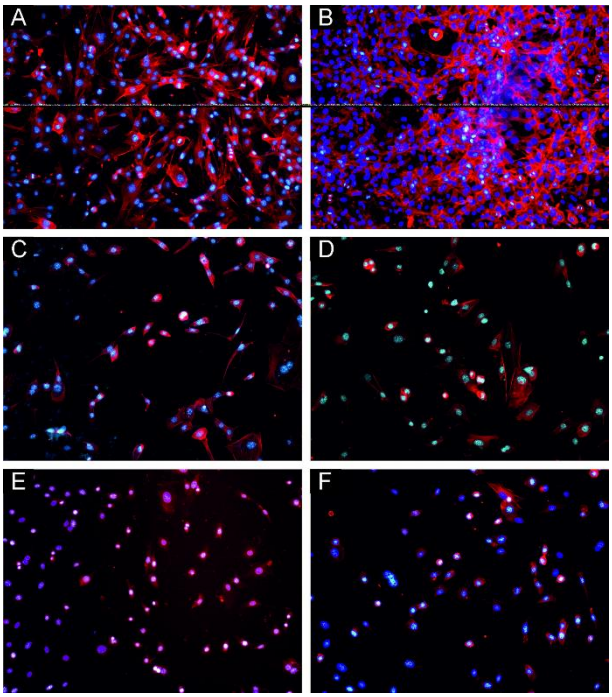


Fig. 2. Inverted fluorescent microscopy of NIH/3T3 cells after 24 h of incubation with A) CS, B) CS-FA, C)CS+DOX, D) CS-FA +DOX, E)CS+ (DOX+TMZ) and F) CS-FA + (DOX+5FU)

REFERENCES

1. L. Kelland - Nature Reviews Cancer.- 2007.- 7,8.- 573-584.
2. C.L. Chaffer, R.A.Weinberg. -Science.-2011. 331-6024.-1559-1564.
3. T. Kang, F. Li, S. Baik, W. Shao, D. Ling, T. Hyeon.-. Biomaterials – 2017.- 136, 98-114.
4. Y. Zhang, C. Deng, S. Liu, J. Wu, Z. Chen, C. Li, W.Lu. - Angewandte Chemie International Edition. 2015 - 54, 17.- 5157-5160.
5. T.Stephanie, T.-C. Karagiannis.- Current drug delivery.-2014.- 11,4 -427-443.

FLOTATION SELECTION OF ELEMENTARY SULFUR FROM AUTOCLAVE CAKES AFTER LOW-TEMPERATURE LEACHING OF THE STEERING OF THE PYRINT GOLD-CONTAINING CONCENTRATE

Svetlana Alexandrovna Ivanik, Vodkailo Ekaterina Gabrielovna
Saint-Petersburg mining university
2, 21st Line, St Petersburg 199106, Russia
ivanik_sa@spmi.ru, ek.vodkailo@spmi.ru

In recent decades, there has been a trend in the gold mining industry - involving in processing poor and, at the same time, quite difficult to dissect stubborn gold-bearing raw materials, including pyrite ores and concentrates. Processing of ores and concentrates in which finely divided gold is associated with sulphide minerals, for example pyrite or arsenopyrite, requires significantly more complex proceses, including operations of gravity and flotation enrichment, roasting, leaching, melting. At present, the possibility of reducing the oxidation parameters of sulphide materials and the use of technology based on low-temperature leaching are being considered. The leaching of sulphide minerals, such as pyrite and arseno-pyrite in an acidic medium, can proceed according to two competing reactions: with the formation of a sulfate ion or with the formation of elemental sulfur. The relatively low temperature of the leaching process (110-120˚C) implies the formation of a significant amount of elemental sulfur, which is highly undesirable, because at temperature above 112˚C, sulfur melts, enveloping particles of fine-grained sulphide minerals (primarily pyrite) in gold, not allowing them to completely pass through the process of oxidation, forming an insoluble residue. If a significant amount of gold is associated with sulphides, it will not be opened during the leaching process and will not be extracted further into the cyanide solution. Also, the entry of sulfur into the cyanidation cycle is accompanied by its interaction with cyanide, which increases the consumption of the latter several times. It is possible to use flotation isolation of elemental sulfur from autoclave cakes after low-temperature oxidative processing of pyritic concentrate in order to obtain dumps for elemental sulfur content, and to reduce the quantity of equipment in subsequent operations.

The flotation process, as well as its results, largely depend on the mineralogical composition, the fineness of the impregnation, the granulometric characteristics of the solid phase, the pulp density and temperature, the composition of the aqueous phase, and the reagent regimen and design characteristics of the flotation machine. Mineralogical composition of cakes after low-temperature autoclave oxidation leaching: 44% quartz, 17% hydrojarosite, 2-3% sulphide minerals (chalcopyrite, galena, stibnite), there are individual grains of pyrite, muscovite and kaolinite. The content of elemental sulfur is in the range from 6 to 7%, represented, in part, by round granules measuring 15-40 μm and lumpy precipitates up to 50 μm in size, some part of elemental sulfur is in submicroscopic state and in mixture with jarosites, clayey substance and residual sulphides. Studies on the flotation processing of autoclave cake after low-temperature oxidative leaching of the persistent pyrite gold-bearing concentrate were carried out according to a single technological scheme, shown in Fig. 1, with varying process parameters.

Technological parameters of conducting a series of experiments on the flotation of elemental sulfur from autoclave cakes: the solid content in the initial pulp is 15%; Flotation reagents-methylisobutylcarbinol or MIBK (collector and foaming elemental sulfur), liquid glass (the depressor of the bulk of nonmetallic minerals), a solution of potassium permanganate KMnO4 (depressant of rutile, titanium, stibnite), a mixture of lime CaO and sulfuric sodium (In the ratio of 2: 1); The total consumption of reagents in the flotation cycle is 200-600 g / t methylisobutyl carbinol, 250-525 g / t liquid glass; The pH of the initial pulp is 2-12. A series of flotation studies were carried out in a laboratory machine of the pneumo-mechanical type of FMZ brand with a chamber of 0.75 liters capacity, the rotor speed of the machine was about 2000 rpm, air was supplied to the flotation machine chamber.

As the studies have shown, gold is distributed among the flotation products in proportion to the distribution of elemental sulfur, although its extraction in the total concentrate is less important than the elemental sulfur. Dependences of gold extraction depending on the distribution of elemental sulfur on flotation products are presented in Figures 2 and 3. During the studies, the dependence of gold losses on extraction and content of elemental sulfur in flotation dumps was established. These dependencies are shown in Figures 4 and 5.

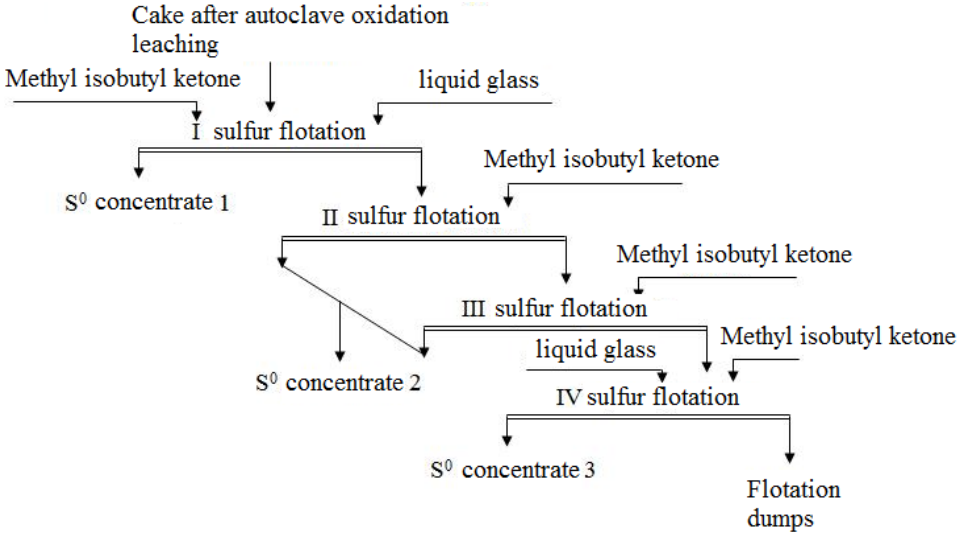


Fig. 1. Technological scheme of flotation of elemental sulfur from autoclave cakes after low-temperature oxidative leaching of pyrite concentrate

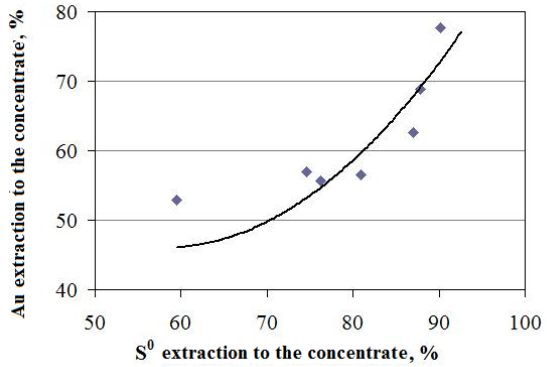


Fig. 2. Dependence of gold extraction in the concentrate from extraction of elemental sulfur in the concentrateт

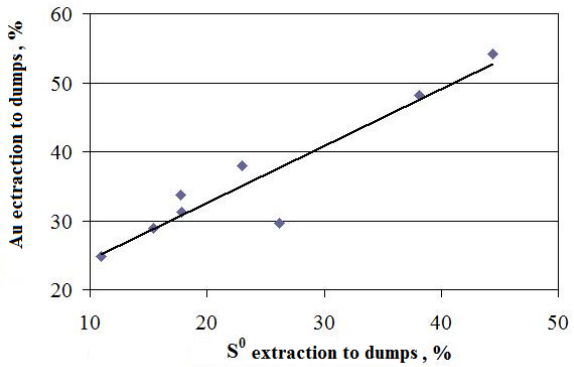


Fig. 3. Dependence of gold extraction in tails from extraction of elemental sulfur in dumps

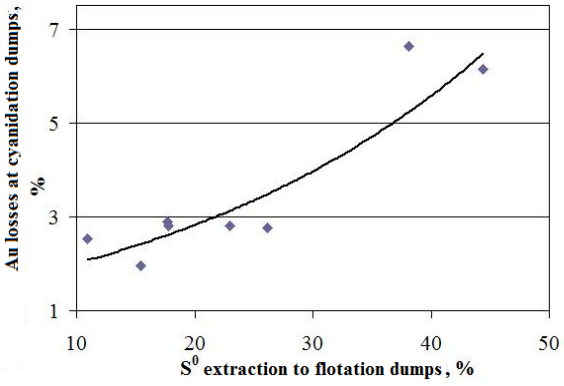


Fig. 4. Dependence of gold losses on cyanidation tails on the extraction of elemental sulfur in dumps of flotation

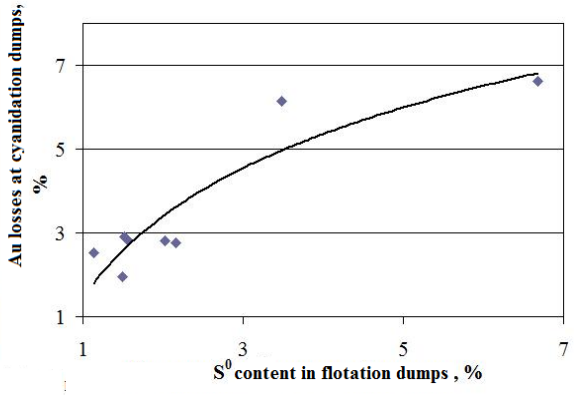


Fig. 5. Dependence of gold losses on cyanidation tails on the extraction of elemental sulfur in dumps of flotation

Thus, an increase in the consumption of reagents at a higher pH of the pulp leads to a decrease in the elemental sulfur content in the dumps of flotation to 1.13 %, but in the total flotation concentrate the sulfur content is low and amounts to only 15.2 %. As a result of the series of flotation treatment of the auto-cake, it was possible to reduce the content of elemental sulfur in flotation tailings from 6 to 3.5 %, which makes it possible to carry out the subsequent cyanidation process with acceptable parameters, while the gold content in the tailings after the cyanidation process Is about 1 g/t.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА СЕМЯН ПШЕНИЦЫ

А.А. Исемберлинова, А.В. Полосков, С.А. Нужных, А.А. Курилова
Научный руководитель: научный сотрудник лаборатории №1, д.т.н. Г.Е. Ремнев
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: asem1703@mail.ru

Главной задачей сельскохозяйственного производства являются повышение качества урожая, стимуляция предпосевных качеств семян сельскохозяйственных культур с помощью современных физических методов обработки.

Радиационная обработка пищевых и сельскохозяйственных продуктов широко применяется в мире для: предпосевной обработки семян различных культур, профилактике болезней, для задержки прорастания и созревания плодов, для увеличения срока хранения зерна и срока годности пищевых продуктов [1].

В данной работе мы рассматриваем влияние импульсных электронных пучков на посевные качества семян пшеницы сорта Иргина. Обработка семян электронами является экологичным методом, не требующим использования дополнительных химических реагентов. При такой обработке зародыш зерна может оставаться нетронутым, так как воздействие оказывается на поверхностные слои. В работе представлены результаты обработки семян пшеницы сорта Иргина импульсным электронным пучком [2] в диапазоне поглощенных доз от 0,1 Мрад до 1 Мрад, при разной глубине обработки. Для обработки семена пшеницы помещались в конверт из алюминиевой фольги и фиксировались в нем (рис. 1). Это необходимо для последовательной обработки зерна с двух сторон и для снижения вероятности вторичного загрязнения зерна.

Результаты проращивания обработанного зерна приведены на рис. 2. Установлено, что ухудшение всхожести при режиме обработки 200 кэВ наблюдается после 0,7 Мрад, при режиме 305 кэВ после 0,1 Мрад, причем начиная с 0,2 Мрад всхожесть равна 0.

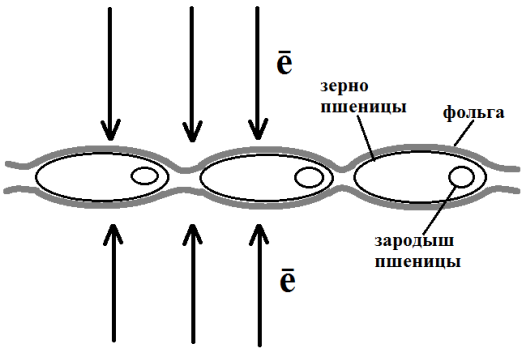


Рис. 1. Схема обработки семян в конвертах с фольги

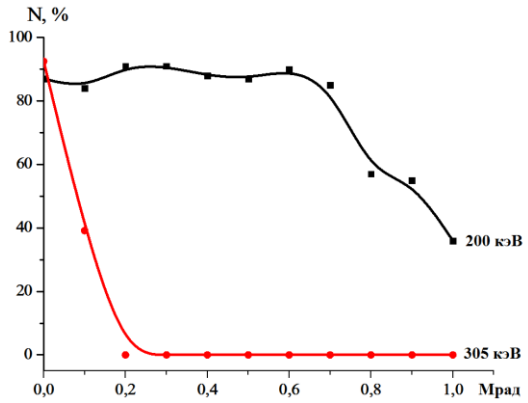


Рис. 2. Всхожесть семян

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обработка посевного материала электронами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.fep.fraunhofer.de/content/dam/fep/en/documents/Produktflyer/K12_Elektronenbehandlung%20von%20Saatgut_RU_net.pdf. – 19.07.17.
2. Egorov I.S., Remnev G.E., Kaikanov M.I. и др. Repetitive source of pulsed electron beams // Известия высших учебных заведений. Физика. - 2012. - Т. 55. - № 10-3. - С. 58-60.

ИССЛЕДОВАНЕ СОРБЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ИОНОВ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД С ПОМОЩЬЮ КОМПОЗИТНОГО БИОСОРБЕНТА

А.С. Буянкина
Научный руководитель: к. м. н., доцент кафедры БИОХ М. В. Чубик
Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: lina.buyankina@mail.ru

Во всем мире в связи с бурным развитием промышленности проблемы охраны окружающей среды становятся все более и более актуальными. Эксплуатация АЭС является одной причин образования большого количества радиоактивных отходов. Решить эту проблему можно с помощью разработки экономически выгодного и эффективного метода очистки загрязненных водоемов от ионов вредных металлов. Предельно допустимая концентрация (ПДК) для растворимых соединений урана составляет 0,01 мг/л, уран относят к первому классу опасности [1].

В качестве компонента композитного сорбента нами были выбраны плесневые грибы Aspergillus niger, Penicillium piniphilium, Mucor и наночастицы Fe_3O_4, которые обладают способностью сорбировать радиоактивные металлы.

Эксперименты показали, что данные композитные сорбенты эффективны для сорбции не только ионов урана, но и других ионов радиоактивных и тяжелых металлов. Было обнаружено, что из трех видов плесневых грибов наибольшей сорбционой активностью по отношению к ионам урана обладает Aspergillus niger. Оптимальное время экспозиции, вне зависимости от входящих в состав композитного сорбента грибов – 2 часа. Так же было обнаружено, что данный композитный биосорбент способен к десорбции и повторному использованию как минимум три раза. При этом степень сорбции незначительно уменьшается.

Исследования композитного биосорбента проводили по отношению к водным модельным растворам уранила азотнокислого с различной исходной концентрацией ионов урана. Остаточную концентрацию урана измеряли на спектрофлюориметре «Флюорат-02-2М». По полученным экспериментальным данным (табл. 1) была построена изотерма сорбции (рис.1) и определены основные коэффициенты процесса адсорбции, рассчитана максимальная емкость сорбента Γ_∞ (табл. 2).

Эффективность сорбции оценивали с помощью показателя относительной сорбции:

$$S(\%) = \frac{C_{нач} - C_{кон}}{C_{нач}} \cdot 100, \qquad (1)$$

где $C_{нач}$ и $C_{кон}$ - начальная и конечная концентрации катионов UO_2^{2+}, мкг/л.

Количество вещества Г, мг/г, молекулярно сорбированных из растворов (величина сорбции), определялось по формуле 2:

$$\Gamma = \frac{(c_0 - c_p) \cdot V}{m} \qquad (2),$$

где c_0 и c_p – начальные и равновесные концентрации адсорбата, мкг/л (c_0=$C_{нач}$ и c_p = $C_{кон}$);
V – объем раствора, из которого происходит адсорбция, л; m – количество адсорбента, г;

Для обработки экспериментальных данных процесса сорбции и для получения основных его параметров строилась изотерма сорбции Лэнгмюра. Уравнение изотермы для мономолекулярной сорбции из растворов имеет вид:

$$\Gamma = \Gamma_\infty \frac{K_s \cdot C_p}{1 + K_s \cdot C_p}, \qquad (3)$$

где Γ_∞– максимально возможное предельное значение сорбции, мкг/г;
C_p–равновесная концентрация сорбтива, мкг/л [2];

На рисунке 1 представлена изотерма сорбции. Из графика видно, что изотерма монотонно возрастает с увеличением концентрации ионов урана. Почти горизонтальный участок, который соответствует относительно высоким концентрациям катионов UO_2^{2+}, отвечает поверхности сорбента, полностью насыщенным ионами урана. Величина удельной сорбционной способности в этом случае не зависит от равновесной концентрации металла в растворе, что свидетельствует об образовании на

поверхности мономолекулярного слоя. Средний участок изотермы соответствует промежуточным степеням заполнения поверхности сорбента.

Таблица 1 - Экспериментальные и расчетные величины, необходимые для построения изотерм сорбции урана композитным сорбентом

C_0, мкг/л	$C_р$, мкг/л	Г, мкг/г	$C_р$/Г, г/л	S, %	lg $C_р$	lg Г
230,3	108,4	6,1	17,8	52,9	2,0	0,8
362,7	212,7	7,5	28,4	41,4	2,3	0,9
605,8	435,5	8,5	51,1	28,1	2,6	0,9
791,6	615,7	8,8	70,0	22,2	2,8	0,9
899,8	713,9	9,3	76,8	20,7	2,9	1,0
1008,3	811,6	9,8	82,5	19,5	2,9	1,0
1099,4	895,8	10,2	88,0	18,5	3,0	1,0
1445,8	1244,5	10,1	123,6	13,9	3,1	1,0

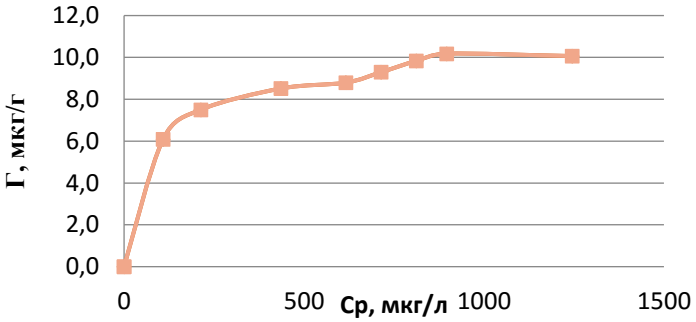


Рис. 1. Изотерма сорбции уранила азотнокислого композитным биосорбентом

С помощью линеаризации уравнения Ленгмюра можно определить предельную величину сорбции $Г_\infty$, соответствующую полному мономолекулярному покрытию сорбента молекулами сорбата.

Таблица 2 – Параметры сорбции

Раствор	Константы уравнения Ленгмюра		Константы уравнения Фрейндлиха	
	$Г_\infty$	K_s	β	n
$UO_2(NO_3)_2$	10,5	0,01	2,04	0,25

Доказано, что полученная изотерма сорбции принадлежит к изотерме мономолекулярной сорбции Ленгмюра. График изотермы монотонно приближается к некоторому предельному значению, соответствующему полностью заполненному монослою композитного сорбента. Изотермы сорбции можно описать уравнением Фрейдлиха, что означает что сорбция ионов урана композитным биосорбентом можно отнести к молекулярной сорбции в статических условиях на пористых сорбентах [2].

Композитный биосорбент конкурентоспособен по сравнению с другими технологиями, он экологичен, удобен в эксплуатации, экономичен, а также он способен к регенерации и его можно использовать многократно.

Список литературы

1. ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования», 2003
2. Михеева Е.В., Пикула Н.П., Карбаинова С.Н. Поверхностные явления и дисперсные системы. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 116 с.

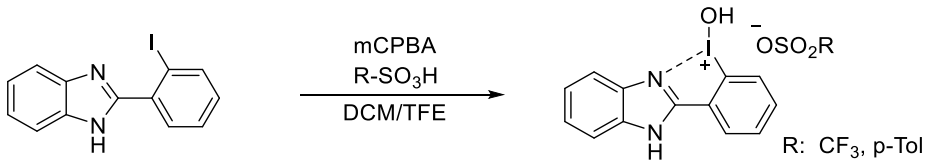
СИНТЕЗ ИОДОНИЕВЫХ СОЛЕЙ НА ОСНОВЕ 2-ИОДФЕНИЛБЕНЗИМИДАЗОЛА

Ю.А. Власенко
Научный руководитель: доцент, к.х.н. П.С. Постников
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: vya_16@mail.ru

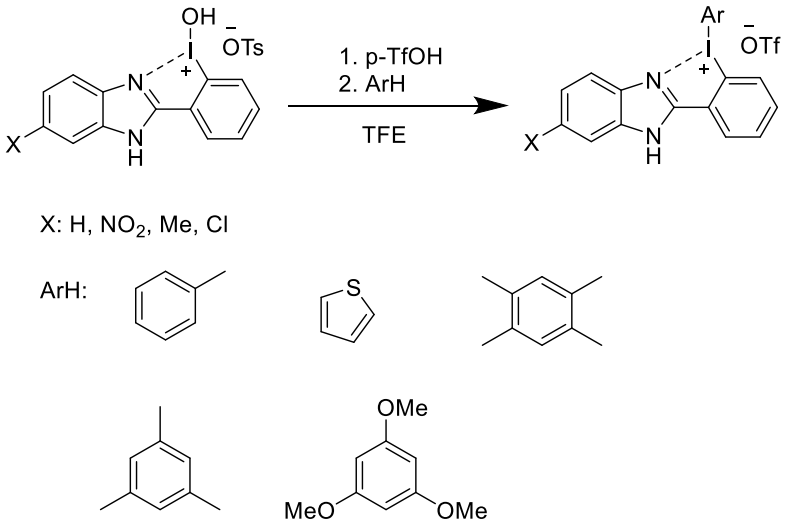
В последнее десятилетие интерес к соединениям поливалентного иода (СПИ) стремительно возрос [1-2]. СПИ привлекают внимание как удобные, нетоксичные реагенты для органического синтеза, обладающие высокой реакционной способностью и селективностью [3].

Особое внимание стоит обратить на таких представителей СПИ, как циклические иодониевые соли. Данные производные поливалентного иода могут использоваться в качестве реагентов для образования C-C [4-5] и C-X-связей [6-7]. Известны циклические иодониевые соли, содержащие в своей структуре связь C-I [8], а также псевдоциклические производные иода (III), имеющие в структуре связь O-I [9]. Однако среди данного класса соединений в настоящий момент неизвестны производные, содержащие в своей структуре связь N-I, что делает актуальным синтез, характеризацию и изучение реакционной способности подобных соединений.

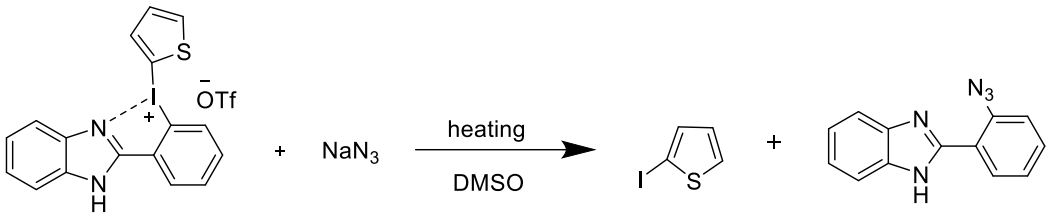
С использованием процессов прямого окисления в присутствии соотвествующих кислот нами были получены производные поливалентного иода (III) на основе 2 –иодфенилбензимидазола (трифлат и тозилат).



Далее нами были предприняты попытки синтеза иодониевых солей из соответствующего тозилата, но он оказался достаточно инертным в подобных превращениях. Однако эквимолекулярные добавки TfOH позволили нам получить данные иодониевые соли.



Следующий этап нашей работы — это исследование реакционной способности полученных иодониевых солей в реакциях азидирования.



Таким образом, нами был разработан метод синтеза иодониевых солей, содержащих в своей структуре связь между азотом и иодом, а также исследуется влияние азота в структуре иодониевых солей на селективность реакций нуклеофильного замещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yoshimura A., Zhdankin V.V. Advances in Synthetic Applications of Hypervalent Iodine Compounds// Chemical Reviews. – 2016. – Vol. 116. – P. 3328–3435.
2. Zhdankin V.V., Stang P.J. Chemistry of Polyvalent Iodine// Chemical Reviews. – 2008. – Vol.108. – P. 5299–5358.
3. Stang, P. J., Zhdankin, V. V. Organic Polyvalent Iodine Compounds// Chemical Reviews. – 1996 – Vol. 96. – P. 1123-1178.
4. Zhu et al. Three-Component Pd/Cu-Catalyzed Cascade Reactions of Cyclic Iodoniums, Alkynes, and Boronic Acids: An Approach to Methylidenefluorenes// Organic Letters. – 2014. – Vol. 16. – P. 2350–2353.
5. Wu et al. Pd catalyzed insertion of alkynes into cyclic diaryliodoniums: a direct access to multi-substituted phenanthrenes// Organic and Biomolecular Chemistry. – 2015. – Vol. 13. – P. 10386-1039.
6. Zhu et al. Synthesis of Carbazoles via One-Pot Copper-Catalyzed Amine Insertion into Cyclic Diphenyleneiodoniums as a Strategy to Generate a Drug-Like Chemical Library// Advanced Synthesis and Catalysis. – 2013. – Vol. 355. – P. 2172–2178.
7. Luo et al. N-Benzyldithiocarbamate Salts as Sulfur Sources to Access Tricyclic Thioheterocycles Mediated by Copper Species// Advanced Synthesis and Catalysis. – 2016. – Vol. 358. P. 2733–2738.
8. Postnikov et al. Preparation and X-ray Structural Study of Dibenziodolium Derivatives// Journal of Organic Chemistry. – 2015. – Vol.80. – P. 5783–5788.
9. Yoshimura, S. C. Klasen, M. T. Shea, K. C. Nguyen, G. T. Rohde, A. Saito, P. S. Postnikov, M. S. Yusubov, V. N. Nemykin, V. V. Zhdankin. Preparation, Structure, and Reactivity of Pseudocyclic Benziodoxole Tosylates: New Hypervalent Iodine Oxidants and Electrophiles// Chemistry A European Journal. – 2017. Vol. 23. – P. 691–695.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ БИОДЕГРАДИРУЕМЫХ СКАФФОЛДОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Р. О. Гуляев, С.И. Горенинский, К.С. Станкевич, В.В. Лисина
Научный руководитель: д.х.н., В.Д. Филимонов
Научный руководитель: к. ф.-м. н., С.И Твердохлебов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, 634050
E-mail: guliaev.g2016@yandex.ru

Биоразлагаемые скаффолды на основе полимолочной кислоты (ПМК) находят широкое применение в регенеративной медицине [1]. Однако, у них есть ряд недостатков, таких как гидрофобность поверхности, малое количество реакционноспособных групп, присутствие остаточных растворителей [2]. Альтернативным вариантом повышения эффективности такого скаффолда является внедрение в его структуру биополимеров способствуюших росту и дифференцировки имплантированных клеток [3]. Таким биополимером является желатин. Преимуществами комбинирования полимолочной кислоты с желатином являются повышение скорости пролиферации стромальных клеток костного мозга, повышение гидрофильности и биодеградации, биосовместимости а так же увеличение диаметра волокон [4].

Целью настоящей работы является разработка и исследование физико-химических свойств биодеградируемых скаффолдов на основе полимолочной кислоты с поверхностью, модифицированной желатином.

Модифицирование скаффолда проводили с использованием ранее предложенной стратегии «растворитель/нерастворитель» [5,6] в два этапа: вначале скаффолд размером 30*10 мм обрабатывали в течение 10 мин смесью толуол/этанол в объемном соотношении 1/9. После чего наносили желатин из раствора желатина растворенном в натрий-фосфатном буфере (PBS)-желатин с концентрацией 0,005 мг/мл.

Время выдерживания составляло 10 мин, 30мин, 1ч ,2ч ,3ч ,4 и 5 ч после чего, полученные образцы тщательно промывали в PBS и высушивали в вакууме течение 3 ч.

С использованием сканирующей электронной микроскопии (JEOL JCL-6000 plus) была изучена морфология скаффолда. Также было показано, что диаметр волокон образцов, выдержанных в растворе PBS-желатин увеличивается с увеличением времени выдерживания от 3,91±0,82 до 5,30±0,64 мкм.

Смачиваемость поверхности скаффолда исследовали методом оптической гониометрии на приборе CAM 101 наблюдали, что скаффолды с нанесенным желатином обладают большей гидрофильностью (краевой угол смачивания 0) по сравнению с чистым скаффолдом из полимолочной кислоты (краевой угол смчивния 59,20±16,6).

Таким образом, был получен биодеградируемоый скаффолд на основе полимолочной кислоты с использованием нового метода нанесения желатина. Предложенный нами метод модифицирования скаффолда не влияет на макроструктуру, но позволяет увеличить диаметр волокон. Полученные материалы обладают повышенной гидрофильностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ma P.X.// Scaffolds for tissue fabrication. Mater. Today. 2004. — Vol. 7, —№ 5. — P. 29–41.
2. Kasoju N., Bora U. // Silk Fibroin in Tissue Engineering Adv. Healthc. Mater. — 2012. — Vol. 1. № 4. — P. 393–412.
3. Chesnutt B. M., Viano A. M., Yuan Y., Yang Y., Guda T., Appleford M. R., Ong J. L., Haggard W. O., Bumgardner J. D. 2009a. Design and characterization of a novel chitosan/nanocrystalline calcium phosphate composite scaffold for bone regeneration. J. Biomed. Mater. Res. 88: 491—502.
4. Hou J., Wang J., Cao L., Qian X., Xing W., Lu J., Liu C. 2012. Segmental bone regeneration using rhBMP-2-loaded collagen/chitosan microspheres composite scaffold in a rabbit model. Biomed. Mater. 7: 035002.
5. Ksenia Stankevich; Victor Filimonov; Alexandru Gudima; Julia Kzhyshkowska// Materials Science and Engineering. June 2015. C 51:117-126 ·
6. Semen Goreninskii*, Ksenia Stankevich, Evgeny Bolbasov, Nadezhda Danilenko, Victor Filimonov and Sergei Tverdokhlebov// MATEC Web of Conferences. 2016. 01025. C-79.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОКСИЧНОСТИ СТОКОВ ТРАВЛЕНИЯ ТИТАНА

Т.З. Забиров, И.В. Овсянникова, Н.Н. Фанакова
Научный руководитель: доцент, к.т.н. Н.А. Быковский
Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал в г. Стерлитамаке,
Россия, г. Стерлитамак, пр. Октября 2, 453118
E-mail: nbikovsky@list.ru

Широкое использование титана в различных областях промышленности обусловлено его уникальными свойствами, такими как низкая плотность, высокая механическая прочность, стойкость к различным агрессивным средам, высокая температура плавления и т.д. Изготовление изделий из титана связано с удалением окисной пленки на его поверхности. Большинство методов удаления окисной пленки связано с травлением поверхности титана различными кислотами [1-4]. При использовании в качестве травильного раствора смеси плавиковой и соляной кислот образуется отработанный кислый травильный раствор (ОКТР), содержащий TiF_3, HF и HCl и обладающий сильной токсичностью. Рядом исследователей предлагается перед разведением или переработкой ОКТР его нейтрализация щелочью [5,6]. При этом образуется сток, содержащий NaF и NaCl.

В последнее время для определения токсичности сточных вод все шире применяются различные фитоэкоиндикаторы, одним из которых является кресс-салат [7-9]. Преимущество использования последнего в качестве фитоэкоиндикатора обусловлено отзывчивостью на токсичность среды трех параметров (всхожести, длины проростков и сухого веса проростков).

В работе представлены результаты исследований токсичности ОКТР, содержащих TiF_3, HF и HCl до и после нейтрализации их NaOH. В качестве индикатора использовался кресс-салат сорта Забава, зарегистрированный в Государственном реестре селекционных достижений. ОКТР содержал 21.9 г/л фторида титана, 1.7 г/л плавиковой кислоты и 6.2 г/л соляной кислоты. Нейтрализация ОКТР производилась до достижения последним pH равным 7,6.

Эксперимент проводили согласно методики [10]. При этом рассчитывали относительную погрешность измерений с использованием распределения Стьюдента для доверительной вероятности равной 95%. В соответствии с [11] зависимость анализируемых параметров от кратности разбавления обрабатывали уравнениями прямой линии.

Уравнения регрессии и коэффициенты корреляции зависимости средней длины проростков и их сухого веса от кратности разбавления ОКТР до нейтрализации, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Уравнения регрессии и коэффициенты корреляции

Анализируемый параметр	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Длина проростков, мм	Y = 25,484 + 0,12433·X	0,94
Вес, мг	Y = 0,83539 + 0,00053·X	0,86

Опыты с каждой кратностью разбавления дублировались по три раза. Таким образом, для получения уравнений регрессии использовались средние величины 12 экспериментов. Критическое значение коэффициента корреляции для 12 опытов при доверительной вероятности 95% равно величине 0,576 [11]. Таким образом, уравнения регрессии зависимости средней длины и сухого веса проростков от кратности разбавления достоверно описывает экспериментальные результаты. Это указывает на то, что данные параметры можно использовать для определения безопасной кратности разбавления не нейтрализованного ОКТР. Поскольку коэффициент корреляции для средней длины проростков выше, чем для их сухого веса, для определения безопасной кратности разбавления не нейтрализованного ОКТР применяем зависимость средней длины проростков от кратности разбавления. Таким образом, безопасная кратность разбавления ОКТР до его нейтрализации составляет 669,2.

Таблица 2 – Уравнения регрессии и коэффициенты корреляции

Анализируемый параметр	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Всхожесть, %	Y = 73.540 + 0.5112·X	0,49
Длина проростков, мм	Y = 45,426 + 0,20775·X	0,81
Вес, мг	Y = 0,96771 + 0,00072·X	0,55

Уравнения регрессии и коэффициенты корреляции зависимости всхожести семян средней длины проростков и их сухого веса от кратности разбавления ОКТР после нейтрализации, представлены в таблице 2.

Для получения уравнений регрессии нейтрализованного ОКТР использовалось 15 опытов. Критическое значение коэффициента корреляции для 15 опытов при доверительной вероятности 95 % равно величине 0,514 [11]. Следовательно, зависимость, описывающая всхожесть семян от кратности разбавления не пригодна для определения безопасной кратности разбавления. Коэффициент корреляции зависимости средней длины проростков в 1,5 раза выше, чем зависимости сухого веса от кратности разбавления ОКТР. Поэтому для расчета безопасной кратности разбавления необходимо использовать зависимость средней длины проростков от кратности разбавления. Таким образом, безопасная кратность разбавления для ОКТР после его нейтрализации щелочью составляет 382,5.

Проведенные исследования показывают, что ОКТР оказывает острое токсичное действие как до его нейтрализации, так и после его нейтрализации щелочью. Однако для получения стока ОКТР безопасного для окружающей среды необходимо разведение не нейтрализованного ОКТР в 669,2 раза, а нейтрализованного ОКТР щелочью – в 382,5 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Formanoir C., Suard M., Dendievel R., Martin G., Goden S. Improving the mechanical efficiency of electron beam melted titanium lattice structures by chemical etching // Additive Manufacturing. - 2016. - Vol. 11. - P. 71-76.

2 Liu Z., Tsai I-L., Thompson G.E., Liu H., Donatus U. Chemical etching behavior of bromine-methanol electrolyte // Materials Chemistry and Physics -. 2015. - Vol. 160. - P. 329-336.

3. Marin E., Diamanti M. V., Boffelli M., Sendoh M., Pedeferri M., Mazinani A., Moscatelli M., Curto B., Zhu W., Pezzotti G., Chies R. Effect of etching on the composition and structure of anodic spark deposition film on titanium // Materials & Design. - 2016. - Vol. 108**.** - P. 77-85.

4. Усова В.В., Плотникова Т.П., Кушакевич С.А. Травление титана и его сплавов. - М.: Изд-во «Металлургия», 1984. - 127 с.

5 Пат 2289638 РФ. МПК C23F1/46 Способ регенерации отработанных травильных кислых растворов, образующихся при обработке титановых сплавов/ Трубин А.Н., Гиль Г.И.; заявитель и патентообладатель: ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА». - №2005122756/02; заявл. 18.07.2005; опубл. 20.12.2006, Бюл. № 35

6. Пат. 2596564 РФ. МПК C23F1/46, C23G1/36. Способ регенерации отработанных кислых травильных растворов, образующихся при обработке изделий из титана / Быковский Н.А., Низов В.А., Фанакова Н.Н.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет». - № 2015113659/02; заявл. 13.04.2015; опубл. 10.09.2016, Бюл. № 25

7. Быковский Н.А., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н. Исследование токсичности дистиллерной жидкости аммиачно-содового производства различными тест-объектами // Экология и промышленность России. -2015. - Т. 19. - № 10. - С. 48-51.

8. Даминев Р.Р., Исламутдинова А.А., Шаяхметов А.И. Allium-тест и математическая модель при оценке токсичности циклических аммониевых соединений // Экология урбанизированных территорий. - 2012. -№2. - С. 80-84.

9. Быковский Н.А., Овсянникова И.В., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н., Хайруллин Р.М. Использование кресс-салатов и пшеницы в качестве фитоэкоиндикаторов для оценки токсичности дистиллерной жидкости // Современные проблемы науки и образования. - 2017. - № 2. - URL: https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=26377 (дата обращения: 18.05.2017).

10. Методика определения токсичности питьевых, грунтовых, поверхностных и сточных вод, растворов химических веществ по измерению показателей всхожести, средней длины и среднего сухого веса, проростков семян кресс-салата (*lepidium sativum*) // ПНД Ф Т 14.1:2:4.19-2013/Москва.-2013.

11. Урбах В.Ю. Биометрические методы (статистическая обработка опытных данных в биологии, сельском хозяйстве и медицине). - М.: Изд-во «Наука», 1964. - 415 с.

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА КОЭФФИЦИЕНТ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЕНОСТЕКЛА

М. Р. Каймонов, К.В. Дорожкин
Научный руководитель: д.т.н., профессор, О.В. Казьмина
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: snoopmax01@yandex.ru

Пеностекло – материал, представляющий собой ячеистое стекло, состоящее из множества герметически замкнутых пузырьков сферической или гексагональной формы, с истинной пористостью до 85-95 %. Основной областью применения пеностекла является теплоизоляция. В сравнении с другими теплоизоляционными материалами, например, такими как пеноплекс, минплита, пенопласт, вспененный полипропилен, пробка, пенополиуретан, стекловата, пеностекло обладает рядом преимуществ. К достоинствам материала относятся негорючесть, химическая и биологическая устойчивость, долговечность, а также простота механической обработки и малый вес материала [1, 2]. Стоит отметить, что пеностекло, полученное с углеродсодержащим газообразователем, способно снижать уровень отраженного и проходящего через материал электромагнитного излучения [3]. Тем не менее, по эффективности радиопоглощения пеностекло уступает некоторым видам поглотителей. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на улучшение данных характеристик, особенно в крайне высокочастотной области (свыше 100 ГГц), которая относится к малоизученным.

Цель работы – повышение коэффициента поглощения электромагнитного излучения пеностекла в диапазоне крайне высоких частот 120 – 260 ГГц путем введения в его состав многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ).

В качестве модифицирующей добавки выбирались МУНТ, так как они обладают каркасной структурой, которая обеспечивает прочность, гибкость и проводимость данного материала. Последнее свойство обеспечивает равномерное распределение электромагнитной волны по всей поверхности материала. В работе использованы МУНТ с удельной поверхностью 300 $м^2/г$ и диаметром 10 нм, синтезированные в Институте катализа им. Г.К. Борескова СО РАН (г. Новосибирск).

Ранее было установлено, что модификацию пеностекла МУНТ можно осуществлять объемным и поверхностным способом. В случае, когда трубки вводится в пенообразующую смесь, происходит их частичное выгорание и нарушается равномерность их распределения в материале, достигнутая на стадии приготовления смеси. В данной работе модификацию пеностекла осуществляли путем нанесения на его поверхность композиции, содержащей МУНТ в количестве 0,5 мас. %. В качестве объекта исследования выбрано промышленное блочное пеностекло, полученное с использованием сажи. Измерения коэффициентов отражения, прохождения и поглощения образцов проводились на спектрометре терагерцового диапазона СТД-21 «Центра радиоизмерений ТГУ».

Композиция для покрытия готовилась на основе жидкого стекла с добавлением определенных компонентов, и подвергалась ультразвуковой обработки для равномерного распределения трубок в покрытии. Продолжительность обработки определялась экспериментальным путем и составила 20 минут. Гелеобразная композиция наносилась на образцы пеностекла тонким слоем, с последующей сушкой при комнатной температуре.

По результатам исследования электромагнитных характеристик образцов пеностекла в зависимости от частоты излучения установлено следующее. Максимальное значение коэффициента поглощения имеет образец с покрытием (0,98 от. ед.), причем коэффициент не изменяется во всем исследуемом диапазоне частот, в отличие от пеностекла без покрытия (рис.1). Для образца с покрытием коэффициент поглощения увеличился в 4,75 раз на частоте 120 ГГц и в 1,75 раз на частоте 260 ГГц, а коэффициент прохождения уменьшился в 78 раз на частоте 120 ГГц и в 42 раз на частоте 260 ГГц.

Таким образом, пеностекло с покрытием, содержащим углеродные нанотрубки, обладает улучшенными радиопоглощающими характеристиками. Кроме того, экспериментальным путем для образцов пеностекла определено значение диэлектрической проницаемости, так для пеностекла без покрытия она составила 1,18, а для пеностекла с покрытием – 1,27, также для данного образца измерена микротвердость по Виккерсу, значение которой составило $HV \approx 68$.

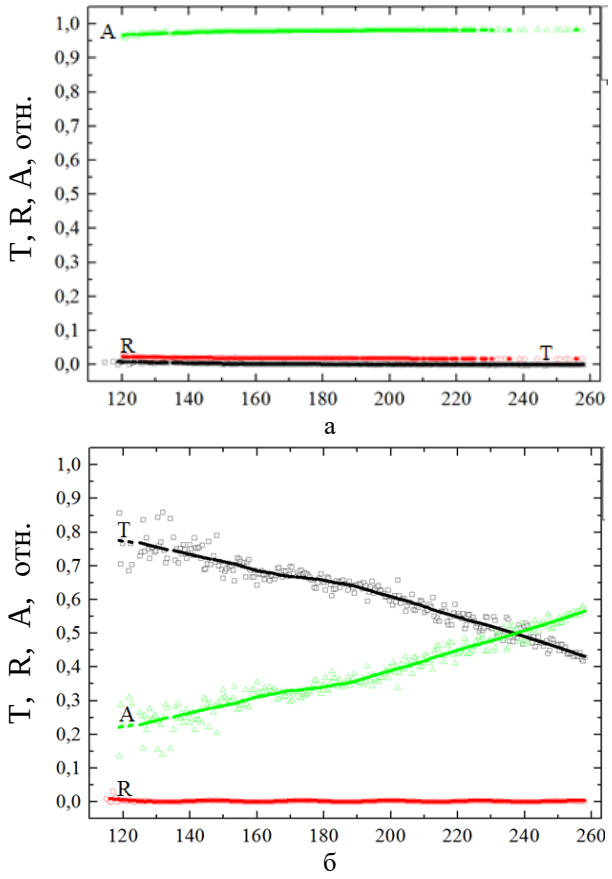


Рис. 1. Параметры электромагнитного отклика пеностекла с покрытием (а) и без покрытия (б): T – коэффициент прохождения; R – отражения; A – поглощения

Проведенное исследование показало, что поверхностная модификация пеностекла МУНТ повышает его радиопоглощающую способность в диапазоне высоких частот 120 – 260 ГГц. Низкая диэлектрическая проводимость стекольной матрицы, пористая структура, а также модификация нанотрубками показывают перспективность использования данного материала в качестве эффективного радиопоглотителя. Учитывая, что исследуемый диапазон частот имеет огромные перспективы использования в медицине для диагностики различных заболеваний, в системах безопасности, для обнаружения взрывчатых веществ, в промышленности для выявления скрытых дефектов в продукции, пеностекло может принести пользу в самых разнообразных сферах.

Список литературы

1. Bernardo Enrico, Scarinci Giovanni, Hreglich Sandro // Glass Sci. and Technol.: Internat. Journal of the German Society of Glass Technology (DGG). – 2005. № 1. – С. 7-11.
2. Wu J.P., Boccaccini A.R., Lee P.D., Rawlings R.D. // European Journal of Glass Science and Technology, Part A Glass Technology. – 2007. 48 (3). С. – 133 – 141.
3. Сусляев В.И., Казьмина О.В., Семухин Б.С., и др. // Известия высших учебных заведений. Физика.–2012.Т.55. №9/2.–С. 312-314.

СИНТЕЗ БИТОПНЫХ ЛИГАНДОВ – ПРОИЗВОДНЫХ ТРИАЗОЛА И БЕНЗОТРИАЗОЛА В ОСУТСТВИИ РАСТВОРИТЕЛЯ

М.А. Ключенко
Научный руководитель: профессор, д.х.н. А. С. Потапов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: klyuchenko@tpu.ru

Соединения, содержащие два и более триазольных кольца, соединенные алифатическим линкером, могут выступать в качестве хилатирующего лиганда в координационных соединениях различной структуры. Так как данные структуры могут образовывать хилатные комплексы с ионами большинства переходных металлов [1], их можно использовать в качестве сенсоров [2] и строительных блоков для металлорганических каркасов [3], известные в литературе как MOFs [4].

В наших предыдущих исследованиях был предложен метод синтеза для простейшего битопного тетра(пиразолил) производного - 1,1,2,2-тетра(пиразол-1-ил)этана и определили кристаллическую структуру молекулярного комплекса меди (II) [5]. Реакцию между пиразолом и 1,1,2,2-тетрабромэтаном (ТБЕ) проводили в суперосновной среде едкого калия – диметилсульфоксида.

В этом материале, мы сообщаем об исследовании реакции между1,2,4-триазолом и бензотриазолом с 1,1,2,2-тетрабромэтаном в отсутствии растворителя с целью синтеза новых тетра(азолил) полидентатных лигандов.

Реакции между азолами и 1,1,2,2-тетрабромэтаном (ТБЕ) проводились методом сплавления в смеси с гидроксидом калия (*Рис. 1*). Реакцию проводили в термостате при 120°С.

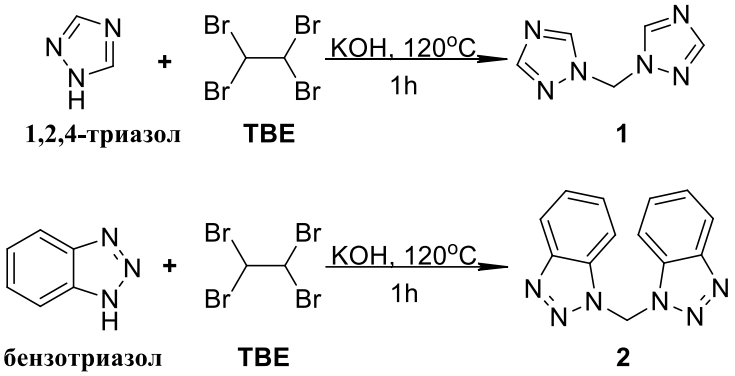


Рис. 1. Схема алкилирования 1,2,4-триазола и бензотриазола 1,1,2,2-тетрабромэтаном (ТБЕ)

Полученные продукты были исследованы с помощью метода ГХ/МС. Из структуры полученных продуктов предположено, что замещение брома на азолы проходит с гомолитическим разрывом ковалентной связи между атомами углерода в этановом линкере.

Таким образом, были получили новые структуры: ди(1Н-1,2,4-триазол-1-ил)метан **1** и бис(1Н-бензотриазол-1-ил)метан **2**, которые могут быть использованы в качестве битопных лигандов.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект № 15-13-10023.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pettinari, C.; Pettinari, R. Coord. Chem. Rev. 2005, 249, 663–691.
2. Kreno L.E., Leong K., Farha O.K., Allendorf M., Van Duyne R.P., Hupp J.T.
3. Potapov A.S., Nudnova E.A., Khlebnikov A.I., Ogorodnikov V.D., Petrenko T. V., Inorg. Chem. Commun. 2015. с. № 53. 72–75.
4. Rowsell J. L. C., Yaghi O. M. Microporous Mesoporous Mater. 2004. с. 73, 3.
5. Potapov A.S., Nudnova E.A., Khlebnikov A.I., Ogorodnikov V.D., Petrenko T.V. Inorg. Chem. Commun. 2015. Т. 53. 72–75.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПАРОВОДЯНОГО ЦИКЛА КАРАГАНДИНСКОЙ ТЭЦ-3

А.А. Ларичева
Научный руководитель: к.б.н., доцент Л. П. Ивлева
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: alena.lar95@mail.ru

Надежность, экономичность и безопасность теплоэнергетического оборудования, трубопроводов ТЭЦ и тепловых сетей зависят от состояния и качества исходной воды. При проектировании и в практике эксплуатации водоподготовительных установок теплоэнергетических объектов необходим учет микробиологических процессов. Общеизвестна микробиологическая коррозия и сероводородное заражение воды трубопровода в результате жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий. Менее известны случаи эксплуатационных затруднений и аварий, обусловленных бактериальными процессами в аппаратах и трубопроводах водоподготовительных установок. В декарбонизаторах и трубопроводах декарбонизированной и Na-катионированной воды на фильтрах II ступени возможна жизнедеятельность нитрифицирующих бактерий.

Проблема водоподготовки, обусловленной жизнедеятельностью бактерий, требует своего решения. Необходимо обобщение и анализ накопленного опыта, изучение бактериальных процессов с учетом того, что эксплуатационные затруднения могут быть вызваны продуктами жизнедеятельности бактерий (нитритами, нитратами, сероводородом, бугорками отложений и т.д.), в том числе, ферментами и непосредственно бактериями [1].

Целью данной работы является микробиологический контроль качества пароводяного цикла Карагандинской ТЭЦ-3, определение микробиологической загрязненности воды в цикле.

Микробиологический контроль воды в теплоэнергетике, до настоящего времени недостаточно изучен. В этой работе показана необходимость проведения микробиологических анализов в связи с биологическим обрастанием и биологической коррозией трубопроводов теплоэлектростанций. На Карагандинской ТЭЦ-3 микробиологический анализ проводился впервые.

Данные исследований можно использовать для дальнейшего изучения и введения в работу теплоэлектростанций для защиты оборудования и уменьшения экономических потерь. Введение микробиологического контроля пароводяного цикла теплоэлектростанций поможет улучшить работу основного оборудования, повысить качество воды, которая необходима не только для нужд станции, но и для нужд населения. Данные полученные в результате исследований, могут быть использованы в анализе работы водоподготовительных установок на теплоэлектростанциях во всем мире.

Для выполнения работы применялись следующие методы: правила отбора проб воды для микробиологического анализа в соответствии с ГОСТ Р 53415-2009 (ИСО 19458:2006) "Вода. Отбор проб для микробиологического анализа", приготовление питательной среды (мясопептонного агара), техника посева микроорганизмов по Дригальскому, техника окраски мазков по Граму, методы определения общего числа микроорганизмов, образующих колонии на питательном агаре [2].

В соответствии с Правилами технической эксплуатации ТЭЦ-3 отбор проб и химический контроль производится в 17 пробоотборных точках с одного энергоблока, в связи с этим, для исследования были отобраны пробы с этих рабочих точек [3].

По собранным материалам проводился микробиологический анализ в лабораторных условиях. После подсчета общего микробного числа, было выявлено, что в 13 пробах ОМЧ не соответствует нормам. Общее микробное число, т. е. число колоний бактерий в 1 мл питьевой воды централизованного водоснабжения, не должно быть более 50, согласно требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения» [4].

После окраски по Граму можно определить, что наблюдаются как грамположительные, так и грамотрицательные бактерии. По внешнему виду можно классифицировать по форме, наблюдаются кокки, стафилококки, палочки без спор, палочки со спорами (бациллы) и нитевидные бактерии.

Для подавления жизнедеятельности бактерий считается эффективным хлорирование воды, но с ростом концентрации кислорода в воде в присутствии ионов хлора наблюдается повышение скорости

коррозии, даже при критическом значении концентрации кислорода. Растворенный кислород, содержащийся в 1 л воды, насыщенной воздухом, при условии полного его потребления на коррозию железа обеспечивает разрушение 1 $см^2$ поверхности металла на глубину 0,0025 см. Массовая концентрация кислорода в исходной воде водоподготовительных установок составляет от 6 до 8 $мг/дм^3$.

Своевременно обнаружив микробиологическое загрязнение воды в трубопроводе и ликвидировав его, можно избежать множества проблем (поломка и выход из строя технологического оборудования, биологической коррозии металла, заиливания тепловых сетей, а также избежать развития очаговой инфекции).

Промышленная водоподготовка направлена на стандартизацию физико-химических характеристик. Но также следует обращать внимание и на биотическую составляющую воды. После химической обработки воды, выжившие микроорганизмы способны размножаться в воде и после ее очистки с использованием большинства известных физических, химических, биологических и других способов.

При появлении в исходной воде или тракте водоподготовительной установки бактерий, вызывающих образование нитритов, проводится периодическая обработка трубопроводов исходной воды и фильтрующих материалов осветлительных фильтров раствором хлорной извести.

Поэтому в график химического контроля ТЭЦ-3 необходимо ввести микробиологический контроль, задачей которого будет изучение бактериальных процессов. Для этого можно использовать как прямые (микробиологический мониторинг), так и косвенные измерения, основанные на химическом определении продуктов жизнедеятельности бактерий. Необходимы разработка и внедрение программы микробиологических исследований пароводяного цикла, при участии микробиологов, биотехнологов и создании соответствующих руководящих указаний.

Необходимо проводить контроль жизнедеятельности микроорганизмов путем измерения микробного числа, с целью проверки эффективности антибактериальных мероприятий. Целесообразна разработка руководящего документа, регламентирующего антибактериальную обработку воды на водоподготовительных установках ТЭЦ.

Разработка внедрения микробиологической лаборатории заключена в улучшении качества водоподготовки ТЭЦ. Сущность концепции направлена на защиту оборудования и трубопроводов от микробиологических загрязнений, обрастаний и заключается в обеспечении своевременного контроля и выявлении источника загрязнения, и, следовательно, в уменьшении экономических затрат на ремонт, а также своевременное предотвращение аварийных ситуаций и выхода из строя основного оборудования.

Список литературы

1. Алексеев Л. С. Контроль качества воды: Учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 154 с. – (Среднее профессиональное образование).
2. Ивлева Л. П. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Микробиология и вирусология» для студентов специальности 5В070100 – «Биотехнология» всех форм обучения /Л. П. Ивлева, С. Н. Дербуш, Г. К. Кабылбекова. – Караганда: КарГТУ, 2010. -62 с.: ил.
3. РИ-КЭЦ-03-15-03-13 «Интегрированная система менеджмента. Рабочая инструкция по эксплуатации по водному режиму и химическому контролю» от 14.09.2013.
4. Прозоркина Н. В., Рубашкина Л. А. П 78 Основы микробиологии, вирусологии и иммунологии: Учебное пособие для средних специальных медицинских учебных заведений. — Ростов нД: Феникс, 2002. -416с.

СОЗДАНИЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИММУНОМОДУЛИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ

В.В. Лисина, К.С. Станкевич, С.И. Горенинский, Р.О. Гуляев
Научные руководители: д.х.н., В.Д. Филимонов, к.ф.-м.н., доцент каф. ЭФ, С.И. Твердохлебов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: v.v.lisina91@gmail.com

Введение

Одним из стратегически важных направлений современной тканевой инженерии является разработка биодеградируемых и биосовместимых полимерных материалов с заданной архитектурой - матриксов или скаффолдов [1]. Полимолочная кислота (ПМК) - биоразлагаемый полимер, широко использующийся в медицине, в том числе в тканевой инженерии, косметологии, для контролируемой доставки лекарственных средств и т.д. Однако, у изделий на основе ПМК есть ряд недостатков, таких как гидрофобность поверхности и недостаток реакционно-способных групп [2].

Целью данной работы является создание композитных скаффолдов на основе полимолочной и полиакриловой кислот (ПАК) и исследование их физико-химических свойств.

Материалы и методы

Формование трехмерных биодеградируемых скаффолдов проводили на установке для электроспиннинга Nanon-01 (MECC CO., Япония) на цилиндрическом коллекторе из 8% прядильного раствора ПМК (PURASORB® PL 18, CorbionPurac, Нидерланды) в хлороформе.

Модельные скаффолды размером 1×3 см помещали на 10 мин в смесь толуол/этанол=3/7 (об.) для образования активного слоя, способного поглощать вещества из их растворов. После этого скаффолд быстро переносили в 0,1% раствор ПАК (Mv = 1250000 г/моль, Sigma-Aldrich, США) в воде и выдерживали в течение 3 ч.

Ковалентное нанесение флуоресцентного 2-фенил-1,3-бензоксазол-5 амина, желатина, бычьего сывороточного альбумина (БСА) (Panreac, Испания, M=68000 г/моль) и цитокина $TGF\beta_1$ на поверхность композитного материала проводили согласно методу, описанному в [3].

Морфологию волокон трехмерных биодеградируемых скаффолдов исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) Quanta DualBeam (FEI Corporation, США). Физико-химические свойства модифицированных скаффолдов исследовали методом ИК НПВО Nicolet 6700 (ThermoScientific, США) и флуориметрии. Наличие белка на поверхности материалов качественно подтверждали с помощью окраски Coomassie Brilliant Blue G-250 (BIO-RAD, США).

Результаты и обсуждение

Согласно СЭМ морфология скаффолдов на основе ПМК после нанесения ПАК не изменяется. На спектрах флуоресцентции скаффолдов, ковалентно модифицированных флуоресцентным 2-фенил-1,3-бензоксазол-5 амином, наблюдается полоса флуоресценции, характерная для ацилированный формы амина на 477 нм [3]. При помещении скаффолдов ПМК-ПАК, модифицированных белками, в раствор красителя Coomassie Brilliant Blue G-250 наблюдали характерное синее окрашивание. На ИК спектрах скаффолдов, модифицированных белками, присутствуют полосы поглощения, соответствующие группам $-NH_2$ (3320 $см^{-1}$) и $-CO_2^-$ (1650 $см^{-1}$). Таким образом, композитные скаффолды ПМК-ПАК могут быть легко модифицированы соединениями, содержащими аминогруппу. Для придания скаффолдам ПМК-ПАК иммуномодулирующих свойств, на поверхность материалов наносили цитокин $TGF\beta_1$. Присутствие цитокина на поверхности скаффолдов в активной форме подтверждали с помощью иммунно-ферментного анализа.

Выводы

Получены композитные скаффолды на основе полимолочной и полиакриловой кислот. Показано, что модифицирование не влияет на морфологию волокон скаффолда на основе ПМК. Данные материалы могут быть модифицированы аминами/белками, в том числе цитокином $TGF\beta_1$. Применение таких скаффолдов может ускорять регенеративные процессы в тканях за счет влияния на фенотипическую поляризацию макрофагов.

Список литературы

1. Кузнецова Д.С., Тимашев П.С., Багратишвили В.Н., Загайнова В.Н.// Современные технологии в медицине. 2014. 6. 4. 201–212;
2. Rasal R. M., Janorkar A. V., Hirt, D. E.// Progress in Polymer Science. 2010. 35. 3. 338–356;
3. Stankevich K.S., Danilenko N.V., Gadirov R.M., Goreninskii S.I., Tverdokhlebov S.I., Filimonov V.D.// Material Science Engineering C.2017. 71. 862–869.

ПЛАЗМЕННАЯ ОЧИСТКА ОБЛУЧЕННОГО РЕАКТОРНОГО ГРАФИТА ОТ РАДИОАКТИВНЫХ МИКРОПРИМЕСЕЙ

С.В. Макаревич, И.Ю. Новоселов, И.А. Ушаков
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: inovoselov@tpu.ru

За время существования атомной энергетики в России и за рубежом накоплено порядка 250 000 тонн графитовых радиоактивных отходов (РАО) [1]. В настоящее время проблема обращения с облученным ядерным графитом частично решена для случая отнесения его к особым РАО и вывода реактора из эксплуатации путем создания пункта долговременной консервации особых РАО [2]. Однако эта технология ограничена в тиражировании и применима только для промышленных реакторов, что не позволяет полностью решить проблему графита.

Сложности в решении проблемы обращения с облученным графитом связаны с наличием в нем различных высокоактивных радионуклидов. В работе [3] приведены результаты исследования радиоактивного загрязнения втулок уран-графитового реактора. Установлено, что в состав загрязнителей входят активационные радионуклиды (^{3}H, ^{14}C, ^{55}Fe, ^{60}Co и др.), продукты деления (^{90}Sr, ^{106}Ru, ^{125}Sb, ^{133}Ba, ^{137}Cs, ^{154}Eu, ^{155}Eu и др.) и трансурановые элементы (^{241}Am, ^{243}Am, ^{244}Cm и др.). При этом основными неуглеродными загрязнителями, вносящими наибольший вклад в суммарную удельную активность, являются ^{137}Cs, ^{60}Co, ^{90}Sr.

На данный момент существуют тенденции, направленные на разработку способов снижения активности графитовых отходов и скорости выщелачивания радионуклидов с поверхности графита. К таким способам относят сжигание, нагревание в низкотемпературной плазме, горячее изостатическое прессование, воздействие микроволновым излучением, термическая деструкция, химическая и реагентная дезактивация (в том числе в расплавах солей) и др.

В работах [4, 5] была показана эффективность использования термических методов обработки графита в инертной среде, что обусловлено возможностью селективного удаления ^{137}Cs, находящегося на поверхности. В данной работе приводятся результаты верификации полученных расчетных данных.

На основании расчетов был создан экспериментальный стенд для изучения процессов, протекающих при плазменной переработке ядерного графита (рисунок 1).

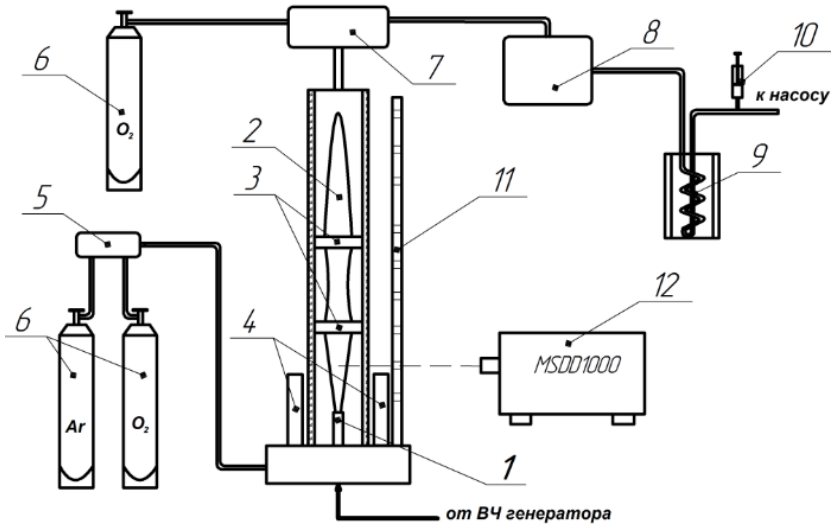


Рис.1. Схема плазмохимического стенда: 1 – электрод, 2 – факельный разряд, 3 – диафрагмы, 4 – магниты, 5 – газовый смеситель, 6 – баллоны с газом, 7 – окислитель, 8 – буферный объем, 9 – азотная ловушка, 10 – пробоотборник, 11 – диафрагма, 12 – монохроматор

Высоковольтное синусоидальное напряжение прикладывается к электроду из графита марки ГР-76, из которого изготавливались графитовые втулки для УГР. Плазмообразующая смесь подается тангенциально в нижнюю часть плазмохимического реактора. На область плазмохимической реакции

воздействуют магнитным полем, создаваемым двумя постоянными магнитами. Плазменный поток разогревает графитовый электрод, который начинает испаряться со скоростью 1–1,7 мг/мин. При этом образуется менее 30 мл CO с различными микропримесями на 30 л плазмообразующего газа. Спектрометрический анализ радионуклидов проводился с помощью спектрометрического комплекса Canberra. Результаты измерения представлены на рисунке 2.

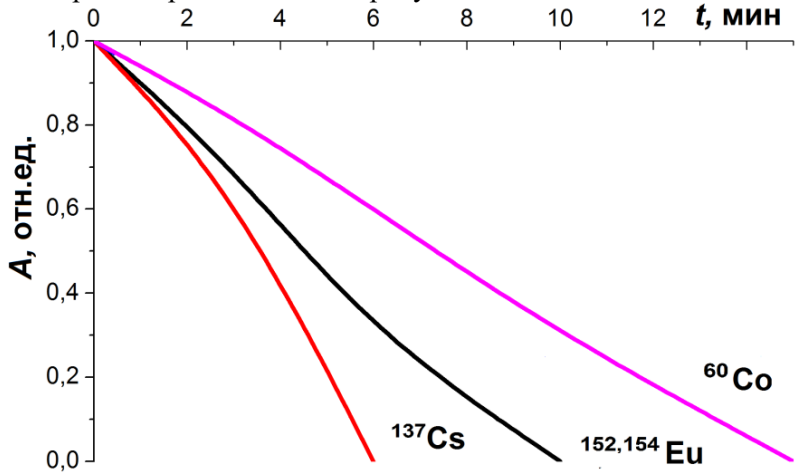


Рис. 2. Изменение активности различных радиоактивных загрязнителей при плазменной очистке облученного графита

Как видно из рисунка 2, радионуклид ^{137}Cs испаряется в течение первых 4 мин после начала процесса дезактивации облученного графита. Через 10 и 15 мин полностью удаляются ^{152,154}Eu и ^{60}Co соответственно. Возможно, что это связано с различием в физико-химических свойствах различных радиоактивных загрязнителей, а именно, в различие в температурах испарения и сублимации. Полученные результаты с большой точностью совпадают с расчетными данными, что говорит об адекватности разработанной ранее математической модели очистке облученного графита от радиоактивных микропримесей.

По результатам расчетных и экспериментальных работ были определены коэффициенты и степени извлечения различных радиоактивных микропримесей, находящихся в облученном графите, в зависимости от газодинамических параметров плазменного потока, термодинамических характеристик плазмообразующего газа, электрофизических параметров плазмы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00382мол_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

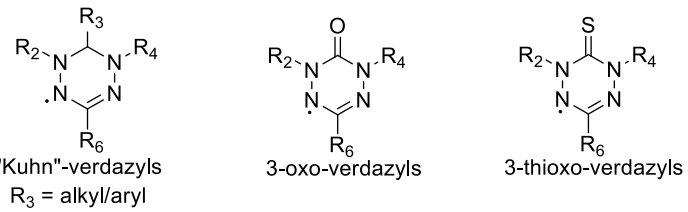
1. Wickham A., Steinmetz H.-J., O'Sullivan P., Ojovan M.I. Updatingirradiatedgraphitedisposal: Project 'GRAPA' andtheinternationaldecommissioningnetwork // JournalofEnvironmentalRadioactivity. 2017. V. 171. P. 34–40.
2. Pavliuk A.O., Kotlyarevskiy S.G., Bespala E.V., Zakarova E.V., Rodygina N.I., Ermolaev V.M., Proshin I.M., Volkova A.G. Experimentalsimulationoftheradionuclidebehaviourintheprocessofcreatingadditionalsafetybarriersinsolid radioactivewasterepositoriescontainingirradiatedgraphite // IOP Conf. Series: MaterialsScienceandEngineering. – 2016. – №142. – P. 1–7. doi: 10.1088/1757-899X/142/1/012040.
3. Бушуев А.В., Кожин А.Ф., Зубарев В.Н. и др. Возможность утилизации отработавших графитовых втулок реакторов СХК путем сжигания // Атомная энергия. 2003. Т. 94, № 2. С. 130–137.
4. Bespala E., Novoselov I., Ushakov I. Heat transfer during evaporation of cesium from graphite surface in an argon environment // MATEC Web of Conferences. – 2016. – Vol. 72. – P.1–5. DOI: 10.1051/matecconf/20167201011.
5. Беспала, Е.В., Павлюк А.О., Котляревский С.Г. Влияние газодинамики высокотемпературного потока на эффективность переработки ядерного графита // Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – №23(187). – С.19–25.

СОЗДАНИЕ БИРАДИКАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВЕРДАЗИЛЬНЫХ РАДИКАЛОВ ЧЕРЕЗ ОБРАЗОВАНИЕ АМИДНОЙ СВЯЗИ

Е.А. Мартынко, П.В. Петунин
Научный руководитель: доцент, д.х.н. М.Е. Трусова
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: ekaterinamartynko@tpu.ru

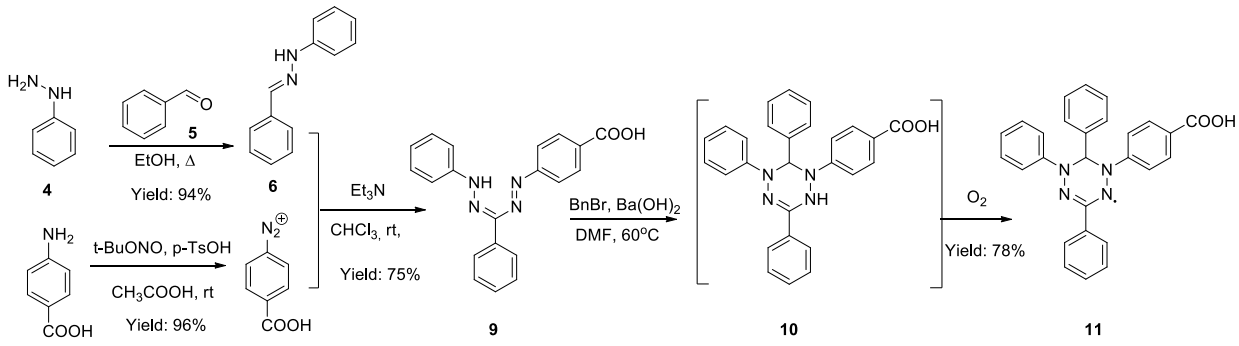
В настоящее время активно создаются новые материалы на основе стабильных органических радикалов, в том числе различные гомо- и гетеро-бирадикальные системы, которые обладают уникальными магнитными свойствами [1,2]. Одним из используемых линкеров в олигорадикалах является амидная связь: она достаточно прочна и обеспечивает контролируемое спин-спиновое взаимодействие [3,4].

Мы предлагаем использовать вердазильные радикалы **1,2,3** для синтеза гетеро-бирадикалов на основе амидной связи, так как они устойчивы к воздействию воздуха и влаги, не диспропорционируют, не димеризуются в растворах, могут быть выделены в твердом виде [5], однако в литературе не описаны примеры синтеза таких систем.



1 **2** **3**

Нами был разработан синтез вердазильного радикала, содержащего COOH-группу, состоящий из четырех стадий. Гидразин **4** вводят в реакцию с бензальдегидом **5** с образованием гидразона **6**. Из соответствующего амина **7** получают соль диазония **8**, которую конденсируют в основных условиях с полученным гидразоном. Образующийся формазан **9** вводят в реакцию с бензилбромидом; образуется лейковердазил **10**, который *in situ* окисляется кислородом воздуха в вердазильный радикал **11**.



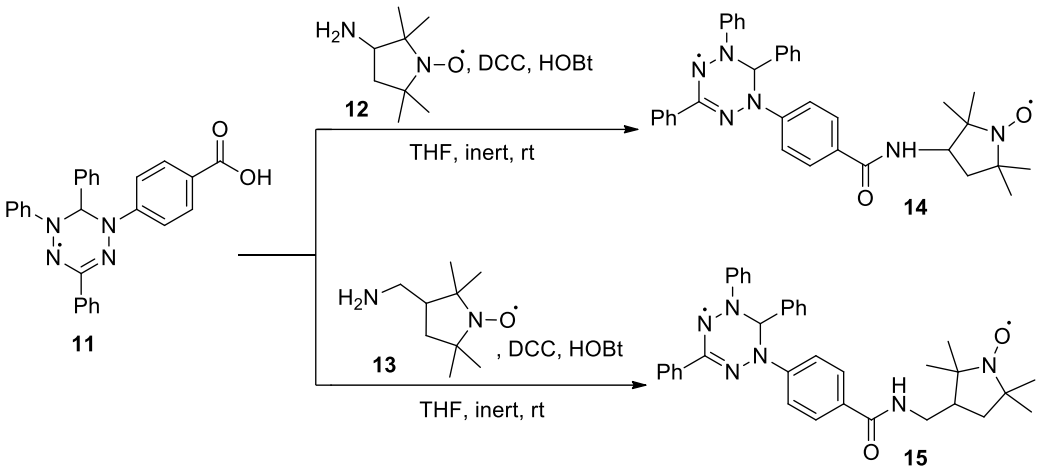
4 **5** **6** **7** **8** **9** **10** **11**

Для моделирования аминолиза полученного радикала мы использовали циклогексиламин. Для предварительной активации карбоксильной группы мы апробировали различные системы: 1) через *in situ* образование хлорангидрида по реакции с цианурхлоридов; 2) через образование эфира в системе дициклогексикарбодиимид/N-гидроксисукцинимид (DCC/NHS); 3) путем получения карбодиимидного производного с диметиламинопиридином в качестве катализатора; 4) через образование эфира в системе DCC/1-гидроксибензотриазол.

Первые три системы оказались неподходящими для вердазильного радикала **11**: в первой наблюдалось образование хлорангидрида по ИК спектру, однако при этом происходила деградация

радикала, во второй наблюдали только исходный радикал, в случае третьей степень конверсии была мала. Четвертая система оказалась наиболее удачной – по ТСХ наблюдали полное превращение исходного радикала в амид без его деградации. Образование амида подтверждали методом масс-спектрометрии.

После оптимизации условий образования амидной связи нами был проведен синтез бирадикалов **14** и **15** из вердазильного радикала **11** и 2,2,5,5-тетраметил-1-пирролидиноксильных (проксильных) радикалов **12** и **13**.



Образование бирадикалов **14** и **15** подтверждали с помощью масс-спектрометрии высокого разрешения, также были получены спектры электронного парамагнитного резонанса (Рисунок 1), которые демонстрируют, что величина обмена в полученных бирадикалах различна (константа обмена выше для соединения **14**), что хорошо согласуется с теоретическими предположениями.

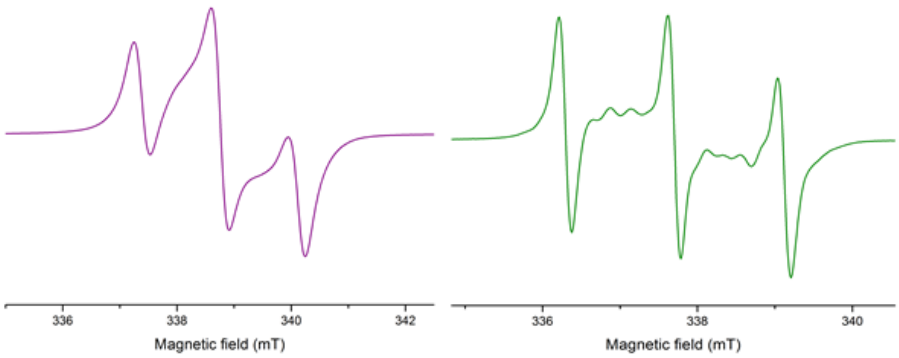


Рис. 1. Спектр ЭПР бирадикалов **14** (фиолетовый) и **15** (зеленый)

В данной работе были впервые получены вердазил-проксильные бирадикалы, оптимизированы условия их синтеза. Планируется изучение свойств полученных бирадикалов и расширение ряда получаемых бирадикальных систем на основе амидной связи за счёт радикалов других типов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lloveras V. et al. //*Chem. Eur. J.* – 2016. – Т. 22. – №. 5. – С. 1805-1815;
2. Gallagher N. M. et al. //*J. Am. Chem. Soc*. – 2016. – Т. 138. – №. 30. – С. 9377-9380;
3. Dane E. L. et al. //*Org. lett*. – 2009. – Т. 11. – №. 9. – С. 1871-1874;
4. Liu Y. et al. // *J. Am. Chem. Soc*. – 2013. – Т. 135. – №. 6. – С. 2350-2356;
5. Hicks R. (ed.). Stable radicals: fundamentals and applied aspects of odd-electron compounds. – John Wiley & Sons, 2011 – 245 с.

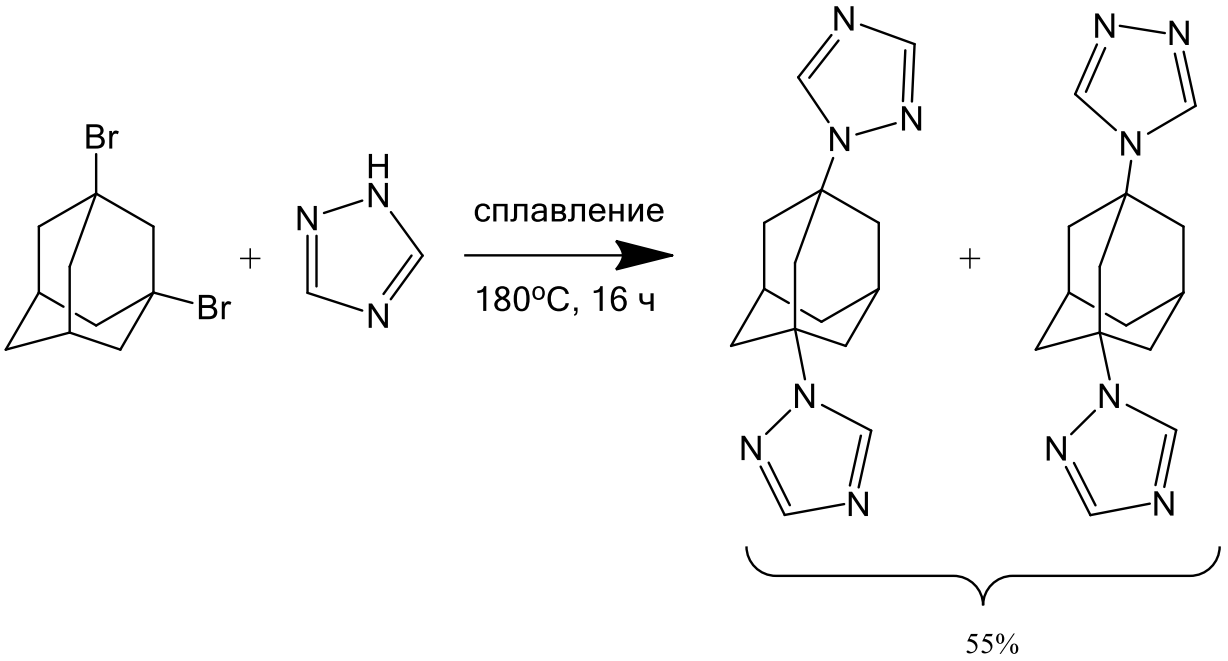
СИНТЕЗ ДИ(1,2,4-ТРИАЗОЛИЛ) АДАМАНТАНОВ

Р.Д. Марченко
Научный руководитель: доцент, д.х.н. А.С. Потапов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: rdm1@tpu.ru

Соединения на основе азолов широко используются в медицине и нескольких областях химии. Азолы в качестве фармацевтической субстанции обладают внушительным спектром действия, однако чаще всего они используются в противогрибковых препаратах. Лекарственные соединения связываются или ингибируют синтез эргостерона, характерного исключительно для грибов, чем обуславливается высокая специфичность действия азол-содержащих препаратов. Второй важной областью применения является конструирование металлорганических каркасных структур с лигандами на основе азолов. Такие полимеры используются в катализе для сепарации газов и жидкостей, улавливания ионов металлов, хранения газов. К более узконаправленным приложениям относятся синтез флуоресцентных меток, сенсоров для ионов и нейтральных молекул, ингибирование ферментов в биохимии.

Ранее были получены лиганды на основе азолов с гибкими и полужесткими линкерами [1-3]. С некоторыми «подвижными» звеньями удалось получить координационные соединения [4,5]. Тем не менее, применимость структур, содержащих линкеры с высокой подвижностью, ограничена из-за сложности их синтеза и низкой стабильности каркаса при давлении, отличном от атмосферного. Нами исследована возможность синтеза жестких органических лигандов на основе 1,2,4-триазола и адамантана.

10 ммоль 1,3-дибромадамантана сплавлен с 40 ммоль 1,2,4-триазола при высокой температуре в атмосфере азота.



Реакционная масса растворена в 10% растворе NaOH, отфильтрована от нерастворимых включений, продукт экстрагирован хлороформом. Изомеры выделены с помощью колоночной хроматографии (элюент метанол: хлористый метилен 1: 6). Идентификация и отнесение изомеров произведены с помощью методов ГХ/МС и ЯМР.

Планируется использование данных соединений для синтеза координационных полимеров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект номер 15-13-10023.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Potapov A.S., Chernova N.P. et al. Synthesis and oxidation of some azole-containing thioethers // Beilstein Journal of Organic Chemistry. – 2011. – vol. – pp. 1526–1532.
2. Потапов А.С. Синтез и реакционная способность некоторых пиразолсодержащих полидентантных лигандов: Автореф. дис. докт. хим. наук. – Томск, 2012. – 42 с.
3. Марченко Р.Д., Потапов А.С. Получение ряда ди(бензо-1,2,3-триазолил)алканов и изучение влияния некоторых параметров синтеза на выход и изомерный состав 1,3-ди(бензо-1,2,3-триазолил)пропана // Материаловедение, технологии и экология в третьем тысячелетии: материалы VI Всероссийской конференции молодых ученых. – Томск, 2016. – С. 181-183.
4. Semitut E. Ju., Marchenko R.D. et al. Polydentate azole derivatives in the synthesis of coordination and organometallic compounds // 27th International Chugaev Conference on Coordination Chemistry. – Nizhny Novgorod, 2017. – p. 73.
5. Marchenko R.D., Lysova A.A. et al. Synthesis of coordination polymers with bis(1,2,3-benzotriazole) ligands // 27th International Chugaev Conference on Coordination Chemistry. – Nizhny Novgorod, 2017. – p. 94.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛНОТЫ ВЫГРУЗКИ ЗАКИСИ-ОКИСИ УРАНА В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЛОКСИДАЦИИ ОЯТ

В.И. Мацеля, И.Н. Сеелев, А.В. Васильев, И.А. Курский
Научный руководитель: профессор, д.х.н. И.И. Жерин
Федеральная ядерная организация Федеральное государственное унитарное предприятие «Горно-химический комбинат» (ФЯО ФГУП «ГХК»), 662972 г. Железногорск
E-mail: atomlink@mcc.krasnoyarsk.su

В основе технологического процесса волоксидации ОЯТ заложена способность диоксида урана окисляться при температурах выше 230 ºС, однако более интенсивно процесс протекает только при температурах выше 300 ºС. Окисление сопровождается изменением кубической кристаллической решетки UO_2 вначале в гранецентрированную тетрагональную решетку U_3O_7, а затем в орторомбическую U_3O_8 [1].

Целью испытаний является проведение экспериментов по волоксидации необлученного топлива. В ходе испытаний выполнена оценка влияния замятия оболочек твэлов, образующегося в процессе их фрагментации, на степень волоксидации и полноту выгрузки порошка волоксидированного топлива.

На “холодном” стенде ФГУП “ГХК” проведены испытания установки волоксидации на необлученном топливе. Испытания проведены с использованием фрагментов твэлов:

- длиной 30 мм со следующим замятием торцов фрагментов:

– менее 30 % с каждой стороны (1 загрузка);
– около 50 % с каждой стороны (2 загрузка);
– полное замятие с одной стороны (3 загрузка);
– около 50 % с каждой стороны (4 загрузка)

- фрагментов длиной 40 мм с замятием торцов фрагментов около 50 % с каждой стороны (5 загрузка).

Отмечено, что при резке твэлов пневмоножницами происходит разрушение таблеток в местах реза и они высыпаются из фрагмента.

Степень отделения топлива от оболочек для фрагментов, попавших в реакционную камеру, составляет 100% независимо от длины и степени замятия фрагментов [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б.В. Громов, В.И. Савельев, В.Б. Шевченко. "Химическая технология облученного ядерного топлива". М., Энергоатомиздат, 1983 г.
2. «Испытания установки волоксидации на холодном стенде» В.А. Попков, А.В. Васильев, А.В. Антони и др., Отчет о НИР – 37 с. - №44/5787 от 16.11.2015.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ ОЯТ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

В.И. Мацеля, И.Н. Сеелев, А.В. Васильев, И.А. Курский
Научный руководитель: профессор, д.х.н. И.И. Жерин
Федеральная ядерная организация Федеральное государственное унитарное предприятие «Горно-химический комбинат» (ФЯО ФГУП «ГХК»), 662972 г. Железногорск
E-mail: atomlink@mcc.krasnoyarsk.su

Одним из многообещающих способов подготовки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) перед гидрометаллургической переработкой, вызывающего значительный интерес, является метод волоксидации – предварительного окисления топлива при повышенной температуре. Цель процесса волоксидации – это выделение и локализация трития, являющегося бета-активным излучающим нуклидом. Так как в настоящее время самым распространённым методом переработки ОЯТ является водно-экстракционная технология, то если целенаправленно не выделять тритий на начальной стадии переработки ОЯТ перед его растворением, тритий распределится практически по всем водным технологическим продуктам схемы. Это в значительной степени усложняет переработку жидких радиоактивных отходов (ЖРО) и приводит к увеличению их объемов [1].

Целью данной работы является проверка вариантов волоксидации ОЯТ, выполненных при различных условиях.

В качестве исходного материала использовались необлученные таблетки ВВЭР-1000.

На первом этапе исследований провели опыты по волоксидации двух необлученных таблеток UO_2 без оболочки при температуре 450 ± 30 ºС в течение 2,5 ч смесью газов, содержащей (об. %):N_2 – (48÷77); O_2 – (12÷19,2); CO_2 – (0÷30); H_2O – (4÷10), без встряхивания.

Показано, что при 20-30 - кратном обмене газовой фазы реактора в час полнота перевода таблеток UO_2 в порошок U_3O_8 составляет более 99%. Образовавшийся порошок закиси-окиси урана имел насыпную плотность 2-2,5 г/см^3 [4].

Опыты, проведенные в тех же условиях с двумя необлученными таблетками, помещенными в циркониевую оболочку, показали, что выход U_3O_8 составил 40-60%.

На втором этапе провели опыты по испытанию различных способов волоксидации на необлученных фрагментах в условиях механического воздействия на реакционную камеру с частотой 1 встряхивание в секунду.

Результаты опытов показывают, что две необлученные таблетки, помещенные в циркониевую оболочку, в течение двух с половиной часов при температуре 450 ± 30ºС в газовой среде (об. %): N_2 – (69÷75); O_2 – (17÷19); CO_2 – (0÷10); H_2O – (4÷6) при встряхивании с частотой 1 раз в секунду и объемной скорости обмена газовой фазы 30 объемов в час, переходят в порошок U_3O_8 на 98,9- 99,3% [2-3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б.В. Громов, В.И. Савельев, В.Б. Шевченко. "Химическая технология облученного ядерного топлива". М., Энергоатомиздат, 1983 г.
2. «Изучение процесса двухстадийной парогазовой волоксидации фрагментов ТВЭЛ реального ОЯТ», В.А. Дудукин, В.В. Бондин, С.И. Смирнов и др., Отчет о НИР – 20 с. - №24/1300 от 20.11.2013.
3. «Испытания установки волоксидации на холодном стенде» В.А. Попков, А.В. Васильев, А.В. Антони и др., Отчет о НИР – 37 с. - №44/5787 от 16.11.2015.
4. Патент № RU 2 619 583 C1 Рос.Федерация МПК G21C 19/42:. Способ переработки облученного ядерного топлива/ Меркулов И.А., Тихомиров Д.В., Жабин А.Ю., Апальков Г.А., Смирнов С.И., Аксютин П.В., Дьяченко А.С., Малышева В.А.; заяв. 2016135601 01.09.2016; опубл. 17.05.2017. Бюл.№ 14. – с 8.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ НА ГХК

В.И. Мацеля, И.Н. Сеелев, А.В. Васильев, И.А. Курский
Научный руководитель: профессор, к.х.н. И.И. Жерин
Федеральная ядерная организация Федеральное государственное унитарное предприятие «Горно-химический комбинат»
(ФЯО ФГУП «ГХК»),662972, г. Железногорск
E-mail: atomlink@mcc.krasnoyarsk.su

На ФГУП «ГХК» создается комплекс хранения и переработки ОЯТ РТН. Комплекс хранения ОЯТ ВВЭР-1000 состоит из «мокрого» (зд.1) и «сухого» (зд.2) хранилищ. Хранение ОЯТ РБМК-1000 осуществляется в хранилищах «сухого» типа (зд.3 и зд.3А).

Переработка ОЯТ осуществляется в зд.4. В настоящее время осуществляется пуско-наладка и настройка оборудования для переработки ОЯТ в ИГК и камере разделки ОТВС и фрагментации твэлов.

Исходным сырьем ОДЦ является ОЯТ реакторов ВВЭР-1000 с выгоранием не более 50 ГВт×сут/т урана и временем выдержки не менее 7 лет. ОДЦ создается на площадке ФГУП «ГХК» в непосредственной близости от существующих «мокрого» и «сухого» хранилищ ОЯТ ВВЭР-1000 и РБМК-1000.

В состав пускового комплекса ОДЦ входят:

- камера перегрузки ОТВС;
- камера разделки ОТВС и фрагментации твэлов;
- камера растворения и осветления волоксидированного топлива – ИГК-1;
- камера волоксидации ОЯТ – ИГК-2;
- камера упаривания и СВЧ-кальцинирования ВАО – ИГК-3;
- камера получения смешанных оксидов урана и плутония – ИГК-4;
- камера первого экстракционного цикла – ИГК-7;
- камера реэкстракции урана, регенерации оборотного экстрагента, упаривания реэкстракта урана и кристаллизации плава ГНУ – ИГК-8;
- камера упаривания САО, щелочного осаждения маточных и дренажных растворов, отверждения отработавшего экстрагента – ИГК-9;
- исследовательские боксы для изучения процессов газоочистки – ИБ-10/1,2.

Конечными продуктами переработки ОЯТ В ИГК ОДЦ являются:

- плав ГНУ;
- порошок смешанных оксидов урана и плутония.

Общая схема комплекса исследовательских горячих камер ОДЦ представлена на рисунке 1.

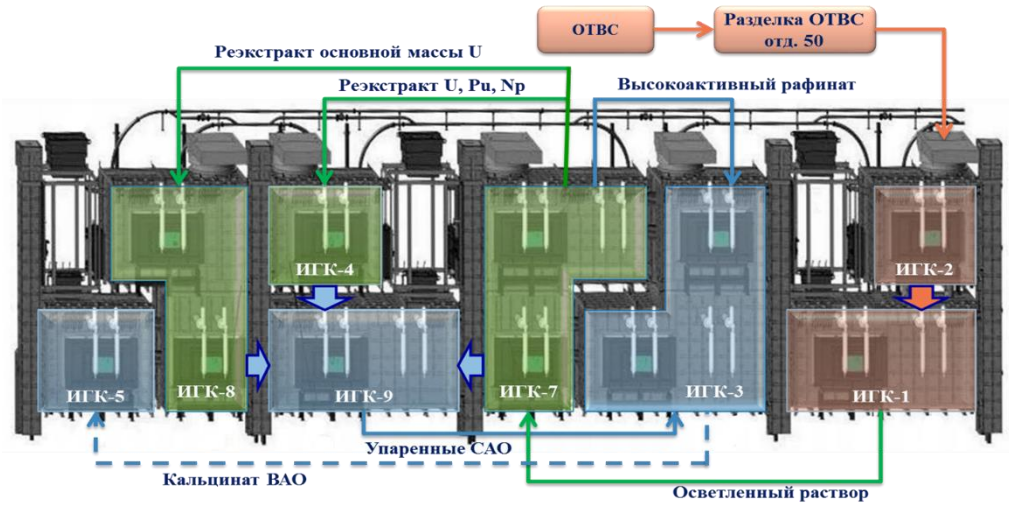


Рис.1. Общая схема исследовательских горячих камер на ОДЦ

В основе технологии переработки ОЯТ лежит PUREX-процесс. В технологической схеме ОДЦ используются инновационные процессы, разработанные и опробованные в лабораторном масштабе ведущими отраслевыми институтами страны: АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», АО «ВНИИНМ им. А.А. Бочвара».

Инновационные процессы в технологии ОДЦ:

1. Волоксидация ОЯТ.
2. ЭКСХРОМ-процесс.
3. Использование несолеобразующих реагентов и высококонцентрированного питающего раствора.
4. Кристаллизационный аффинаж урана.

На головных операциях по обращению с ОЯТ применяется процесс волоксидации ОЯТ. Диоксид уран окисляется до закиси-окиси урана. При образовании мелкодисперсного порошка ЗОУ происходит удаление в газовую фазу летучих и газообразных продуктов деления: рутения, йода, цезия, трития. Эти продукты локализуются на твердых носителях[1,2]. Удаление трития из технологической схемы в «головных» переделах позволяет избавиться от сброса жидких РАО в окружающую среду.

Используемые в ЭКСХРОМ-процессе высокое насыщение экстракта, очистка на колонне жидкостной хроматографии (КЖХ) обеспечивают удовлетворительную очистку U-Pu экстракта (на уровне 10^7) и наряду с аффинажным субциклом плутония позволяют исключить из экстракционного цикла многочисленные промывные блоки – генераторы ЖРО.

В ЭКСХРОМ-процессе используются несолеобразующие реагенты на стадии разделения урана и плутония. Высокоактивные реагенты-восстановители КГ, ДФГ, Г для Pu(IV) и Tc(VII) и комбинации реагентов, каталитически разлагаемые в потоке (непрерывно) до N_2, CO_2, H_2O.

Кристаллизация ГНУ является эффективной аффинажной операцией, позволяющей получать урановый продукт, пригодный к возврату в ядерный топливный цикл без дополнительного аффинажного цикла очистки урана[3].

На ОДЦ проводится подготовка к проверке следующих процессов:

- отработка технологии остекловывания ВАО методом индукционной плавки в холодном тигле (ИПХТ).
- отработка процесса волоксидации ОЯТ.
- кристаллизационный аффинаж урана;
- очистка технологических газов от цезия, йода и трития при проведении головных операций (волоксидации, растворении).

Отличительные от классического Purex-процесса особенности технологии переработки ОЯТ на ПК ОДЦ:

- Волоксидация топлива с удалением трития из ОЯТ и ликвидацией сбросов жидких РАО в окружающую среду.
- Использование ЭКСХРОМ-процесса и концентрированного питающего раствора с уменьшением объема РАО.
- Использование технологии кристаллизации урана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

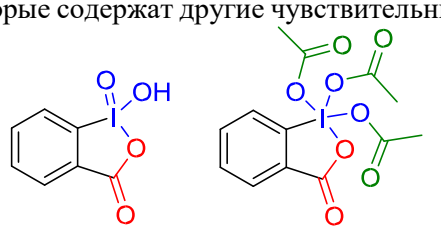
1. Б.В. Громов, В.И. Савельев, В.Б. Шевченко. "Химическая технология облученного ядерного топлива". М., Энергоатомиздат, 1983 г.
2. «Изучение процесса двухстадийной парогазовой волоксидации фрагментов ТВЭЛ реального ОЯТ», В.А. Дудукин, В.В. Бондин, С.И. Смирнов и др., Отчет о НИР – 20 с. -№24/1300 от 20.11.2013.
3. «Оптимизация структуры потоков и комплексная проверка экстракционно-хроматографической схемы переработки ОЯТ на ФГУП «ГХК», В.И. Волк, С.И. Смирнов, В.А. Дудукин, В.В. Бондин и др. Отчет о НИР – 37 с. -№24/1438 от 22.07.2014.

СИНТЕЗ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕАГЕНТОВ НА ОСНОВЕ ИОДБЕНЗОЛСУЛЬФОКИСЛОТ

И.А. Миронова
Научный руководитель: профессор, д.х.н., М.С. Юсубов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Томск, проспект Ленина, 30
E-mail: iam6@tpu.ru

Соединения иода проявляют реакционную способность, подобную переходным металлам, однако, имеют такие важные преимущества как экологичность и ресурсоэффективность. Данные вещества широко используются в органическом синтезе в качестве селективных окислителей и «зеленых» реагентов. Такие реагенты на основе поливалентного иода применяются в реакциях образования С-С связей, галогенирования, важных окислительных превращениях, перегруппировках, аминировании, а также в реакциях, катализируемых переходными металлами. [1-3] К примеру, 2-иодоксибензойная кислота (IBX) широко применяется в органическом синтезе как высокоэффективный и мягкий селективный окислитель первичных и вторичных спиртов, а также используется в других окислительных превращениях [2].

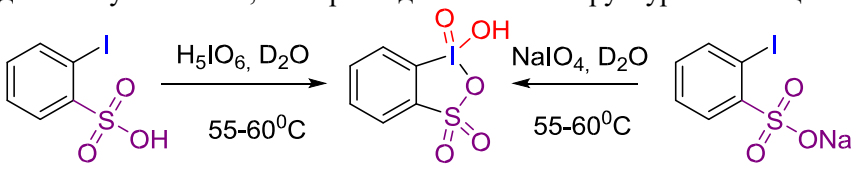
Еще одним ярким представителем циклических иодиларенов является реактив ДессМартина (DMP), который приобрел статус селективного окислителя спиртов до карбонильных соединений, в особенности тех молекул, которые содержат другие чувствительные функциональные группы [4].



Однако, работа с использованием DMP требует особых условий, что связано с его нестойкостью и чувствительностью к влаге, а низкая растворимость его предшественника, 2иодоксибензойной кислоты, в органических растворителях и ее потенциальная взрывоопасность ограничивают практическое применение этих реагентов [1, 2].

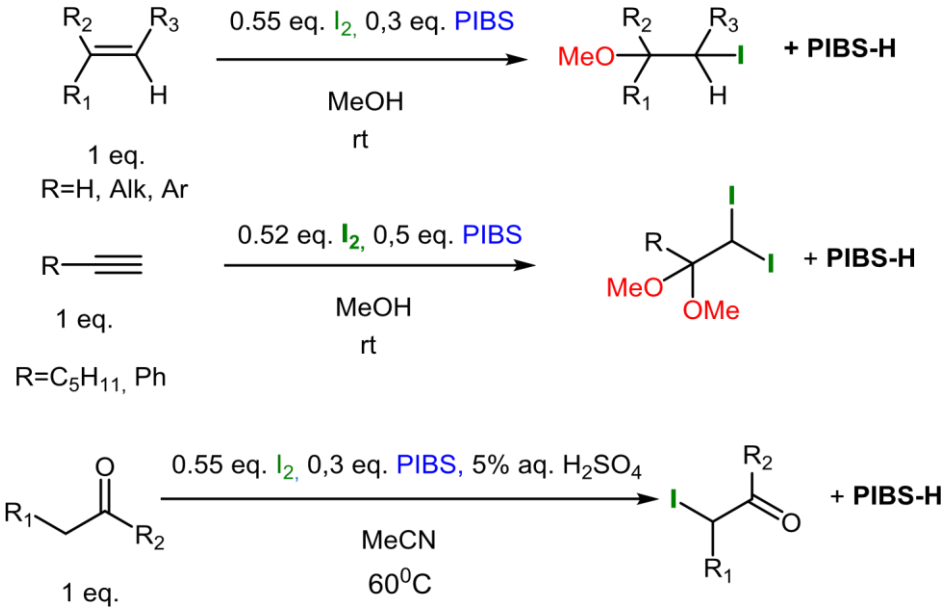
В работе [5] сообщается о новом водорастворимом окислительном реагенте иода (V) – 2иодоксибензолсульфокислоте (IBS). Получали данный реагент прямым окислением 2иодбензолсульфокислоты, однако, продукт был значительно загрязнен неорганическими примесями: из-за высокой растворимости IBS в воде их практически невозможно отделить. Полученный реагент оказался термически нестабильным и высоко реакционноспособным по отношению к органическим растворителям [5].

Мы предлагаем новую методику получения 2-иодоксибензолсульфокислоты с использованием таких окислителей как йодная кислота и периодат натрия. Также нами была оптимизирована известная методика получения IBS, и впервые доказана его структура с помощью РСА.

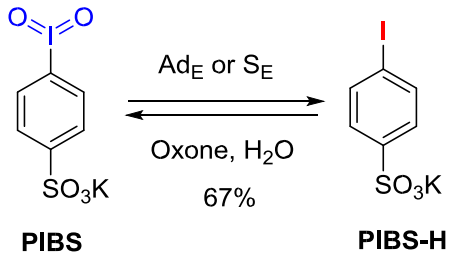


IBS

Также нами был синтезирован 4-иодилбензолсульфонат калия (PIBS), изучена его реакционноспособность в реакциях электрофильного присоединения алифатических и ароматических сопряженных алкенов и алкинов, а также в реакциях электрофильного замещения у α-атома углерода различных кетонов.



В результате были получены как ароматические, так и алифатические метоксииодиды с выходами 72-96%, дииоддиацетали с выходами 64-74%, а также иодкетоны с выходами 55-93% [6].



Доказана способность к рециклизации PIBS. Проведена реакция иодметоксилирования со стиролом с помощью рециклизованного PIBS с выходом 88% [6].

Таким образом, в практику органического синтеза введен водорастворимый реагент получения метоксииодидов, дииоддиацеталей и иодкетонов, отличающийся от ранее известных простотой, экономичностью и не требующие соблюдений специальных условий при проведении реакций. Особенностью данного реагента является его способность к рециклу, а также атомность реакции - на 3,3 эквивалента субстрата требуется 1 эквивалент реагента, что отвечает принципам «зеленой» химии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhdankin V. V. Hypervalent iodine chemistry: preparation, structure, and synthetic applications of polyvalent iodine compounds. – John Wiley & Sons, **2013**.
2. Yoshimura A., Zhdankin V. V. //*Chemical Reviews*. – **2016**. – vol. 116. – No. 5. – P. 3328-3435.
3. Wirth T. //*Hypervalent Iodine Chemistry*. – **2003**. – P. 185-208.
4. Dess D. B., Wilson S. R., Martin J. C. //*Journal of the American Chemical Society*. – **1993**. – vol. 115. – No. 6. – P. 2488-2495.
5. Uyanik M., Akakuro M., Ishihara K. //*Journal of American Chemical Society*. – **2009**. –No. 131. – P.251–262.
6. Mironova I. A. et al. //*Current Organic Synthesis*. – **2016**. – vol. 13. – No. 4. – P. 629-637.

ЦИНК, КАК КАТАЛИЗАТОР ДЛЯ РЕАКЦИИ АЗИД-АЛКИНОВОГО ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЯ

М.А. Морозова, А.К. Куанышева, М.Е. Трусова, П.С. Постников
Научный руководитель: доцент, д.х.н. М.Е. Трусова
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: morozovama@tpu.ru

Реакции азид-алкинового циклоприсоединения нашли широкое применение в органическом синтезе, биохимии, науках о материалах и полимерной химии [1-5]. На данный момент существуют различные металл-содержащие каталитические системы (схема 1), который направляют реакцию AAC в сторону образования лишь одного изомера.

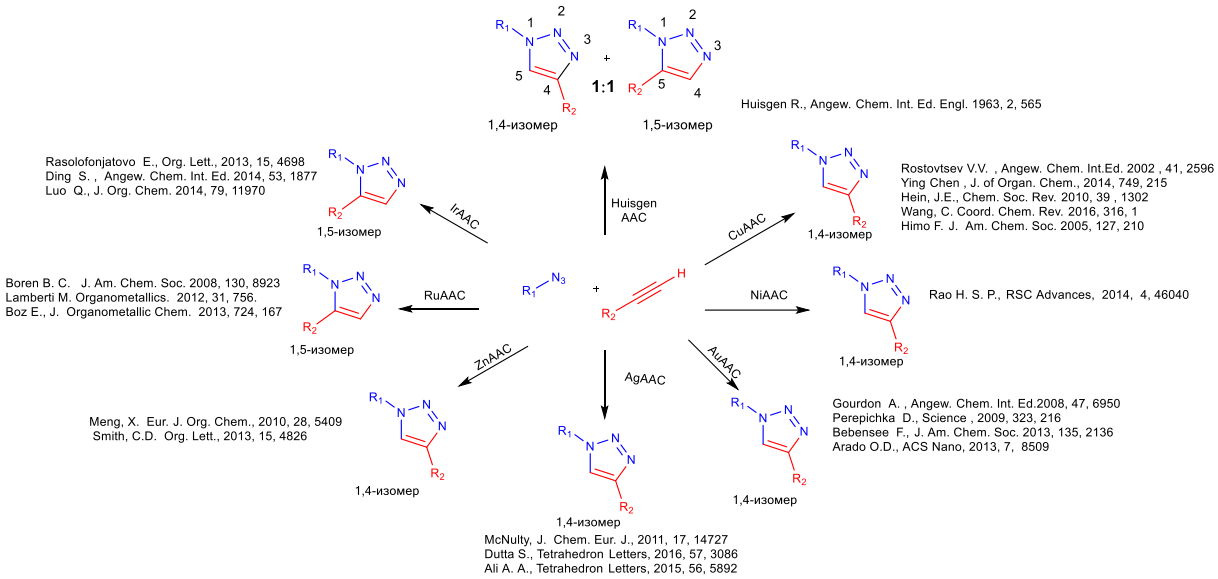
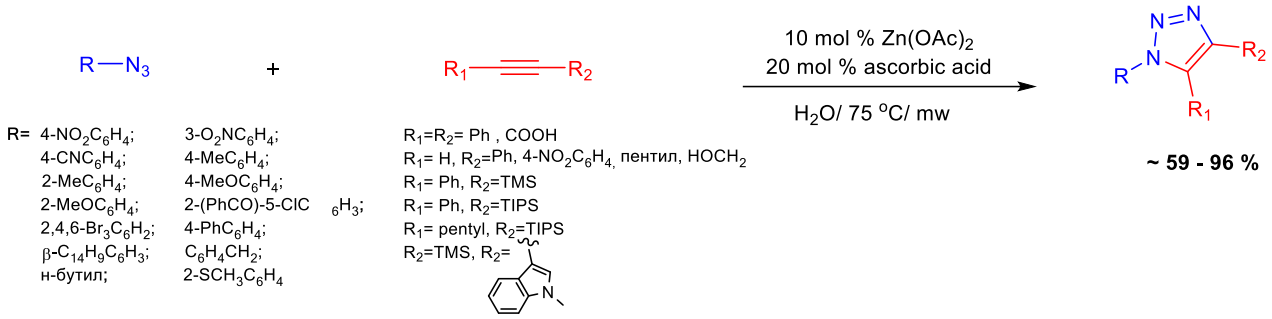


Схема 1. Основные каталитические системы для реакции AAC

Как видно из схемы 1 реакция азид-алкинового циклоприсоединения открытая R. Huisgen [6] протекает с образованием 1,4- и 1,5-дизамещенных-1,2,3-триазолов. Использование в качестве Cu-, Ag-, Au-содержащих катализаторов приводит к образованию 1,4-дизамещенных-1,2,3-триазолов, а в присутствии Ru- и Ir-содержащих идет образование 1,5-дизамещенных-1,2,3-триазолов. Стоит отметить, что только [Ru], [Zn], [Ir] способны катализировать AAC с образованием 1,4,5-тризамещенных-1,2,3-триазолов. Однако способы получения данных катализаторов многостадийные и дорогостоящие. Наиболее распространенными катализаторами AAC являются системы с Cu-содержащими катализаторами, однако у данной системы есть ряд недостатков, а именно реакция протекает длительное время (время реакции для сложных субстратов может увеличиваться до 48 часов), сложность при очистке продуктов и возможность проведения реакции только с терминальными ацетиленами. К вышеприведенным недостаткам также можно отнести и токсичность данных металлов, что существенно ограничивает их применение в синтезе лекарственных препаратов.

Таким образом, разработка универсальной каталитической системы, которая способна приводит к образованию 1,4-дизамещенных и 1,4,5-тризамещенных-1,2,3-триазолов является актуальной задачей.

Нами разработан универсальная синтетическая процедура [7] позволяющая проводить реакцию азид-алкинового циклоприсоединения как с терминальными, так и с интернальными, что позволяет получить широкий ряд 1,4-дизамещенных и 1,4,5-тризамещенных-1,2,3-триазолов по общей схеме:



Как видно из схемы, в реакцию ZnAAC вступают как ароматические азиды, так и алифатические, с донорными и акцепторными заместителями в ароматическом кольце, а также стерически затрудненные ароматические азиды. Также, в реакции ZnAAC вступают как терминальные алкины, так и интернальные алкины.

Как нами было выяснено, ацетат цинка способен катализировать реакцию ААС и с интернальными алкинами, приводящую к образованию ценных производных триазолов. Принимая во внимание тот факт, что Alk_3Si-группы могут быть легко удалены, нами впервые разработан универсальный метод синтеза как 1,5-замещнных триазолов, так и 1,4-замещенных триазолов. Мы с уверенностью можем утверждать, что на данный момент именно ацетат цинка является наиболее универсальным катализатором для получения широкого ряда триазолов.

Таким образом, реакция ZnAAC имеет общий характер и мы впервые показали, что в случае ААС в присутствии $Zn(OAc)_2$ на структуру продукта влияют стерические затруднения в структуре интернальных алкинов. Данная закономерность позволяет нам предсказывать структуру 1,4,5-тризамещенного-1,2,3-триазола, основываясь на стерических факторах в структуре исходных реагентов (азида и внутреннего алкина).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wu, P.; Feldman, A. K.; Nugent, A. K.; Hawker, C. J.; Scheel, A.; Voit, B.; Pyun, J.; Fréchet, M. J.; Sharpless K. B.; Fokin, V. V. Efficiency and Fidelity in a Click-Chemistry Route to Triazole Dendrimers by the Copper (I)-Catalyzed Ligation of Azides and Alkynes // Angewandte Chemie. – 2004. – 116. – 30. – 4018-4022.
2. Fournier, D.; Hoogenboom, R.; Schubert, U. S. Clicking polymers: a straightforward approach to novel macromolecular architectures // Chemical Society Reviews. – 2007. – 36. – 8. – 1369-1380.
3. Lutz, J. F. 1, 3-Dipolar cycloadditions of azides and alkynes: a universal ligation tool in polymer and materials science // Angewandte Chemie International Edition. – 2007. – 46. – 7. – 1018-1025.
4. Rostovtsev, V. V.; Green, L. G.; Fokin, V. V.; Sharpless, K. B. A stepwise huisgen cycloaddition process: copper (I)-catalyzed regioselective “ligation” of azides and terminal alkynes // Angewandte Chemie. – 2002. – 114. – 14. – 2708-2711.
5. Golas, P. L.; Matyjaszewski, K. Marrying click chemistry with polymerization: expanding the scope of polymeric materials // Chemical Society Reviews. – 2010. – 39. – 4. – 1338-1354.
6. Huisgen, R. 1, 3-dipolar cycloadditions. Past and future // Angewandte Chemie International Edition in English. – 1963. – 2. – 10. – 565-598.
7. Morozova, M. A., Yusubov, M. S., Kratochvil, B., Eigner, V., Bondarev, A. A., Yoshimura, A., Saito, A., Zhdankin, V. V., Trusova, M. E., Postnikov, P. S. Regioselective $Zn(OAc)_2$-catalyzed azide–alkyne cycloaddition in water: the green click-chemistry // Org. Chem. Front.- 2017.- 4.- 978-985

ФЛУОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАТУРАЛЬНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ ПИЩЕВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ

А.А. Николаева
Научный руководитель: профессор, д.х.н. Е.И. Короткова
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: ivanovaaa@tpu.ru

Бурное развитие органической химии привело к возможности синтеза различных красителей, которые являются более дешевыми и устойчивыми к различным видам технологических обработок (нагревание, замораживание и др.). Синтетические красители имеют яркие легко воспроизводимые цвета по сравнению с натуральными красителями, которые в свою очередь имеют небольшой срок хранения и нестабильны при изменениях pH и температуры.

К сожалению выгодные для промышленности синтетические красители являются токсичными и вредными для здоровья человека, в особенности детей (практически все синтетические азокрасители вызывают аллергические реакции, считаются потенциальными канцерогенами, а также являются причиной гиперактивности и снижения концентрации внимания у детей) [1]. В связи с этим применение синтетических красителей в пищевой промышленности в последние годы ограничивается.

На сегодняшний день существуют различные методы анализа синтетических красителей в продуктах питания [2]. Самыми распространенными и недорогими в аппаратурном оформлении являются спектрофотометрические методы анализа [3], но с помощью данных методов осложнено определение одних красителей в присутствии других. Также достаточно недорогими являются электрохимические методы анализа, но они мало испытаны на реальных объектах и также затруднен анализ смеси красителей данными методами анализа. Капиллярный электрофорез способен анализировать смесь нескольких красителей, но отличается длительностью пробоподготовки и анализа, а также низкой чувствительностью. Наилучшими для определения красителей в смеси являются хроматографические методы анализа, но они и являются самыми дорогостоящими [4].

Все представленные методы имеют свои достоинства и недостатки. Анализ натуральных красителей перечисленными методами мало изучен. В связи с этим исследования в области обнаружения синтетических и натуральных пищевых красителей по-прежнему актуальны.

В литературе также встречаются не многочисленные работы [5–6] по определению синтетических пищевых красителей в продуктах питания методом флуориметрии, но все они носят перспективный характер, результаты имеют хорошую точность и воспроизводимость. Кроме высокой чувствительности, широкого диапазона определяемых концентраций и экспрессности метод флуориметрии имеет дополнительные преимущества, не характерные для множества других методов анализа – это возможность анализа сложных смесей и мутных растворов, исключительно низкий предел обнаружения, простота применения и небольшая стоимость аппаратуры.

Целью научной работы является разработка флуориметрической методики совместного определения натурального красителя красного свекольного (Е162) и синтетического кармуазина (азорубина, Е122) одинакового оттенка в продуктах питания.

Благодаря особенностям люминесцентного метода анализа (метода флуориметрии) появилась возможность анализа не только смеси нескольких синтетических красителей, но и смеси натуральных и синтетических пищевых красителей, что затруднено известными методами анализа продуктов питания. Важной задачей является выявление фактов фальсификации продуктов питания с точки зрения подмены натуральных красителей более дешевыми опасными синтетическими.

Предлагаемый метод позволяет установить факт подобной фальсификации без необходимости предварительного разделения анализируемых красителей (одновременно в смеси), что упрощает процесс анализа.

Кроме качественного и количественного определения натуральных и синтетических пищевых красителей еще одной важной задачей является разработка более упрощенной и безопасной пробоподготовки исследуемых продуктов питания для достижения максимальной чувствительности и селективности флуориметрической методики анализа.

Совместное определение двух красителей проведено на анализаторе жидкости "Флюорат-02-Панорама" в синхронном режиме сканирования при смещении монохроматора 60 нм (Рис.1).

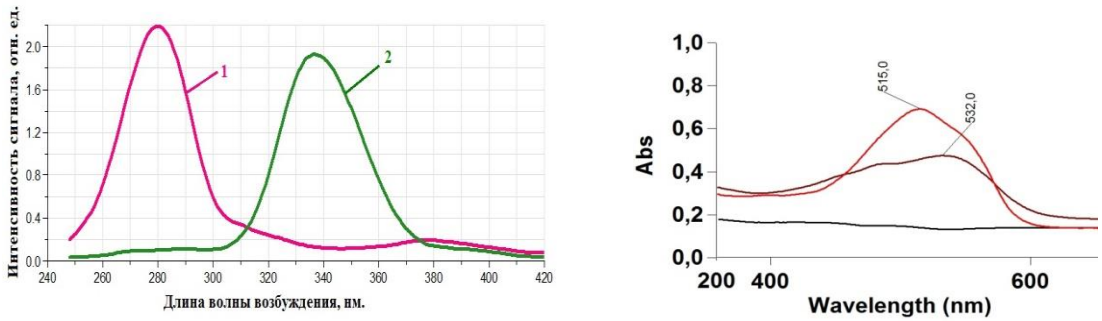


Рис. 1. (слева) Синхронный режим сканирования красителей отдельно 1) красного свекольного (Е162) и 2) кармуазина (Е122) при смещении монохроматора 60 нм; (справа) Спектры поглощения красителей красного свекольного (Е162, А=532) и кармуазина (Е122, А=515)

Как видно из рисунка спектры поглощения синтетического Е122 и натурального Е162 пищевых красителей находятся в одной области, что не позволяет обнаружить смесь данных красителей спектрофотометрически. Напротив, спектры люминесценции синтетического и натурального красителей находятся в разных областях, что позволяет обнаружить исследуемые красители без предварительного разделения (в смеси).

Проведенные исследования показывают возможность применения флуориметрического метода анализа для качественного и количественного совместного определения синтетического кармуазина Е122 и натурального красного свекольного Е162 пищевых красителей в смеси в безалкогольных напитках без использования сложной и длительной пробоподготовки.

В отличие от спектрофотометрической методики определения красителей в пищевых продуктах, флуориметрическая методика отличается более высокой чувствительностью, селективностью и несложной пробоподготовкой, а также дает возможность одновременного обнаружения двух красителей красных оттенков в смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gavriela Feketea, Sophia Tsadouri: Common food colorants and allergic reactions in children: Myth or reality? // Journal Food Chemistry. – 2017. – Vol. 230. – P. 578 – 588.
2. Yamjala K., Nainar M. S., Ramisetti N. R. Methods for the analysis of azo dyes employed in food industry–a review //Food chemistry. – 2016. – Vol. 192. – P. 813 – 824.
3. Kaur A. D., Gupta U. The Review on Spectrophotometric Determination of Synthetic Food Dyes and Lakes //Gazi University Journal of Science. – 2012. – Vol. 25. – P.579 – 588.
4. Kucharska M., Grabka J. A review of chromatographic methods for determination of synthetic food dyes //Talanta. – 2010. – Vol. 80. – P. 1045 – 1051.
5. Chen GQ, Wu YM, Liu HJ, Gao SM, Kong Y, Wei BL, Zhu T. Determination and identification of synthetic food colors based on fluorescence spectroscopy and radial basis function neural networks// Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi. – 2010. Vol.30. – P. 706 – 709.
6. Shi AM, Zhu T, Gu ED, Liu ZY, Xu H. Fluorescence spectra of ponceau-4R//Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi. – 2009. Vol. – 29. P. 192 – 195.

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ОСНОВНОГО ОТХОДА ПРОИЗВОДСТВА СОДЫ МЕТОДОМ ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ

И.В. Овсянникова, Л.Н. Пучкова, Н.Н. Фанакова
Научный руководитель: доцент, к.т.н. Н.А. Быковский
[1]Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал в г. Стерлитамаке,
Россия, г.Стерлитамак, пр. Октября 2, 453118
E-mail: nbikovsky@list.ru

В мире насчитывается более 75 содовых предприятий, производящих 30-35 млн т кальцинированной соды в год [1]. Совокупный объем дистиллерной жидкости производимой в мире за год составляет около 315 млн м^3. Такой объем дистиллерной жидкости обуславливает необходимость экологического контроля над этими объектами. Одним из перспективных путей совершенствования систем контроля над сточными водами является дополнение аналитических и санитарно-гигиенических методов биотестированием. Это позволяет интегрально оценить токсичность водных сред.

Для оценки токсичности различных объектов все более широко применяются методы биотестирования. В качестве тест – индикаторов используются различные растения и организмы [2-4].

Целью работы является исследовать применение кресс-салатов (сорта Забава и Крупнолистовой) и пшеницы (сорта Салават Юлаев и Омская) как фитоэкоиндикаторов для оценки токсичности дистиллерной жидкости.

Эксперименты проводили согласно методике [5]. Оценка токсичности дистиллерной жидкости велась по таким параметрам, как всхожесть семян, средняя длина проростков и их сухой вес. Для этого экспериментальные результаты обрабатывали уравнениями прямой линии. Адекватность опытных данных и уравнений, применяемых для их описания, оценивали по коэффициентам корреляции, рассчитанным для доверительной вероятности 95%.

В таблице представлены уравнения регрессии и коэффициенты корреляции зависимостей всхожести семян, средней длины проростков и их сухого веса от кратности разбавления дистиллерной жидкости.

Таблица – Уравнения регрессии и коэффициенты корреляции

Тест - объект		Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Всхожесть семян, %			
Кресс - салат	Крупнолистовой	У = 0,091·Х + 88,14	0,386
	Забава	У = 0,022·Х + 94,49	0,285
Пшеница	Салават Юлаев	У = 0,131·Х + 70,83	0,473
	Омская	У = 0,097·Х + 90,74	0,414
Средняя длина проростков, мм			
Кресс - салат	Крупнолистовой	У = 0,917·Х + 47,42	0,780
	Забава	У = 0,771·Х + 73,27	0,647
Пшеница	Салават Юлаев	У = 1,303·Х + 28,85	0,884
	Омская	У = 1,579·Х + 42,75	0,870
Средний сухой вес проростков, мг			
Кресс - салат	Крупнолистовой	У = 1,489	0,063
	Забава	У = -0,001·Х + 1,406	0,510

Y – анализируемый параметр, X – кратность разбавления

Согласно [6] критические значения выборочного коэффициента корреляции для 15 опытов равны величине 0,514, а для 12 опытов – 0,576 при доверительной вероятности 95%.

Проведенные исследования показывают, что для оценки токсичности дистиллерной жидкости возможно использование только средней длины проростков, так как коэффициенты корреляции для этих уравнения имеют значения больше критических.

Полученные результаты свидетельствуют об острой токсичности дистиллерной жидкости. Всхожесть семян наблюдается, начиная с восьмикратного разведения для кресс-салата сорта

Крупнолистовой и для обоих сортов пшеницы. Всхожесть семян кресс-салата сорта Забава наблюдается после шестнадцати кратного разведения.

Коэффициент разбавления дистиллерной жидкости, рассчитанная по методике [5] для кресс-салатов обеих сортов имеет примерно одно и то же значение (34,4 – Крупнолистовой и 34,7 – Забава).Для пшеницы сорта Салават Юлаев коэффициент разбавления дистиллерной жидкости, обеспечивающий потерю токсичных свойств, равен 73,0, а для сорта Омская – 81,8.

Коэффициенты разбавления, полученные для кресс-салатов обоих сортов, имеют практически одинаковые значения (различие составляет 0,9 %). Аналогичные результаты, полученные из анализа зависимостей средней длины проростков от кратности разведения, для пшеницы отличаются на 11 %. При этом у пшеницы сорта Омская наблюдается большая чувствительность к токсичности дистиллерной жидкости, чем у пшеницы сорта Салават Юлаев.

Коэффициенты разбавления, обеспечивающие потерю токсичных свойств дистиллерной жидкости, определенные по зависимостям средней длины проростков от кратности разведения для растений кресс-салата и пшеницы отличается практически в два раза. При этом, у пшеницы наблюдается большая чувствительность к токсичности дистиллерной жидкости, чем у кресс-салата. Это указывает на то, что для сопоставления степени токсичности различных объектов необходимо использование одного референтного биоиндикатора. Кроме того, следует отметить, что биотестирование указывает на степень токсичности среды только для данного вида фитоэкоиндикатора. Для различных фитоэкоиндикаторов степень токсичности одной и той же среды имеет разные значения. Поэтому, при использовании фитоэкоиндикаторов для определения безопасного коэффициента разведения следует оценивать этот показатель на разных по чувствительности тест-объектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Островский С.В. Химическая технология неорганических веществ: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – 150 с.
2. Быковский Н.А., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н. Исследование токсичности дистиллерной жидкости аммиачно-содового производства различными тест-объектами // Экология и промышленность России. – 2015. – Т. 19. – № 10. – С. 48-51.
3. Быковский Н.А., Овсянникова И.В., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н., Хайруллин Р.М. Использование кресс-салатов и пшеницы в качестве фитоэкоиндикоиоров для оценки токсичности дистиллерной жидкости [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2017. - №2. – https//science-education.ru/ru/article/view?id=26377.
4. Быковский Н.А., Забиров Т.З., Овсянникова И.В., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н. Оценка токсичности травильных растворов, содержащих TiF_3, HF и HCl до и после нейтрализации с использованием метода фитотестирования // Самарский научный вестник. – 2017. – Т.6 - №2(19). – С. 24-27.
5. Методика определения токсичности питьевых, грунтовых, поверхностных и сточных вод, растворов химических веществ по измерению показателей всхожести, средней длины и среднего сухого веса, проростков семян кресс-салата (*Lepidium sativum*) // ПНД Ф Т 14.1:2:4.19-2013/Москва.-2013.
6. Урбах В.Ю. Биометрические методы (статистическая обработка опытных данных в биологии, сельском хозяйстве и медицине) / В.Ю. Урбах – Москва: Наука, 1964. – 415 с.

АРИЛИРОВАНИЕ ФЕНИЛБОРОНОВЫХ КИСЛОТ АРЕНДИАЗОНИЙ ТОЗИЛАТАМИ В ПРИСУТСТВИИ ZN-СОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ

К.В. Орлова
Научный руководитель: доцент, д.х.н. М.Е. Трусова
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: orlova.ksenia.val@gmail.com

Углерод-углеродная связь (C-C)-основа большинства органических молекул. Реакции, результатом которых является формирование новых связей углерод-углерод или углерод–гетероатом на протяжение многих лет представляют огромный интерес для органической химии.

Большинство реакций кросс сочетания реализуются посредствам катализа палладием [1-3], часто это довольно сложные комплексы данного переходного металла. Палладий довольно редкий и, следовательно, дорогостоящий металл. Его использование приводит к увеличению затрат на очистку, а, следовательно, к снижению ценности реакции. Одной из альтернатив Pd является Zn. Преимущества Zn перед Pd заключаются в том, что его стоимость гораздо ниже, он мало токсичен и легко отделяется от целевых продуктов реакции.

В нашем исследование мы подробно остановились на изучении активность соединений цинка в реакции арилирования фенилбороновой кислоты арендиазоний тозилатами.

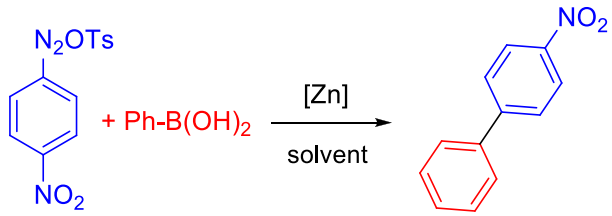


Схема 1-Общая схема арилирования фенилбороновой кислоты 4-нитрофенилдиазоний тозилатом

При изучении реакции в присутствии цинксодержащих солей в различных растворителях, нами было выяснено, что только $Zn(OAc)_2$ в воде способен направлять реакцию в сторону образования целевого бифенила (Схема 1).

Так же нами было установлено, что как при эквимолярном соотношении АДТ и $PhB(OH)_2$ так и при избытки соли диазония целевой 4-нитробифенил образуется с низким выходом (5-7%). В свою очередь реакция, проводимая с избыток фенилборной кислоты, приводила к образованию 4-нитробифенила с выходом 21 % (Схема 2.2)

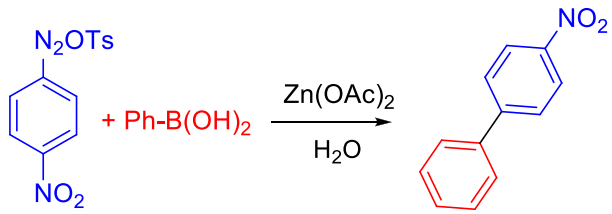


Схема 2.2- Арилирования фенилбороновой кислоты 4-нитрофенилдиазоний тозилатом в присутствии $Zn(OAc)_2$ в воде

Мы предположили, что данная реакция протекает не по классическому механизму реакции Сузуки-Миюары. С целью проверить данное предположение, было решено провести реакцию не *one pot*, а разделить стадии. Для этого было проведено два контрольных эксперимента. В первом случае к нагретому до 70 °C раствору АДТ и Ph-B(OH)2 был добавлен раствор Zn(OAc)2 в воде, 4-нитробифенил был выделен с выходом 13 %. В случае, когда смесь $Ph\text{-}B(OH)_2$ и $Zn(OAc)_2$ выдерживали при 70 °C в микроволновом реакторе, после чего добавляли раствор АДТ в воде, 4-нитробифенил был выделен с выходом 26 %.

Полученные данный позволяют сделать вывод о том, что наше предположение оказалось верным. Поэтому дальнейшие исследования проводились при разделение реакции на две стадии.

Следующим этапом мы оценивали влияние температуры, микроволнового излучения и времени на ход реакции и выход целевого 4-нитробифенила(Таблица 1).

Таблица 1- Влияние температуры и микроволнового излучения на реакцию арилирования фенилбороновой кислоты 4-нитрофенилдиазоний тозилатом

	Температура °C	Время, мин.	Выход %
Стадия 1 Стадия 2	r.t 70	60 18ч.	24
Стадия 1 Стадия 2	r.t 70(mw)	10 20	43
Стадия 1 Стадия 2	r.t 70(mw)	30 20	39
Стадия 1 Стадия 2	70 70	60 24ч.	25
Стадия 1 Стадия 2	70 70(mw)	60 20	34
Стадия 1 Стадия 2	100 100	60 8ч	61

Примечание: Стадия 1: $Ph\text{-}B(OH)_2 + Zn(OAc)_2$
Стадия 2: Добавление раствора АДТ в воде

В результате, наиболее оптимальными на данный момент являются условия, когда первую стадию проводят при комнатной температуре в течение 10 минут, а вторую при нагревании до 70°C в условиях микроволнового излучения в течение 20 минут.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Corbet J. P., Mignani G. Selected patented cross-coupling reaction technologies //*Chemical reviews*. – **2006**. – Т. 106. – №. 7. – С. 2651-2710.
2. Suzuki A. Carbon–carbon bonding made easy *//Chemical communications*. – **2005**. – №. 38. – С. 4759-4763.
3. Tu T. et al. A Lutidine-Bridged Bis-Perimidinium Salt: Synthesis and Application as a Precursor in Palladium-Catalyzed Cross-Coupling Reactions //*Advanced Synthesis & Catalysis*. – **2009**. – Т. 351. – №. 7-8. – С. 1029-1034.

СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ IDA НА ОСНОВЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ КЕТОНОВ

Е.В. Подрезова
Научный руководитель: профессор, д.х.н. М.С. Юсубов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: katerina.podrezova06@mail.ru

В настоящее время магнитно-резонансная томография (МРТ) является высоко востребованным методом медицинской диагностики благодаря безопасности и высокой информативности исследования. Для лучшей визуализации онкологических, сердечно-сосудистых заболеваний и других зон поражения используются контрастные агенты. С помощью контраста можно не только определить место расположение новообразования, но и его размер и структуру. В качестве такого агента обычно применяется парамагнитное вещество. Основная проблема создания парамагнитных контрастных агентов заключается в поиске оптимального баланса между проявляемыми ими парамагнитными свойствами и токсичностью. Идеальный контраст-парамагнетик должен обладать максимальной релаксивностью при практическом отсутствии токсичности. Ионы Gd(III), Fe(II) и Mn(II), обладая оптимальным по сравнению с другими парамагнитными ионами контрастным усилением, тем не менее имеют высокую токсичность в свободном состоянии (в дозе 10 мг/кг массы тела). Для снижения токсичности их вводят в состав комплекса, как правило, с такими лигандами, как диэтилентриаминпентауксусная кислота (ДТПА), этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА), или с их производными [1].

В данном исследовании в качестве такого лиганда нами был выбран широко используемый и популярный – иминодиуксусная кислота (IDA) [2-4].

В качестве исходного субстрата был использован этил 6-иодгексаноат (**1**), полученный окислительным расщеплением циклогексанона [5]. Продукт (**2**) получают в присутствии карбоната калия в среде ацетонитрила при нагревании. Для очистки от исходных субстратов используют колоночную хроматографию. Экспериментальным путем было выяснено, что в данном случае щелочной гидролиз является более предпочтительным, чем кислотный (так как кислотный гидролиз является обратимым процессом). Таким образом, гидролиз проводят в метаноле в присутствии гидроксида натрия при нагревании. Продукт (**3**) получают с высокими выходами 80% и не требующей дополнительной очистки. Далее кислоту (**3**) растворяют в смеси растворителей ацетонитрил:вода =1:1 и добавляют ацетат марганца. После трех часов перемешивания наблюдают выпадение продукта (**4**).

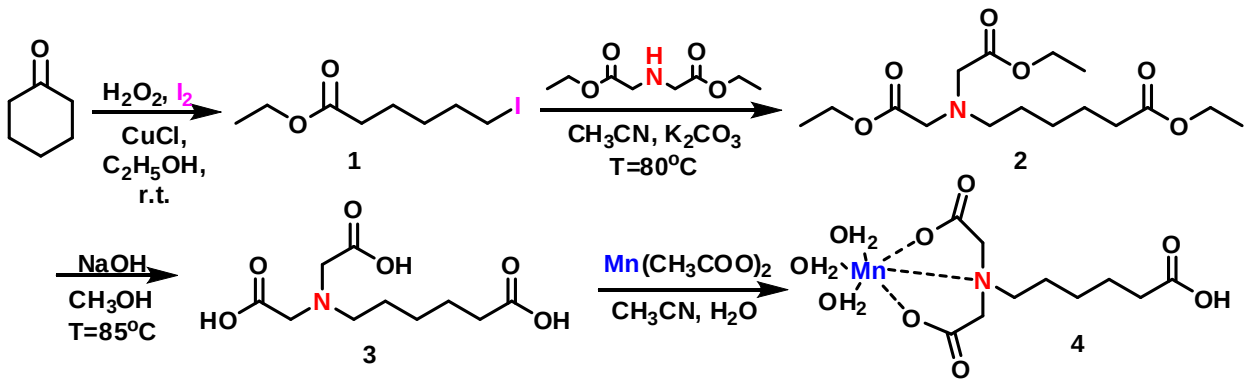


Рис. 1. Схема получения Mn –[6-(бис(карбоксиметил)аминогексановой кислоты]

Таким образом, мы предлагаем простой и эффективный способ получения производных иминодиуксусной кислоты IDA на основе легко доступных и нетоксичных субстратов – циклических кетонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорокина К.Н. Современные подходы к созданию контрастных препаратов для магнитно-резонансной томографической диагностики // Бюллетень сибирской медицины. – 2011. – № 6. – С. 79–86.
2. Raymond C. R. Carboxylate-rich hybrid ligands in Mn(II) complexes as precursors for water oxidation reactions // Dalton Trans. – 2014. –Vol. 43. – P.1821–1828.
3. Habala L. Complexes of N-hydroxyethyl-N- benzimidazolylmethylethylenediaminediacetic acid with copper(II) and cobalt(II): Preparation, crystal structure and urease inhibitory activity // Inorganica Chimica Acta. – 2014. –Vol. 421. – P.423–426.
4. García-Raso Á. Structural insights on the molecular recognition patterns between N6-substituted adenines and N-(aryl-methyl)iminodiacetate copper(II) chelates // Journal of Inorganic Biochemistry. – 2013. –Vol. 127. – P.141–149.
5. Пат. 2404812 РФ, МПК8:C07C55/00 Способ получения ω-иодалифатических карбоновых кислот и их эфиров / М.С Юсубов., В.В. Жданкин, М.С. Ларькина, Л.А. Дрыгунова; Заявлено 21.08.2012; Опубл. 27.09.2013. Бюл. № 27

СТОЧНЫЕ ВОДЫ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНА И ИХ ПЕРЕРАБОТКА В МЕМБРАННОМ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЕ С МОНОПОЛЯРНЫМИ И БИПОЛЯРНЫМИ МЕМБРАНАМИ

В.С. Фанаков, Л.Н. Пучкова, Н.Н. Фанакова
Научный руководитель: доцент, к.т.н. Н.А. Быковский
Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал в г. Стерлитамаке,
Россия, г. Стерлитамак, пр. Октября 2, 453118
E-mail: nbikovsky@list.ru

Высокая прочность при небольшой плотности, коррозионная стойкость, высокая температура плавления определили широкое использование титана в различных областях техники [1]. Наличие окисной пленки на поверхности титана препятствует проведению технологических операций при изготовлении изделий. Удаление окисной пленки проводится травлением титана в минеральных кислотах. На ряде предприятий, в частности на ОАО БСК, подготовка поверхности титана состоит из операций обезжиривания, травления и промывки. Травление титана происходит в 25-27 % соляной кислоте при температуре 80-85^0 С. При этом, образуется отработанный кислый травильный раствор, содержащий хлорид титана и остатки соляной кислоты. Отработанный кислый травильный раствор обрабатывается щелочью до pH равном 7. После образования и осаждения осадка гидроокиси титана образуется раствор, содержащий около 50 г/л хлорида натрия**.**

Известно [2-6], что переработкой водных растворов солей можно получать соответствующие кислоты и щелочи. Переработка сточной воды, содержащей хлорид натрия, позволит не только довести до предельно-допустимого содержание хлорида натрия в стоке, но и получить растворы гидроокиси натрия и соляной кислоты, пригодные для использования в производственном процессе.

Для этих целей нами был использован электролизер с монополярными и биполярными мембранами, построенный по схеме, описанной в [4]. Пространство между электродами разделено на камеры ионообменными мембранами. Камеры обессоливания располагались между монополярными мембранами. Камеры концентрирования кислоты и щелочи разделялись биполярной мембраной. Использовались монополярные мембраны марок МК-40 и МА-40 и биполярные мембраны марки МБ-1. Через камеры обессоливания прокачивался раствор хлорида натрия с концентрацией 50 г/л. Камеры концентрирования гидроокиси натрия и соляной кислоты были выполнены непроточными, поэтому и гидроокись натрия и соляная кислота покидали соответствующие камеры самотеком по мере их накопления.

Максимальные концентрации растворов, генерируемых в камерах концентрирования, приведены в таблице.

Таблица - Концентрации растворов, генерируемых в камерах концентрирования

Плотность тока, мА/см^2	Камера концентр. кислоты		Камера концентр. щелочи	
	HCl, г/л	NaCl, г/л	NaOH, г/л	NaCl, г/л
18,7	34,49	50,90	29,12	36,54
24,2	38,33	80,73	38,64	40,95
29,8	39,42	93,89	44,80	45,04

В камере концентрирования кислоты генерируется раствор, содержащий как соляную кислоту, так и хлорид натрия. При этом концентрация соляной кислоты изменяется от 34,49 г/л до 39,42 г/л, а концентрация хлорида натрия от 50,90 г/л до 93,89 г/л при изменении мембранной плотности тока от 18,7 мА/см^2 до 29,8 мА/см^2. В камере концентрирования щелочи образуется раствор, содержащий как гидроксид натрия, так и хлорид натрия. При этом концентрация гидроксида натрия изменяется от 29,12 г/л до 44,80 г/л, а концентрация хлорида натрия то 36,54 г/л до 45,04 г/л при изменении мембранной плотности тока от 18,7 мА/см^2 до 29,8 мА/см^2. Это указывает на то, что биполярная мембрана не способна в полной мере разделять камеры концентрирования соляной кислоты и гидроокиси натрия. Миграция ионов через биполярную мембрану приводит к появлению хлорида натрия в камерах концентрирования как соляной кислоты так и гидроокиси натрия. Кроме того, происходит частичная взаимная нейтрализация кислоты и щелочи. В результате их концентрация имеет невысокие значения.

Кроме того, концентрация хлорида натрия в камере концентрирования кислоты несколько выше, чем в камере концентрирования щелочи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усова В.В., Плотникова Т.П., Кушакевич С.А. Травление титана и его сплавов. – М.: Металлургия, 1984. – 127 с.
2. Мазанко А.Ф., Камарьн Г.М., Ромашин О.П. Промышленный мембранный электролиз. – М.: Химия, 1989. – 240 с..
3. Быковский Н.А., Муллабаев И.М., Кантор Е.А. Влияние электрохимической обработки на качество сточных вод в производстве этилендиамина// Экология и промышленность России. – 2010. №12. – С. 8-10.
4. Муллабаев И.М., Быковский Н.А., Кантор Е.А. Электрохимическая обработка раствора аминохлоргидрата этилендиамина в четырехкамерном непроточном мембранном электролизере// Башкирский химический журнал. – 2010. Т.17. №5. – С. 153 – 154.
5. Пат. 2537564 РФ, МПК C07C 209/08. Способ получения амина/ Быковский Н.А., Даминев Р.Р., Фаткуллин Р.Н., Пучкова Л.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет». - №2013136661/04; заявл. 05.08.2013, опубл. 10.01.2015, Бюл. №1.
6. Пат. 2437965 РФ, МПК C25B 3/04. Способ выделения амина/ Быковский Н.А., Кантор Е.А., Муллабаев И.М., Пучкова Л.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет». - №2010146235/07; заявл. 12.11.2010, опубл. 27.12.2011, Бюл. №36.

ЭЛЕКТРОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ В АРОМАТИЧЕСКИХ ТРИАЗЕНАХ

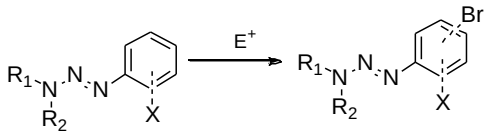
А.И. Швыркова[1], Н.В. Жукова[2]
Научный руководитель: доцент, д.х.н. М.Е. Трусова
[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
[2]ООО «Научно-исследовательская организация «Сибур-Нефтехим»
Россия, г. Томск, Кузовлевский тракт 2, стр.270, 634067
E-mail: NatalyaZhukova23.02@yandex.ru

Ароматические триазены и их замещенные производные являются очень полезным и широко используемым в различных областях науки классом соединений [1]. До недавнего времени они применялись в основном, в качестве промежуточной устойчивой формы диазосоединений, используемых для получения азокрасителей [2]. Однако, благодаря наличию триазеновой группировки, высокой реакционной способности и, следовательно, широкой практической значимости, ароматические триазены привлекают внимание многих исследователей с точки зрения получения новых полезных веществ. В органическом синтезе ароматические триазены широко используются в качестве строительных блоков, в частности, галогензамещенные триазены используются в качестве субстратов для получения новых гетероциклических систем, таких, как, например, бензотриазолы, индолы, индазолы, карбазолы, хинолины, фенантрены, индолы, а также их производных. Кроме того, из ароматических триазенов получают замещенные анилиновые производные, ароматические соли диазония и другие вещества. Во второй половине прошлого века в медицинскую практику были внедрены триазенпроизводные, обладающие противораковой активностью [3].

Условно реакции ароматических триазенов можно разделить на две больших группы: реакции, протекающие с использованием триазеновой группировки и реакции, протекающие в ароматическом кольце. Первая группа реакций, более узкая и в настоящее время хорошо исследована. Вторая группа реакций более широкая и исследована недостаточно. В частности, о реакциях галогенирования ароматического кольца триазенов в литературных источниках на сегодняшний день имеются скудные данные. Согласно литературным данным галогензамещенные триазены получают из соответствующих галогензамещенных анилинов [4].

Целью настоящей работы является систематическое исследование электрофильных свойств ароматических триазенов и получение новых полезных органических продуктов.

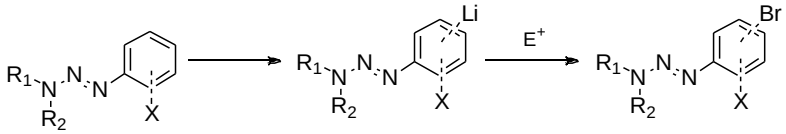
В основу данного исследования были положены два типа реакций электрофильного замещения: прямое галогенирование и галогенирование через стадию обмена металл/галоген. Прямое галогенирование (бромирование) ароматических триазенов протекало согласно общей схеме:



где: R_1, R_2=CH_3; C_2H_5; -$(CH_2)_2$; -$(CH_2)_3$; X=H, -OMe, -NO_2; E^+=Br_2, NBS.

Процесс прямого галогенирования проводился без катализатора в очень мягких условиях: в интервале температур от – 78 ºС до комнатной температуры и на воздухе. Бромирующим агентом являлся раствор молекулярного брома или N-бромсукцинимида (NBS) в ТГФ в количестве от 1,05 до 2,4 эквивалентов. В качестве растворителя также использовался ТГФ (хч). Время проведения реакции подбиралось экспериментально от 40 до 180 мин., контроль за ходом реакции осуществлялся методами ТСХ и ГХ/МС.

Процесс галогенирования (бромирования) через стадию обмена металл/галоген проводился согласно общей схеме:



где: R_1, R_2=CH_3; C_2H_5; -$(CH_2)_2$; -$(CH_2)_3$; X=H, -OMe, -NO_2; E^+=Br_2.

Процесс литирования ароматических триазенов проводился при температуре –78 ºС. В качестве литирующих агентов использовались 2,5 М раствор *н*-бутиллития в гексане или 1,6 М раствор *трет*-бутиллития в пентане. Эквивалентное количество литирующего агента варьировалось от 1,05 до 2,4. Время проведения стадии литирования подбиралось экспериментально от 40 до 180 мин. Реакция обмена проводилась при температуре –78 ºС в течении 40 мин. Выделение продуктов реакции проводилось с использованием метода колоночной хроматографии, в качестве элюента использовался ЭА/гексан или CCl_4/CH_2Cl_2. Полученные в результате реакции продукты были проанализированы с использованием методов ГХ/МС, ЯМР (Н1).

При проведении работы было выявлено влияние различных условий проведения реакции на выход, конверсию и селективность процесса получения бромзамещенных триазенов. Установлены закономерности влияния на протекание процесса природы триазеновой группы и заместителя ароматического кольца, количества и природы электрофила, времени и температуры реакции. Наиболее эффективными и удобными условиями проведения процесса являются комнатная температура, использование ТГФ в качестве растворителя, NBS в количестве 1,2 эквивалента в качестве бромирующего агента. Наиболее легко подвергаются реакциям электрофильного замещения (бромирования) ароматические триазены содержащие электронодонорные заместители в кольце и наименее объемную триазеновую группу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M.M. Haley, D.B. Kimball. Triazenes: A Versatite Tool in Organic Synthesis//Journal Angew. Chem. Int. Ed. – 2002 – V.41 – 3338-3351.
2. Починок В.Я. Триазены. Киев: Изд-во Киевского ун-та, 1968. 227 с.
3. C.S. Rondestvedt, S.J. Davis. 1-Aryl-3,3-dialkyltriazenes as Tumor Inhibitors//Journal of Organic Chemistry – 1957 – V.22 – 200-3.
4. W.Yang, J.Zhou, B.Wang, H.Ren. Lewis Acid-Promoted Synthesis of Unsymmetrical and Highly Functionalized Carbazoles and Dibenzofurans from Biaryl Triazenes: Application for the Total Synthesis of Clausine C, Clausine R, and Clauraila A.//Chemistry-A European Journal – 2011 - V.17– I. 49 – P. 13665-13669.

СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ АЗОЛОВ С КОНФОРМАЦИОННО ЖЁСТКИМИ ЛИНКЕРАМИ

А.Э. Шмидт, А.С. Потапов
Научный руководитель: профессор, д.х.н., А.С. Потапов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Томск, проспект Ленина, 30
E - mail: schmidt_andrey_1991@mail.ru

В последнее время металл – органические каркасные структуры (МОК) приобретают важное значение в таких областях как катализ, разделение и очистка газов, адресная доставка лекарств в органы мишени, разработка нелинейно оптических и люминесцентных материалов. Разнообразие областей применения материалов подобного рода обусловливается их модульным строением, которое, в свою очередь, достигается вариацией компонентов, условий, методов синтеза, а также возможностью постсинтетической функционализации [1].

В составе металл – органических каркасных структур выделяются кластеры или ионы металлов и органические линкеры, связывающиеся друг с другом с образованием полимерной структуры [2]. Одними из самых распространенных типов линкеров для МОК на сегодняшний день являются азотсодержащие гетероциклы, в частности, азолы. И если гибкие лиганды на основе полиазолилалканов применяются в синтезе МОК уже относительно давно [3-4], то азольные производных с такими конформационно жесткими линкерами, как каркасные углеводороды и ацетиленовые производные, ранее не рассматривалась.

Первый этап работы предполагал получение дибромпроизводной составляющей реакции. Для этого были проведены бромирование норборнена и димеризация 3-бромо-1-пропина как модельных субстратов – представителей каркасных углеводородов и производных ацетилена соответственно.

ГХ – МС анализ реакционной массы после реакции бромирования норборнена и отгонки более низкокипящих фракций показал, что реакционная смесь состоит преимущественно из одного из дибромнорборнановых производных и небольших количеств остальных продуктов бромирования (Схема 1).

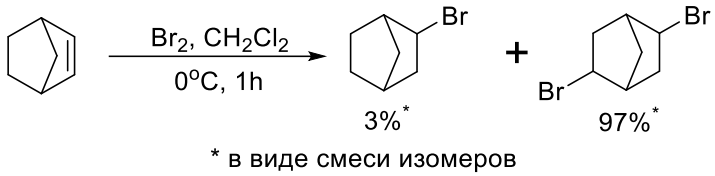


Схема 1

В дальнейшем производилось сплавление данной РМ с пиразолом и имидазолом. В случае пиразола методом ГХ-МС были идентифицированы исходные реагенты, а также продукты моно- и дизамещения брома на пиразолил. Содержание целевого продукта составило 4%. В реакции с имидазолом наблюдались исключительно монобромид и продукт монозамещения (Схема 2):

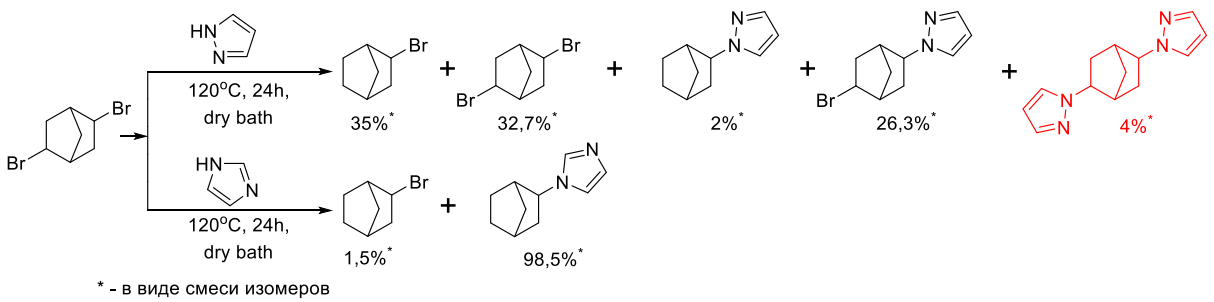


Схема 2

Для синтеза прекурсора лигандов с ацетиленовыми линкерами нами была выбрана реакция димеризации терминальных алкинов. В случае пропаргилбромида были опробированы несколько

методик, однако только в случае одной был зафиксирован продукт димеризации с низким выходом (Схема 3).

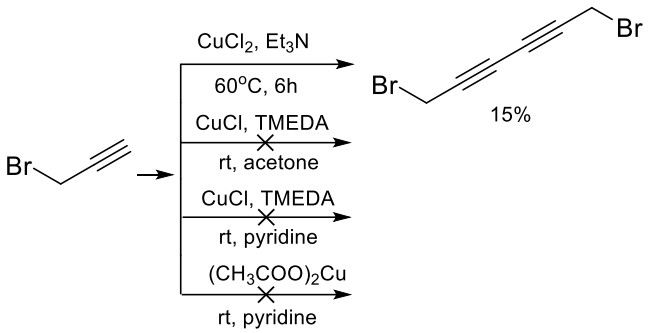


Схема 3

Было решено использовать иной подход к синтезу прекурсоров, а именно проведение реакции пропаргилирования имидазола (Схема 4):

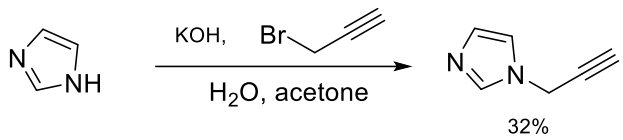


Схема 4

В дальнейшем предполагается введение полученного продукта в реакцию окислительной димеризации.

Таким образом, были получены продукты реакции моно- и дибромнорборнана с пиразолом и имидазолом, а также прекурсор лиганда с ацетиленовым линкером, однако во всех случаях требуется оптимизация методик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бутова В.В., Солдатов М.А., Гуда А.А., Ломаченко К.А., Lamberti C. Металл-органические каркасные структуры: строение, свойства, методы синтеза и анализа. // *Успехи химии*. – **2016**. – vol. 85 – No. 3 – P. 280-307.
2. Furukawa H., Cordova K.E., O`Keeffe M., Yaghi O.M. The chemistry and applications of metal-organic franeworks. // *Science*. – **2013**. – vol. 341.
3. Barsukova M., Goncharova T., Samsonenko D., Dybtsev D., Potapov A. Synthesis, crystal structure, and luminescent properties of new zinc(II) and cadmium (II) metal-organic frameworks based on flexible bis(imidazol-1-yl)alkane ligands. // *Crystals*. – **2016**. – vol. 132 – No. 6.
4. Semitut E.Y., Komarov V.Y., Filatov E.Y., Kuznetsova A.S., Khlebnikov A.I., Potapov A.S. Synthesis and structural characterization of copper(II) coordination polymers with 1,1,2,2-tetra(pyrazol-1-yl)ethane. // *Inorganic Chemistry Communications*. – **2016**. – vol. 64 – P. 23-26.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАЗОБЩАЮЩЕГО БЕЛКА UCP1 В АБДОМИНАЛЬНОМ ЖИРОВОМ ДЕПО АУТБРЕДНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ ПРИ ТЕРМОНЕЙТРАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

А.В. Якуненков
Научный руководитель: доцент, к.б.н. Елсукова Е.И.
ФГБОУ ВО Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева
Россия, г. Красноярск, ул. Ады Лебедевой, 89, 660046
E-mail: dedesterlocke@gmail.com

Разобщающий белок UCP1 – ключевой элемент механизма теплопродукции и основной маркер адипоцитов бурой жировой ткани [5]. Скопления бурого жира локализованы в верхней части туловища и при угрозе гипотермии обеспечивают подогрев мышц спины, сосудов, собирающих и направляющих кровь в сердце, подогрев сосудов, снабжающих кровью мозг. Недавно UCP1-позитивные клетки, получившие название бежевые адипоциты, были обнаружены в депо белого жира у лабораторных мышей в раннем онтогенезе и при холодовой адаптации взрослых животных [8]. Выяснение происхождения, свойств и функций этих клеток имеет не только фундаментальное значение. Бежевые адипоциты представляют интерес как возможная мишень терапевтических воздействий в медицине, так как именно этот клеточный тип преобладает в термогенной жировой ткани людей [6], причем, как показано в ряде работ, их присутствие сочетается с наиболее оптимальным функционированием жировых депо, с оптимальными для здоровья показателями углеводного обмена [4]. Слабые плохо воспроизводимые термогенные ответы на холод затрудняют понимание функциональной роли этих клеток [2]. Представляет интерес динамика этой клеточной популяции у животных в термонейтральных условиях, при которых отсутствует потребность в факультативном термогенезе. Целью работы была идентификация основного маркера термогенных адипоцитов - белка UCP1 в окологонадном белом жире аутбредных лабораторных мышей при адаптации к термонейтральным условиям содержания.

Эксперименты проведены на самцах аутбредных мышей ICR (питомник ГНЦ ВБ «Вектор») с соблюдением правил Хельсинкской декларации о гуманном отношении к животным. Контрольная и опытная группы мышей содержались при температуре 30ºС (термонейтральная зона) и 23°С соответственно. Эксперимент продолжался 3 недели, возраст мышей к началу эксперимента составлял 8 нед. Окологонадный жир и межлопаточный бурый жир экстирпировали целиком после декапитации животных. Интенсивность энергообмена тканей оценивали по скорости поглощения O_2 суспензией стандартно измельченных образцов при 37°С [1]. Тканевые гомогенаты готовили в буфере 0,01 М трис-HCl с 1 мМ ЭДТА, pH 7,2. Содержание ДНК определяли по результатам спектрофотометрии тканевого гидролизата при 270 и 290 нм [3]. Гидролиз ДНК проводили после предварительной экстракции и удаления свободных нуклеотидов, щелочного гидролиза и удаления рибонуклеотидов [3]. Общий белок определяли по методу Лоури. Белок UCP1 идентифицировали в гомогенате окологонадного жира с помощью Вестерн-блоттинга [1]. ПААГ электрофорез проводили в буферной системе Laemmly с 12,5% рабочим гелем; на трек наносили 60 мкг белка. Электроперенос белка на нитроцеллюлозу (0,2 мкм) проводили полусухим способом [1]. Для выявления полосы UCP1 использовали препараты антител компании Sigma Aldrich (USA): кроличьи антитела против синтетического пептида UCP1 (U6382) и козлиные антитела против IgG кролика, меченые щелочной фосфатазой. Блокирование блота, инкубации с антителами, проявление полосы белка проводили в соответствии с рекомендациями компании Sigma Aldrich (USA). Статистический анализ различий между группами животных выполнен с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни.

В пробах окологонадного жира и контрольной и опытной групп был идентифицирован белок UCP1. Это однозначно указывает на присутствие адипоцитов бежевого типа в абдоминальном депо даже при термонейтральных условиях. Частота выявления полосы UCP1 на блотах не различалась в обеих группах животных и составляла около 70%. В контрольной группе интенсивность белковой полосы составила 1045±310 у.е./мг ткани (n=7). В группе животных, содержавшихся при термонейтральных условиях, этот показатель был ниже на 31% и составил 723 у.е./мг ткани (n=4), но различия с контролем не были статистически достоверны.

Следует также отметить, что эффективность переноса белков при вестерн-блоттинге специально не проверяли. В опытной группе масса окологонадного жира была больше, а его базальный энергообмен

при оценке по скорости потребления кислорода *in vitro*, содержание в нем общего белка, ДНК в расчете на мг ткани были снижены (табл.1). В соответствии с ранее полученными результатами [1], базальный энергообмен, содержание белка и ДНК межлопаточного бурого жира также были ниже в опытной группе (табл. 1).

Таблица 1 - Свойства жировых тканей мышей при разных температурных режимах содержания

Показатели жировых тканей	Окологонадный жир		Межлопаточный жир	
	Контроль, n=11	Опыт, n=6	Контроль, n=11	Опыт, n=6
Масса, мг	372,73±42,02	562,13±58,98	90,80±3,79	114,50±10,15
Масса, %	1,03±0,11	1,50±0,15	0,25±0,01	0,30±0,02
ДНК, мкг/мг	0,19±0,04	0,13±0,03	0,58±0,07	0,22±0,02*
Белок, мкг/мг	32,64±5,91	16,08±1,64*	100,13±8,19	45,53±6,16*
V_{O_2}, нмоль/мин·мг	0,17±0,04	0,10±0,01	1,38±0,17	1,22±0,24

Примечание: * $p<0,05$ – статистическая значимость различий между контрольной и опытной группами

Таким образом, изменения в буром жире при адаптации мышей к термонейтральным условиям в целом согласуются с его термогенной функцией. Согласно распространенным представлениям, бежевые адипоциты отсутствуют в жировых депо взрослых животных; только при холодовой и адренергической стимуляции происходит их рекрутирование путем трансдифференцировки белых адипоцитов [7]. Полученные в работе данные свидетельствуют, что даже в термонейтральных условиях в абдоминальном жировом депо у значительной части половозрелых мышей присутствует резервный пул этих клеток. В перспективе, определение UCP1 в биоптатах жировых тканей позволило бы заранее оценивать их термогенный резерв, чтобы рационально планировать терапевтические воздействия и прогнозировать их результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елсукова Е.И., Мизонова О.В., Медведев Л.Н. Влияние длительного ограничения питания в термонейтральных условиях на бурую жировую ткань лабораторных мышей // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2015. Т.159, №5. С.553-556.
2. Елсукова Е.И., Медведев Л.Н. Новый тип термогенных адипоцитов: происхождение, свойства, функции // В мире научных открытий. 2016. №8(80). С. 97-127.
3. Трудолюбова М.Г. Количественное определение РНК и ДНК в субклеточных фракциях клеток животных // Современные методы в биохимии / Под ред. В.Н. Ореховича. – М.: Медицина, 1977. – С. 313–316
4. Bartelt A., Heeren J. Adipose tissue browning and metabolic health // Nat Rev Endocrinol. 2014. Vol.10. P.24-36.
5. Cannon B., Nedergaard J. Brown adipose tissue: function and physiological significance // Physiol. Rev., 2004, vol. 84, no. 1, pp. 277-359.
6. Jespersen N., Larsen T., Peijs L., Daugaard S., Homøe P, Loft A, de Jong J, Mathur N, Cannon B, Nedergaard J, Pedersen BK, Møller K, Scheele C. A classical brown adipose tissue mRNA signature partly overlaps with brite in the supraclavicular region of adult humans. // Cell Metab., 2013, 17, pp. 798–805.
7. Kalinovich A, de Jong JM, Cannon B, Nedergaard J. UCP1 in adipose tissues: two steps to full browning // Biochimie. 2017. Vol. 134. P. 127-137
8. Xue B, Rim J.S., Hogan J.C., Coulter A.A., Koza R.A., Kozak L.P. Genetic variability affects the development of brown adipocytes in white fat but not in interscapular brown fat // J. Lipid Res., 2007, vol. 48, pp. 41–51

СЕКЦИЯ 4

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

FEATURES OF REMOTE SENSING APPLICATIONS FOR ENSURING SAFE AND RATIONAL MINING OPERATIONS

D.A. Ilyukhin, S.Yu. Novozhenin
Saint-Petersburg Mining University, Russia, St. Petersburg, 22-line, 1, 199106
E-mail: dilyuhin@spmi.ru

Due to the constant extraction of minerals, there is a gradual depletion of natural resources in existing enterprises. This fact forces mining companies to apply various measures in order to gain profit from enterprises. These measures include recalculation of the economically viable content for extracting and re-planning the extraction scheme in complicated conditions. Measures lead to profit from the implementation of projects that were previously considered completely unprofitable, but in view of the significantly increasing costs, the total income of the enterprise is significantly reduced. In order to reduce costs and ensure the rational use of mineral resources, enterprises are forced to reduce costs for certain types of work. This material describes a method for optimizing the control of mineral reserves using innovative free software products of remote sensing.

At any stage of the existence of a mining enterprise, it is necessary to monitor the current state of the rock mass. Open-pit mining requires constant monitoring of the position of the sides of quarries, with underground mining one of the main tasks is to observe the displacement of the earth's surface. Implementation of these types of control requires considerable time, human resources and money. The use of modern products will allow redistributing the resources of surveying and engineering services to perform other tasks with minimal costs. Currently, the method of monitoring the earth's surface by means of remote sensing is gaining popularity. The most popular are the synthetic aperture radars used in many systems ((SEASAT, (USA), ERS, ENVISAT (European Space Agency), RADARSAT (Canada), JERS-1 и PALSAR (Japan). These systems allow obtaining the information about the state of the earth's surface with the use of radar imagery taken from artificial earth satellites. Until recently, the serious disadvantages of this system were the complexity of software and the high cost of both the images themselves and the used software packages. Radar images received by satellites covered areas exceeding 40 thousand km2, which adversely affected the rationality of the application of these methods for mining enterprises. Since 2008, the Copernicus program, supervised by the European Space Agency, has started. The main idea of the program is the dissemination of open information about the Earth for the needs of ordinary users. One of the directions of the program development is remote sensing of the Earth's surface by radars with a synthetic aperture called Sentinel-1. The Sentinel-1 mission comprises a constellation of two polar-orbiting satellites, operating day and night performing C-band synthetic aperture radar imaging and working in a pre-programmed operation mode to avoid conflicts and to produce a consistent long-term data archive built for applications based on long time series. Sentinel-1 carries a single C-band synthetic aperture radar instrument operating at a centre frequency of 5.405 GHz. It includes a right-looking active phased array antenna providing fast scanning in elevation and azimuth, data storage capacity of 1 410 Gb and 520 Mbit/s X-band downlink capacity. The C-SAR instrument supports operation in dual polarisation (HH+HV, VV+VH) implemented through one transmit chain (switchable to H or V) and two parallel receive chains for H and V polarisation. Dual polarisation data is useful for land cover classification and sea-ice applications. [1]

Sentinel data products are made available systematically and free of charge to all data users including the general public, scientific and commercial users. Radar data can be delivered within an hour of reception for Near Real-Time (NRT) emergency response, within three hours for NRT priority areas and within 24 hours for systematically archived data. The shape of the orbits of satellites allows you to obtain information about the state of the earth's surface in virtually any part of the planet.

Figure 1 shows that for the main developed countries the information is updated every 12 days, in the main part of Europe the measurement period is 6 days. Thus, on the basis of satellite data, it is possible to obtain free information about the condition of the sides of large quarries or the earth's surface over subterranean maintenance sites with technical accuracy. This method of studying the change in the deposition of elements of the earth's surface will allow us to estimate the amount of work on quarries with minimal costs and predict the displacements of the earth's surface on the basis of statistics for the mine field. To directly assess the change in the position of the elements, there is no need for specially trained personnel. Engineer just needs two free radar images covering required area. The Tagebau Hambach brown-coal mine was used as an example in this research. It is a large open-pit mine in Niederzier and Elsdorf, North-Rhine Westphalia, Germany.

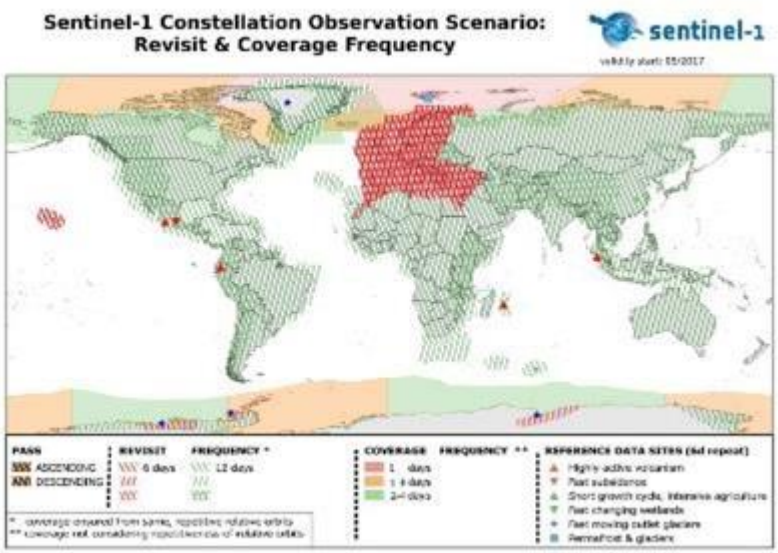


Fig. 1. Sentinel-1 program coverage frequency [1]

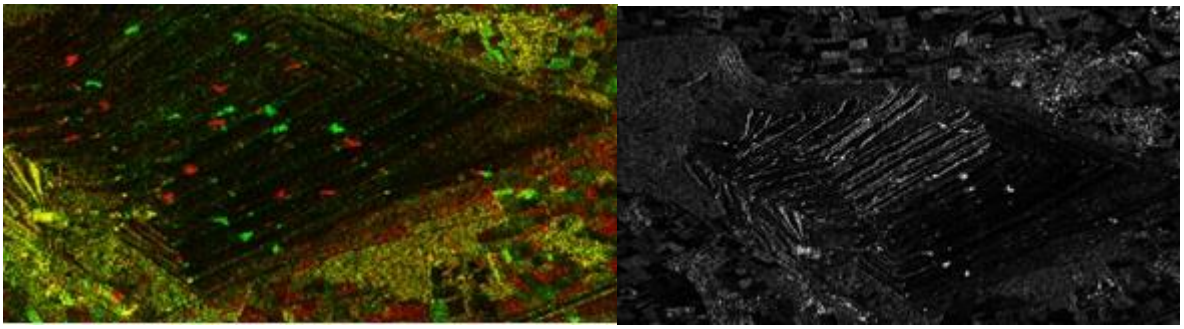


Fig.2. Radar image processing results

Figure 2 shows the results of processing the pit pictures from May 31, 2017 and October 3, 2016. Ehe RGB-image clearly shows the change in the position of the sides of the quarry (painted red and yellow). The interferogram formation from these images allows to determine the altitude differences in the position of the elements of the quarry with technical accuracy. This work can be done by one engineer with minimal costs.

REFERENCES

1. Information from the official Copernicus website.

WATER CONSERVATION IN CONDITIONS OF WATER WITHDRAWAL FROM SURFACE WATER SOURCES

A. Strelkov, S. Teplykh, P. Gorshkalev, A. Bystranova
Samara State Technical University, Institute of Architecture and Civil Engineering,
Russia, Samara, Molodogvardeyskaya St., 194, 443100
E-mail: kafvv@mail.ru

It is known that the problem of "clean water" is a global problem that is acute for many countries. This is a pressing problem for the Russian Federation, too. Some researchers believe that the value of water as a vital resource might soon exceed the value of oil as a major fuel resource.

Although surface water total bulk volume is less than 0.5 % of the hydrosphere volume [1], surface waters is the main source of water withdrawal coming mainly from inland water reservoirs such as rivers, lakes, artificial reservoirs.

Ichthyological watch stations have found out that every year a substantial amount of young fish dies in water intake structures [2].

Of course, there are fish protection structures (FPS) built near such installations, but they are not effective enough. For example, out of 4.000 FPS Only 400 are based on biological standards and can protect young fish properly. The situation is aggravated by the fact that existing FPS are not designed for powerful water intake structures, i.e. 10-50 m/s and more, although there are many FPS designs acceptable for successive use in small pumping systems.

Ichthyological watch stations have found out that every year a substantial amount of young fish dies in water intake structures.

In general, development and construction of FPS in water intake structures has become a serious national-economic problem with almost every specific case requiring a study of the issue in relation to the specifics of the pond, hydrology, hydrochemistry, volume of consumption, etc. There is also a well-known problem of FPS "binding" to a particular water basin. This problem is caused by the reasons already mentioned as well as by the amount of suspended substances, the distribution of the depths in seasonal dynamics, the degree of mineralization, pH, human impact level, navigation regime and other factors [3].

In the course of water bodies and watercourses bottoms exploitation (laying of trenches, channel reaches backfilling, soil extraction and so on), bottom configuration and soil composition also change, destroying biotopes of bottom-living animals (zoobenthos). These operations lead to the formation of a zone (a plume) of elevated turbidity (suspensions departure zone). The high turbidity plume creates unfavourable living conditions for fish, and also disrupts normal living conditions for those organisms that make up fish feeding base (zooplankton and zoobenthos). These factors form a kind of "temporary" damage to fish stocks. Damage caused by temporary divestiture of water areas as well as of surface areas deterioration in washlands is also temporary [4].

Due to adverse effects of turbidity on fish and aquatic invertebrates, limits of suspended materials in water is strictly controlled by the regulations on surface water protection. In fishery water bodies of the highest and first categories, the allowed excess of solids over background concentrations is limited to 0.25 mg/l. For water objects of other categories containing more than 30 mg/l of natural suspended substances, an 5% increase is allowed.

The amount of "temporary" damage depends on the parameters of adverse impact zones, the duration of the impact and the recovery time of damaged hydro-ecosystems [5].

Restoration or formation of new planktocenosis takes place the following year after the end of all works. Zoocenosis recovery is slow, with loss of part of species and a decrease in benthos biomass.

The researchers took OOO "Orlovka" as their testing site to implement measures for the rational use of its main water body. Orlovka used to take waters from the BolshoyKinel River to irrigate agricultural lands using a single point of the water intake structure. The experiment consisted in dividing this point into three located in different parts of the water intake structure in question , thus causing minimal damage to the water basin because of the minimal washaway of the water intake area and a more equitable water withdrawal. There are also FPS installed in suction inlets.

When a single point of water intake was used, water withdrawal for irrigating agricultural land was about 1011.52 thousand m3/year.

When additional water inlets were added, the volume of water withdrawal decreased (see Table 1). The decrease in the withdrawal of water was achieved through equitable distribution of water consumption and reduction of losses and leakage along the length of the water supply line.

The first point of water intake is used for irrigating four parcels of land (Field 1 –19 hectares, Field 2 –30 hectares, Field 3 – 36 hectares, Field 4 –18 hectares, total area – 103 hectares) with sprinkling machines (DMU-B 379-75 "Fregat" – 3 units) and mobile sprinkling installations with flexible plastic pipes of a drum type (Monsoon 2700 II, Beinlich, Germany – 2 units) (See the Appendix for their characteristics).

The second point of water intake is used for irrigating a 78-hectare area (Field 5) with a sprinkling machine Monsoon 2700 II (Beinlich, Germany) (See the Appendix for its characteristics).

The third point of water intake is used for irrigating a 95-hectare area (Field 6) with a sprinkling machine DMU-A 283-45 "Fregat" (See the Appendix for its characteristics).

At the beginning of the irrigation season, sprinkling machines are installed on the fields: Field 1 –Monsoon 2700 II; Field 2 – DMU-B 379-75 "Fregat"; Field 3 – DMU-B 379-75 "Fregat" (2 units); Field 4 – "Monsoon 2700 II"; Fld 5 – "Monsoon 2700 II"; Field 6 – DMU-A 283-45 "Fregat" . Sprinkler heads, pressure pipelining and movable parts are assembled and checked.

Table 1 – Distribution after the construction of an additional water intake structure

Point of water intake	Amount of irrigated land, [thousand m^3/year]	Area of irrigation, [hectares]
1	494.008	103
2	149.572	78
3	248.716	95
Total	892.296	276

Mobile pumping units are used to supply water to sprinkling machines (Point 1 of the water intake structure – a pumping station SNP 100/100 (2 units); Point 2 of the water intake structure – a pump with a tractor drive gear BOM of Rovatti T3-110 E type; Point 3 – a pumping station SNP 75/100). The pumping units are dragged to the water withdrawal site by a tractor or other motor vehicles (SNP 75/100) or are delivered to the site by road (SNP 100/100 and the pumping unit with the tractor drive gear BOM of Rovatti T3-110 E type).

All pumping units are installed outside the coast protection line (50 metres from water line) of the BolshoyKinel River. The platforms for the pumping units are made of concrete to prevent fuel leakage into the environment. There is a culvert installed around these platforms for emergency leakage. The use of pumping units does not adversely affect the ecological state of the main water object – the BolshoyKinel River.

The experiment also proved that a self-washed fish protecting structure (SFPS), installed on the suction line of these pumping units, might be successfully used to prevent young fish, algae and weed as well as litter from entering the pressure network.

Conclusions

The relevance of water intake structures research lies in water withdrawal from surface sources reduction, fishery conservation and reducing divestiture of water areas through reducing water withdrawal. All this confirms the fact that production practices, water consumption for agricultural needs and rational water resources utilization are being improved.

REFERENCES

1. Alekseevsky N.I. Small rivers of the Volga basin, Moscow, MSU, 1998.
2. Baranova V.V. Assessment of the impact of certain anthropogenic factors on environmental conditions and hydro-fauna of reservoir waters, V VGBO convention, vol. 2. Kuibyshev. (1986)
3. Yakovleva A.N. Forage resources and productivity of the Volga reservoirs, GOSNIORHD news. Vol. 138. (1978). 60-82.
4. Abbakumov V.P. Dredging operations and their influence on fish ecology in Volga-Caspian basin, Scientific proceedings. 59 (1990). 21-22.
5. Salnikov N.E. Hydro-mechanical operations and their impact on the fish fauna of freshwater and marine water bodies, 1st Russian Ichthiological Congress, Moscow (1997).

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕРОЩЕБНЯ НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ-УНОСА В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНА

А.И. Анненков, И.В. Амеличкин, А.Б. Доржиева, У.В. Бедрицкая
Научный руководитель: доцент, к.т.н. И. В. Фролова
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: annenkov1992@list.ru

Рассматривая проблему промышленных отходов, в частности вопрос утилизации техногенных материалов предприятий теплоэнергетической области, хотелось бы отметить растущую тенденцию применения техногенных отходов в качестве вторичного сырья в производстве строительных материалов. Среди загрязняющих веществ, отрицательно влияющих на окружающую среду, одно из первых мест занимают соединения серы. Практически вся сера (более 90%) сегодня производится как побочный продукт нефтепереработки цветной металлургии [1]. Использование технической серы для получения на её основе различных строительных композиций в качестве вяжущего является перспективным направлением в строительной индустрии. Влияние золошлаковых отходов на улучшение эксплуатационных и прочностных качеств строительных материалов, а также дешевизна данного продукта, зарекомендовали себя в производстве искусственных наполнителей. Известно, что на основе золы ТЭЦ и технической серы можно изготавливать серное вяжущее и строительные композиции. Обладая параметрами наибольшей золоёмкости и способствуя экономии природных минеральных ресурсов, использование серы и золы ТЭЦ является эффективным направлением решения экологических задач.

Цель данной работы - разработка композиций для получения заполнителя - серощебня, применение которому можно найти в качестве заполнителя в цементных бетонах. Объектом исследования данной работы явилась сера – попутный продукт Норильского горно-металлургического комбината и зола уноса Краснокаменской ТЭЦ. Зола уноса выполняла функцию наполнителя для придания серным композициям максимальной прочности и плотности.

Зола уноса Краснокаменской ТЭЦ представляет собой сыпучий мелкозернистый материал, полученный после сгорания бурого угля Уртуйского месторождения на электростанции. Основная минеральная фаза этой золы является перспективным вяжущим веществом для строительной промышленности, но её эффективной утилизации препятствуют примеси недожжённого угля, которые составляют более 10 %. Для стабильного использования золы в качестве универсального вяжущего содержание недожога в ней, согласно ГОСТу, не должно превышать 3%.

Было определено, что, исследуемый материал является полидисперсным и представлен в основном частицами с размером менее 0,25 мм. Фракции золы с размером частиц более 0,25 мм имеют более тёмную окраску и высокие потери при прокаливании, связанные с присутствием в данных фракциях значительного количества несгоревших частиц угля (32-49 %). Несгоревшие частицы целесообразно извлекать из золы, так как они снижают качество строительных изделий. Поэтому в данной работе фракции золы с размером частиц более 0,125 мм для получения серных композиционных материалов не использовались. Эти фракции после классификации и магнитной сепарации предложено направлять на повторное сжигание.

Структура и свойства технической серы соответствуют ГОСТ 127.1-93. Сера является термопластичным связующим с температурой плавления 113^0С, низкой химической активностью, достаточной механической прочностью, низкой себестоимостью и доступностью и хорошей адгезией к минеральным заполнителям бетона.

Серный композиционный материал представляет собой оптимально подобранную смесь расплава серы и тонкомолотого наполнителя, способную при охлаждении образовывать прочное камневидное тело [2]. В данной работе заполнитель получен при сплавлении серы с золой уноса, с последующим формованием из расплава монолитной плитки, которую после охлаждения подвергали дроблению.

Известно, что серобетоны обладают рядом уникальных свойств, таких как высокая прочность на сжатие и изгиб, химическая стойкость, высокая морозостойкость, низкое водопоглощение и водонепроницаемость [3]. Существенным недостатком серных композиций выступает их низкая термостойкость (свыше 120 ºС). Кроме того, при твердении серы наблюдается значительное изменение объёма, обусловленное фазовым переходом серы из жидкого состояния в твёрдое, и изменение

плотности фаз. Ввиду того, что наиболее интенсивное охлаждение происходит с поверхности, внутри образцов образуются скрытые от визуального контроля полости, существенно снижающие физико-механические свойства серобетонов. Высокая прочность и долговечность наполненных серных композитов достигается за счет прочных адгезионных связей вяжущего с наполнителем. Структуру контактной зоны можно изменить путём модификации связующего и поверхности наполнителя. В данной работе для повышения прочности композиции использовали модификатор хлорид алюминия. Состав серозольного вяжущего, масс. %: сера – 38; зола уноса – 60; модификатор (хлорид алюминия) – 2. Исследования свойств серощебня проводились на определение следующих показателей: истинная и насыпная плотность, пустотность, прочность по дробимости. Для сравнения указанные характеристики были проведены на пробе щебня фракции 10–15 мм из природного камня. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства заполнителей

Вид заполнителя	Насыпная плотность, кг/м^3	Истинная плотность, кг/м^3	Пустотность, %	Дробимость, %
Серощебень	1088	1980	45	10
Традиционный щебень	1620	2716	39	10

Результаты определения дробимости показали, что полученный материал имеет марку 200 и может использоваться для бетонов общестроительных марок. По основным физико-механическим характеристикам серощебень можно отнести к заполнителям, получаемым на основе отходов промышленности, например шлакам металлургического производства (ГОСТ 5578 – 94).

Таким образом, установлена принципиальная возможность использования золы уноса Краснокаменской ТЭЦ и технической серы для получения серного композиционного материала. Использование серощебня для производства бетонов позволит утилизировать техническую серу и золу уноса ТЭЦ, снизит затраты на складирование отходов, значительно улучшит экологическую ситуацию в регионе и сократит расход дорогостоящих природных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Личман Н. В. // Инженерно-строительный журнал. - 2011. - №8. - С. 29-34.
2. Личман Н.В. Комплексное исследование золы ТЭЦ как наполнителя в серные композиционные материалы // Строительные материалы. - 2009. - №12. – С. 75-77
3. Кухаренко Л.В., Личман Н.В., Никитин И.В. // Строительные материалы. - 2005. - №8. - С. 38-40.

КРИТЕРИИ УНИКАЛЬНОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА И ФАКТОРЫ РЕГИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ В ДРЕВНИХ КОМПЛЕКСАХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В.Б. Арчегов, Ю.В. Нефедов
Санкт-Петербургский Горный университет,
Россия, г. Санкт-Петербург, 21-я линия Васильевского острова, д. 2, 199106
E-mail: yurijnefedov@yandex.ru

Уникальность и индивидуальность многочисленных и разнообразных природных скоплений нефти и газа раскрываются через их классификации.

Местоскопления УВ классифицируются в нескольких аспектах, например: по групповому УВ-составу нефтей; по описательным, генетическим и техническим признакам нефтей и природных газов; по физическому по фазовому состоянию УВ; по величине извлекаемых и геологических запасов нефти и газа; по структурно-морфологическим признакам резервуаров нефти и газа, определяемым типом ловушек; по сложности строения резервуаров (ловушек) нефти и газа; по литотипам и состоянию коллектора в ловушке; по типу экрана в ловушке; по значениям рабочих дебитов УВ; по количеству и фазовому состоянию залежей УВ в месторождении; по соотношению контуров структур и залежей в нефтегазогеологических объектах; по приуроченности залежей нефти и газа к различным тектонотипам; по стратиграфическому распределению УВ и другим признакам. По плотности, выходу фракций и массовой доле парафина нефть подразделяется на 5 типов: особо (очень) легкие – до 0.80 г/см^3, легкие - 0.80-0.84 г/см^3, средние - 0.84-0.88 г/см, тяжелые -0.88-0.92 г/см^3, битуминозные (очень тяжелые) – более 0.92 г/см^3 [3].

Многообразие морфологических и генетических типов ловушек предопределяет и обилие типов залежей нефти и газа. В зависимости от строения коллектора различают залежи нефти и газа пластовые (неполнопластовые) и массивные. Выделяются залежи структурно-литологические, антиклинальные литологически ограниченные, структурно-стратиграфические (антиклинально-стратиграфические под несогласием или антиклинально-стратиграфические над несогласием), антиклинально-дизъюнктивные, антиклинальные с дизъюнктивным ограничением, водоплавающие (залежь нефти и газа антиклинальная), гидродинамически экранированные, дизъюнктивно экранированные, литологические (литологически экранированные и литологически замкнутые), гравитационные, самозапечатанные, стратиграфические и другие [5].

На громадной территории Сибирской платформы открыты месторождения нефти и газа, но их относительно немного. Тем не менее их количество позволяет провести сравнительный анализ и сделать некоторые предварительные выводы об общих для них закономерностях – пространственной приуроченности, сходстве геологического строения и условиях формирования [1]. Наиболее крупные месторождения на Сибирской платформе, в основном, приурочены к склонам антеклиз древнего заложения (Непско-Ботуобинской, Байкитской), обращенным в сторону сопряженных одновозрастных прогибов. Обычно их продуктивность обусловлена наличием протяженных зон улучшенных коллекторов, как в терригенных, так и в карбонатных отложениях. Громадную роль в формировании этих зон, как в конседиментационных, так и в постседиментационных условиях, играли крупные и протяженные разломы (межблоковые зоны) фундамента, по которым происходит ступенчатое погружение отдельных блоков в осадочном комплексе в сторону сопредельных прогибов.

Вторым типом пространственной связи месторождений Сибирской платформы с глубинными разломами фундамента является приуроченность ряда месторождений к межблоковым системам и зонам, разделяющим разновозрастные геоструктуры. Примерами подобного типа пространственного взаимоотношения являются Собинское, Пайгинское, Иктехское нефтегазоконденсатные, Верхневилючанское нефтегазовое и Ковыктинское газоконденсатное месторождения.

Третьим типом пространственной связи месторождений с разломами фундамента являются месторождения, примыкающие к зонам крупных поперечных грабенов, осложняющих структуры этих месторождений. Типичными примерами связи месторождений с грабенами являются Талаканское и Верхнечонское нефтегазоконденсатные месторождения.

Характерной чертой геологического строения всех залежей является то, что независимо к какому типу структуры они не были бы приурочены, распределение продуктивной нефтегазоносности по площади месторождения определяется литологической изменчивостью вмещающих отложений

(распределением «коллектор-неколлектор» в пределах данного продуктивного горизонта [1]). Отсюда в процессе бурения возникала повсеместно наблюдаемая кажущаяся мозаичность в распределении продуктивности по площади месторождения. Последующий анализ геологического строения месторождений, особенно наиболее детально разбуренных, с более плотной сеткой разведочных скважин, показал, что наблюдаемая изменчивость коллекторов не хаотична, а тесно связана с их блоковым строением. Разломная тектоника, определявшая блоковую делимость земной коры, существенно влияла как на конседиментационные условия распределения коллекторов, так и на возникновение дополнительной трещинной проницаемости в нефтегазонасыщенных горизонтах при последующих движениях блоков по этим разломам.

Выявление блокового характера геологического строения месторождений Сибирской платформы стало возможным лишь в процессе длительного изучения, с использованием методики Э.А. Базанова [1,4], комплексного анализа истории формирования залежей УВ в сочетании с изучением соотношения структуры подсолевого и соленосного комплексов, а также с привлечением такого косвенного признака, как стратиграфическое положение осложняющих разрез трапповых силлов.

Анализ гидродинамических и термобарических процессов, протекавших в разрезах изучаемых месторождений, а также фазового состояния флюидов (нефть, газ, конденсат, вода), выполненный во ВНИГРИ, дал возможность получить два весьма важных вывода об условиях формирования месторождений в венд-кембрийских и рифейских отложениях Сибирской платформы. Во-первых, показана большая роль вертикального перераспределения УВ в процессе формирования залежей в современном их виде и, во-вторых, молодость самого формирования залежей. Естественно, речь идет не об абсолютном возрасте месторождений, а лишь о заключительном этапе их переформирования [2].

В будущем, при проведении и наращивании поисково-разведочных работ, эту методику можно использовать уже в процессе их осуществления, так как прослеживание высокоамплитудной дизъюнктивной тектоники в соленосной части разреза достаточно легко осуществлять по сравнительно ограниченному объему бурения, а это, в свою очередь, позволяет сократить объем дорогостоящих работ по промышленному освоению месторождений нефти и газа в подсолевых отложениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбом месторождений нефти и газа в рифейских и венд-кембрийских отложениях Восточной Сибири. Красноярский край, Эвенкийский автономный округ, Иркутская область, Республика Саха (Якутия) / Под ред. М.Д.Белонина, В.Б.Арчегова. – СПб.: ВНИГРИ, 2000. – 32 с.
2. Арчегов В.Б. Блоковая делимость и нефтегазоносность Сибирской платформы / В.Б. Арчегов, Э.А. Базанов, В.В.Забалуев, Г.Д. Кулик. Нефтегазовая геология на рубеже веков. Прогноз, поиски, разведка и освоение месторождений. Т. 1. Фундаментальные основы нефтяной геологии. – СПб.: 1999. – С. 156-162.
3. Баженова О.К. Геология и геохимия нефти и газа: учебник /О.К.Баженова, Ю.К.Бурлин, Б.А.Соколов, В.Е.Хаин; под ред. Б.А.Соколова. – 2 –е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. МГУ, изд. центр «Академия» – 2004. – 415 с.
4. Базанов Э.А. Особенности геологического строения месторождений нефти и газа Западной Якутии и проблемы освоения этих месторождений / Э.А.Базанов. Перспективы развития и освоения топливно-энергетической базы Дальневосточного экономического района, углеводородных ресурсов шельфа морей Северо-Востока и Дальнего Востока России. Сб. докл. СПб.: ВНИГРИ, 1999. – С. 284-289.
5. Словарь по геологии нефти и газа. – Л.: Недра, 1988. – 679 с.

СИНТЕЗ СПЕЦИАЛЬНЫХ КЛИНКЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

А.Ю.Бабич
Научный руководитель: профессор, д.т.н. О.А. Мирюк
Рудненский индустриальный институт,
Казахстан, г.Рудный, ул. 50 лет Октября, 38, 111500
E-mail: psm58@mail.ru

Дефицит природного сырья обусловливает вовлечение в производство специальных цементов некондиционных пород и промышленных отходов, характеризующихся разнообразием химико-минерального состава. Расширение сырьевой базы сопровождается усложнением состава алюминатных клинкеров за счет фаз, содержащих магний и кремний.

Цель работы – исследование фазообразования при синтезе сульфатированных алюминатных клинкеров из техногенных материалов.

Исследована смесь из известняка (53%), лигнит-боксита (40%) и отходов обогащения скарново-магнетитовых руд (7%). Лигнит-боксит–некондиционная порода, включающая углефицированные древесные остатки, содержит, %: SiO_2 7–12; Al_2O_3 41–52; Fe_2O_3 1–5; CaO до 1; SO_3 4–6; R_2O до 0,5; п.п.п. 20–25. Минеральную основу породы образуют гидрооксиды алюминия: гидраргиллит и бемит. Химический состав отходов обогащения скарново-магнетитовых руд, %: SiO_2 40–45; Al_2O_3 10–12; Fe_2O_3 16–18;CaO 12–13;MgO 5–7; S 2–5; R_2O 2–4; п.п.п. 3–6. Минеральный состав отходов представлен преимущественно силикатами и алюмосиликатами различной структуры (пироксены, гранаты, эпидот, скаполит, хлориты, полевые шпаты). Наличие пирита предопределило возможность использования отходов в качестве сульфосодержащей составляющей смеси.

Образцы сырьевой смеси обжигали в интервале температур 800–1300^{0}C и исследовали дифрактометрическим методом (рис.1). Особенностью обжигаемой смеси является магниевый силикоалюминат кальция C_6A_4MS, известный как магнезиальный плеохроит или фаза Q [1].

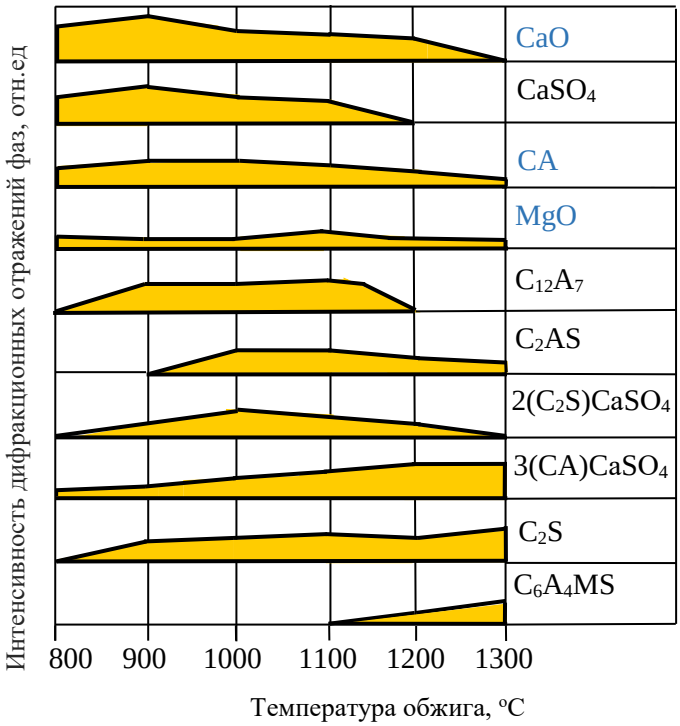


Рис. 1. Фазовые превращения при обжиге сырьевой смеси

Появлению этого соединения предшествуют различные взаимодействия [2], в том числе:

$$C_2AS + C \rightarrow C_2S + CA, \quad (1)$$

$$4CA + C_2S + M \rightarrow C_6A_4MS \quad (2)$$

Ряд авторов [1, 2] считает нежелательным присутствие C_6A_4MS в цементе, ссылаясь на слабые гидравлические свойства соединения. Однако результаты исследований синтеза и гидратации C_6A_4MS свидетельствуют о выразительной вяжущей активности фазы и высоких показателях прочности цемента [3]. Представляется целесообразным преобразование инертного геленита C_2AS в фазу, активную в гидратации. Формирование C_6A_4MS сопровождается уменьшением доли свободного MgO, содержание которого в цементах регламентировано.

В отходах обогащения скарново-магнетитовых руд магнийсодержащие минералы в основном представлены диопсидом $CaMg[Si_2O_6]$ и хлоритом $Mg_5Al[AlSi_3O_{10}](OH)_8$.

Заслуживает внимания образование C_6A_4MS при участии природных силикатов магния. Проследить характер превращений в полиминеральной смеси затруднительно. Поэтому готовили смеси, отличающиеся минеральным составом, с расчетом на одинаковое содержание оксида магния и образование алюминатов кальция в клинкере. Термические превращения в хлоритсодержащей смеси начинаются с разложения хлорита. Диссоциация минерала многостадийная: удаление химически связанной воды при температуре 550 – 800^{0}C, распад структуры хлорита с последующим образованием форстерита M_2S из аморфных продуктов распада (MgO и SiO_2) при температуре 820–840 ^{0}C. Взаимодействие форстерита с кальцитом обусловливает появление CMS_2 и MgO. Повышенная активность выделившегося диопсида CMS_2 обеспечивает его насыщение оксидом кальция до мервинита C_3MS_2. Выделение свободного CaO при декарбонизации кальцита способствует возникновению низкоосновных алюминатов кальция. Повышение температуры обжига увеличивает число и количество алюминатных фаз. Магнезиальный плеохроит образуется в результате взаимодействия:

$$C_3MS_2 + 4CA + C \rightarrow C_6A_4MS + C_2S \quad (3)$$

В последующем протекает реакция (2). Повышенная основность хлоритсодержащей смеси обусловливает образование высококальциевой фазы C_3A, наличие свободного CaO в клинкере.

В диопсидсодержащей смеси минерал CMS_2 постепенно насыщается до C_3MS_2. Характер других превращений во многом аналогичен описанным для хлоритсодержащей смеси. Однако повышенная доля кремнезема в диопсидсодержащей смеси предопределяет появление C_2AS и формирование большего, чем в хлоритсодержащей смеси, количества C_6A_4MS, полностью связавшего MgO. Недостаток CaO объясняет стабильность C_2AS и C_3MS_2 в клинкере.

Следовательно, присутствие в сырье силикатов магния обеспечивает образование C_6A_4MS в алюминатных клинкерах. При этом природные минералы диопсид и хлорит являются поставщиками соответственно некарбонатного CaO и дополнительного количества Al_2O_3 для формирования алюминатных фаз клинкера. Магниевые силикаты и алюмосиликаты широко распространены в природных и техногенных материалах. В связи с устойчивой тенденцией разнообразия цементного сырья расширяются возможности для экономии дефицитных материалов и оптимизации фазового состава малоэнергоемких клинкеров.

Выводы. Использование техногенного сырья обусловливает усложнение фазового состава алюминатных клинкеров за счет образования C_6A_4MS. Направленное регулирование химического состава сырьевой смеси в расчете на формирование C_6A_4MS позволит преобразовать нежелательные фазы C_2AS и MgO в гидравлически активное соединение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецова Т.В. Алюминатные и сульфоалюминатные цементы.– М.: Стройиздат, 1986.– 208 с.
2. Kouznetsova T.V., Samchenko S.V. Resistance of the calcium sulphoaluminate phases to carbonation // Cement, Wapno, Beton. – 2014. – № 5. – P. 317–322.
3. Мирюк О.А. Гидратационная активность магниевого силикоалюмината кальция // Вестник. Национальной инженерной академии Республики Казахстан. – 2005. – № 1. – С. 117 – 121.

ПОЛУЧЕНИЕ ГРАНУЛИРОВАННОГО СЕРОЗОЛОБИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

У.В. Бедрицкая, А.Б. Доржиева, А.И. Анненков
Научный руководитель: доцент, к.т.н. И.В. Фролова
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: uvh1@tpu.ru

Современные Российские теплоэнергоцентрали (ТЭЦ) не только обеспечивают страну необходимым количеством энергии, но и в то же время представляют собой экологическую опасность, связанную с накоплением все больших количеств золы, которая представляет собой мелкую пыль, вредную при вдыхании. Кроме того, в дополнение к вредному воздействию отходов теплоэнергоцентралей возникает проблема увеличения количества производимой серы, количество которой превышает требуемое. В настоящее время в ряде стран наблюдается тенденция избыточного производства серы по сравнению с ее потреблением (Россия, Казахстан, США, Канада). Также увеличивается количество летучей золы на Северской ТЭЦ, что представляет опасность для окружающей среды. В связи с ростом интенсивности движения автотранспорта увеличивается износ и разрушение дорожных покрытий, поэтому актуальным на сегодняшний день становится вопрос о ремонте дорожного полотна вяжущим на основе серы и золы, полученного в виде гранул. Кроме того, это позволит сэкономить основной компонент асфальтовой смеси - битум.

Целью данной работы явилось получение гранулированного вяжущего на основе золы, серы и битумной эмульсии.

Существует несколько способов получения гранул: окатыванием, диспергированием жидкости в свободном объеме, прессованием, чешуированием и т.д.

Гранулирование дисперсных материалов методом окатывания это процесс превращения сухой, свободно текущей или влажной бесформенной агрегированной дисперсной системы в сферические гранулы одинакового размера, плотности и прочности [1].

В.М. Витюгин в своем исследовании [2, 3] показал, что вибрационное уплотнение аналогично процессу окатывания. Из опыта применения вибрационных воздействий в формировании порошков, уплотнения грунтов известно [4], что при этом достигается наиболее плотная упаковка частиц, приближающаяся к теоретически возможной. Воздействие вибрации приводит к изменению поведения уплотняемого материала, вызванному проявлением реологических эффектов, уменьшающих силы трения и сцепления между частицами материала и в целом снижающих сопротивление его деформированию.

Состояние максимального уплотнения материала, не разрушающего отдельные частицы, определяется подвижностью жидкости в поровом пространстве. Исходя из того, что поровая жидкость практически несжимаема в процессе окатывания, ее нулевая подвижность будет соответствовать максимальному уплотнению частиц. Влажность, которая соответствует данному уплотнению дисперсного материала, будет нижним пределом рабочей влажности, начинающей процесс окатывания.

Исходя из вышесказанного, был смоделирован процесс гранулообразования в процессе вибрационного уплотнения. Были получены образцы на вибростоле в металлической форме с утяжелителем в течение 10 минут. Объектами исследования были: зола Северской ТЭЦ (фракция меньше 0,5 мм), сера Норильского горно-металлургического комбината и битумная эмульсия марки ЭБК-1. Данные о составах, подобранных при вибрационном уплотнении, представлены в таблице 1.

На основании данных подобранных составов получены гранулы размерами от 0,9 х 1,8 см до 2,5 х 1,7 см. Гранулы получены на грануляторе тарельчатого типа: диаметр тарели 0,5 м, угол наклона 46 – 48 º и скорость вращения тарели 36 об/мин. Время гранулирования составило 15 – 20 минут. Полученные гранулы подверглись испытаниям на прочность при раздавливании, и на основании этих данных построена зависимость прочности гранул от влажности (рис. 1.).

Таблица 1 – Составы смесей

№	Зола, г	Сера, г	Битумная эмульсия, мл	Вода, мл
I	45	5	30	10
II	45	5	34	6
III	45	5	36	4

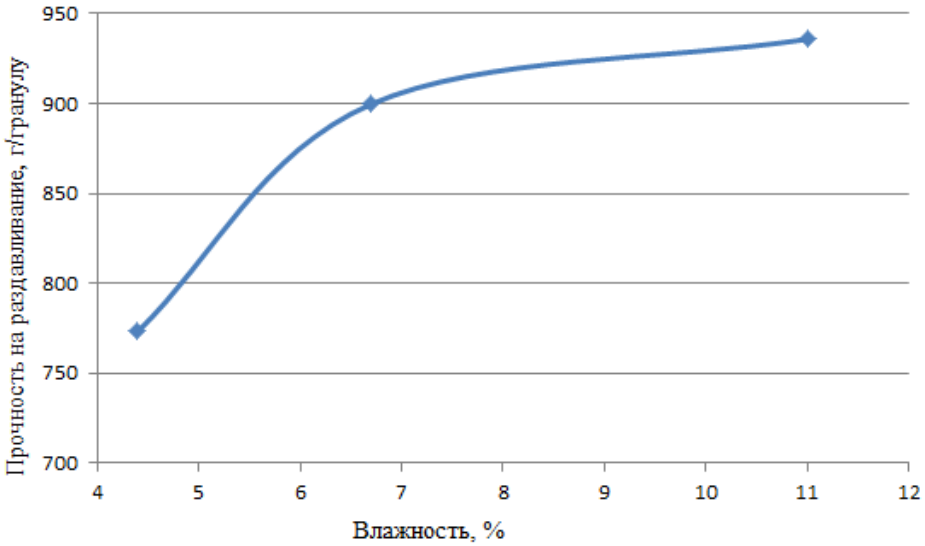


Рис. 1. Зависимость прочности гранул от влажности

Таким образом, проведенные исследования показали, что полученные на основе золы, серы и битумной эмульсии гранулы удовлетворяют требованиям экологии и имеют достаточную прочность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Витюгин А.В. Исследование процесса гранулирования дисперсных материалов окатыванием в тарельчатых аппаратах. – Томск , 1979. – 312 с.
2. Витюгин В.М., Трофимов В.А. Исследование вибрационного уплотнения тонкозернистых материалов при различной влажности // Известия ТПУ. – 1975. – Т. 197. – С. 146–147.
3. Витюгин В.М., Трофимов В.А. Экспресс-метод определения оптимальной влажности тонкозернистых материалов перед окомкованием // Известия ТПУ. – 1974. – Т. 215. – С. 68–69.
4. Шаталова И.Г., Горбунов Н.С., Лихтман В.И. Физико-химические основы вибрационного уплотнения порошковых материалов. – М.: Наука, 1965. – 163 с.

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Н.С. Бессонова, О.Н. Медведева
Научный руководитель: профессор, д.т.н. О.Н. Медведева
Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина,
Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, 410054
E-mail: medvedeva-on@mail.ru

В современном понимании Газовый комплекс России берет свое начало с середины 50-х годов прошлого столетия. В этот период в качестве опорных пунктов выступали стационарные газорегуляторные пункты (ГРП), для их изготовления требовалось сооружать полноценное здание, что предопределяло высокую степень централизации и соответствующую структуру распределительных газопроводов. Данный тип ГРП отличался надежностью, удобством эксплуатации, однако их строительство требовало больших временных и денежных затрат. В настоящее время стационарные газорегуляторные пункты не отвечают существующим требованиям строительства и становятся историей. Одним из основных элементов систем газоснабжения выступают газопроводы, на их сооружение расходовалось более половины всех капитальных вложений, при этом порядка 2/3 протяженности газовых сетей приходилось на газопроводы низкого давления [1]. Указанное обстоятельство обусловливало повышенную металлоемкость (материалоемкость) системы, что влекло за собой увеличение стоимости сооружения и эксплуатации систем газоснабжения.

Технико-экономическое обоснование строительства системы (протяженность, диаметр, капиталовложения и др.) определяется рядом факторов, основными из которых являются характер планировки и застройки газоснабжаемого населенного пункта и часовые расходы газа. Как следует из [2], сети низкого давления практически не зависят от размеров населенного пункта и расстояния до газораспределительной станции. При проектировании же сетей среднего и высокого давления выбор точек питания является важным средством оптимизации. Поэтому одним из направлений совершенствования технико-экономических характеристик газораспределительных систем является выбор рациональной «глубины ввода» сетей среднего давления в общую структуру газораспределительной системы [1, 3]. Присоединение газопроводов среднего давления к газопроводам низкого давления приводит к увеличению диаметров газопроводов, требуя, тем самым, дополнительных капиталовложений, но с другой стороны, уменьшаются капиталовложения в сеть низкого давления [4–6 и др.]. Решение вопроса в пользу того или иного варианта зависит от ряда факторов: от размера газоснабжаемого населенного пункта, удаленности от газовых сетей среднего (высокого) давлений; от возможности использования различных типов газогорелочных устройств (их комбинации), характера планировки населенного пункта (характера застройки), плотности газоснабжаемого населения, нагрузки и т.д. В качестве альтернативного способа повышения экономической эффективности систем газоснабжения можно рассматривать использование систем одноступенчатого снижения давления, например, применяя газопроводы среднего давления. Как показывают исследования, системы газоснабжения среднего давления примерно на 20÷30% экономичнее систем низкого давления [2, 3]. В конце 70-х годов прошлого столетия появились работы, основанные на опыте газификации городов США, Франции и рекомендующие для небольших потребителей газа использовать газопроводы среднего и высокого давления. Применение таких схем предполагало установку у каждого потребителя большого числа домовых пунктов редуцирования. Как показывает практика, обеспечение необходимого давления газа на газоиспользующем оборудовании достигается в случае, когда пункт редуцирования размещается как можно ближе к абоненту, так как при этом обеспечивается поддержание давления газа на нужном уровне вне зависимости от изменения расхода газа и обеспечиваются наилучшие условия для сжигания газа [7]. Данное обстоятельство повышает надежность работы и коэффициент полезного действия (КПД) газоиспользующих приборов у всех потребителей за счет равномерной подачи газа. Такие системы с надежными регуляторами небольшой производительности оказываются экономичными и технически более совершенными [6]. В случае повышения величины давления газа, на что не требуется затрат энергии, и установке регуляторов давления у потребителей можно снизить расходы на строительство и эксплуатацию в несколько раз (металлоемкость газопроводов снижается до 40%, что обеспечивает адекватное снижение затрат по сравнению с затратами при двухступенчатой схеме газоснабжения).

В современной газовой практике все более широкое распространение получает вариант газораспределительных систем, предусматривающий двухступенчатые системы газоснабжения с линейными пунктами редуцирования и домовыми стабилизаторами давления газа. В данном варианте газовые сети низкого давления эксплуатируются при повышенном (до 5000 Па) давлении газа с последующим его снижением перед газоиспользующими приборами до номинальной величины (2000 Па) с помощью домовых стабилизаторов давления газа.

В целях обоснования выбора рационального варианта газораспределительных систем были проведены соответствующие технико-экономические исследования. В качестве целевой функции задачи использовались удельные (на одно здание) годовые дисконтированные затраты в систему газоснабжения по комплексу: газовые сети – потребитель [8]. В общем случае, исходные функционалы исследуемой задачи имеют следующий вид (формулы 1–3):

- вариант 1 (двухступенчатая схема с линейными пунктами редуцирования):

$$\Delta З_{А} = З_{гс}^{с/д}(q,s,n) + З_{пргш}(V,n) + З_{гс}^{н/д}(q,s,V,\Delta P) + \Delta T\{\eta_{г}[Р_{г}(\Delta P], V_{год}\}; \quad (1)$$

- вариант 2 (одноступенчатая система с индивидуальными пунктами редуцирования):

$$\Delta З_{Б} = З_{гс}^{с/д}(q,s) + З_{пргш} + З_{гс}^{н/д}(q,s,V,\Delta P); \quad (2)$$

- вариант 3 (двухступенчатая схема с линейными пунктами редуцирования и домовыми стабилизаторами давления газа):

$$\Delta З_{В} = З_{гс}^{с/д}(q,s,n) + З_{пргш}(V,n) + З_{гс}^{н/д}(q,s,V,\Delta P) + Зсд, \quad (3)$$

где $З_{гс}^{с/д}, З_{гс}^{н/д}$ – затраты в сети среднего и низкого давления, , включая внутридворовые и домовые газопроводы, руб/(год.кв); $З_{пргш}$ – затраты в газорегуляторные установки, руб/(год.кв); Зсд– затраты в домовые стабилизаторы давления газа, руб/(год.кв); ΔT – годовая стоимость дополнительно расходуемого газа, руб/(год.кв); q – плотность населения, чел/м^2; s – средняя заселенность квартир, чел/кв; n – оптимальное количество квартир (домов), подключаемых к одному пункту редуцирования, кв; V – максимальный часовой расход газа одной квартирой, м^3/(ч·кв); $V_{год}$ – годовой расход газа одной квартирой, м^3/(год. кв); ΔP – оптимальный расчетный перепад давления в газопроводах, Па; $\eta_г$ – КПД газоиспользующих установок, %.

По результатам технико-экономических расчетов было установлено, что в случае газоснабжения потребителей с использованием двухступенчатой системы газоснабжения с домовыми стабилизаторами давления газа обеспечивается снижение годовых дисконтированных затрат в сооружение и эксплуатацию системы газоснабжения:

- по сравнению с вариантом 1): $\Delta З$ = 23,8%;
- по сравнению с вариантом 2): $\Delta З$ = 33,3%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ляуконис А.Ю. Оптимизация городского газоснабжения. – Л.: Недра, 1989. – 302 с.
2. Берхман Е.И. Экономика систем газоснабжения. – Л.: Недра, 1975. – 375 с.
3. Торчинский Я.М. Оптимизация проектируемых и эксплуатируемых газораспределительных систем. – Л.: Недра, 1988. – 239 с.
4. Гофман-Захаров П.М. О технико-экономических предпосылках построения газоразводящих систем низкого давления // Газовая промышленность. – 1956. – №11. – С. 22-28.
5. Медведева О.Н. Технико- экономическое обоснование одноступенчатых систем газоснабжения среднего давления с домовыми регуляторами // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнергоснабжения. – Саратов: СГТУ, 2007. – №1(2). – С. 25-31.
6. Медведева О.Н. Выбор рациональной области применения одно- и двухступенчатых систем газоснабжения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – №18. – 2010. – С.110-117.
7. Багдасаров В.А. Внутридомовые газовые сети и оборудование. – Л.: Недра, 1974. − 152 с.
8. Медведева О.Н. Моделирование поселковых систем газоснабжения // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2011. – Т.1. – №1 (52). – С. 202-209.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ AU-TE ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ САМОЛАЗОВСКОЕ (ЦЕНТРАЛЬНО-АЛДАНСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН, ЯКУТИЯ)

Я.Ю. Бушуев, В.И. Леонтьев
Санкт-Петербургский горный университет,
Россия, г. Санкт-Петербург, В.О. 21-я линия д.2, 199106
E-mail: bushuev@spmi.ru, leontev@spmi.ru

Месторождение Самолазовское находится в пределах Юхтинского интрузивного массива, сложенного тремя фазами лебединского монцонит-сиенитового комплекса (J_3-K_1). Массив представляет собой лополит, локализованный между архейским кристаллическим фундаментом гранитогнейсового состава и толщей венд-нижнекембрийских карбонатных пород осадочного чехла. На начальных этапах освоения месторождения считалось, что основной объём золотого оруденения локализуется в скарнах в зоне контакта сиенитов с карбонатными породами [1]. В связи с их интенсивным гипергенным преобразованием господствовало мнение о концентрировании золота в процессе формирования коры выветривания по скарнам и наложенным на них метасоматитам [2]. Однако, в более поздних работах [3], основанных на данных эксплуатационной разведки, подчёркивается, что гипергенные процессы не привели к массовому концентрированию рудного вещества. В настоящее время руды, развитые по скарнам полностью отработаны, а в карьере вскрыты рудоносные метасоматиты по субщелочным кварцевым сиенитам. На месторождении выделено 4 гидротермально-метасоматических парагенезиса [4]: скарновый, развитый на контакте сиенитов и карбонатных пород; гумбеитовый, наложенный на породы интрузивного массива; фельдшпатолитовый, развитый в гранитогнейсах фундамента на их контакте с интрузией; рудоносный (Au-Te) флюорит-роскоэлит-карбонат-кварцевый, наложенный на все выше перечисленные типы пород. Геохимические особенности руд, развитых по скарнам достаточно хорошо изучены [5], в то время как руды глубоких горизонтов Самолазовского месторождения описываются впервые в данной работе.

Работа основана на анализе 15 образцов различных пород и руд, представляющих все типы гидротермально-метасоматических изменений (за исключением скарнового) и материнских пород, по которым они развивались. Золото определялись пробирным анализом, серебро – атомно-абсорбционным методом с разложением в царской водке; элементы-примеси определялись комплексом методов ICP-AES/ICP-MS (аккредитованная лаборатория АО «СЖС Восток Лимитед», г. Чита). Пробы, для которых известно, по какому эдукту они развивались, сравнивались по коэффициентам концентрации основных рудных элементов (рис. 1, рис. 2; в легенде рисунков породы, по которым развивается флюорит-роскоэлит-карбонат-кварцевый парагенезис названы «оруденелыми»).

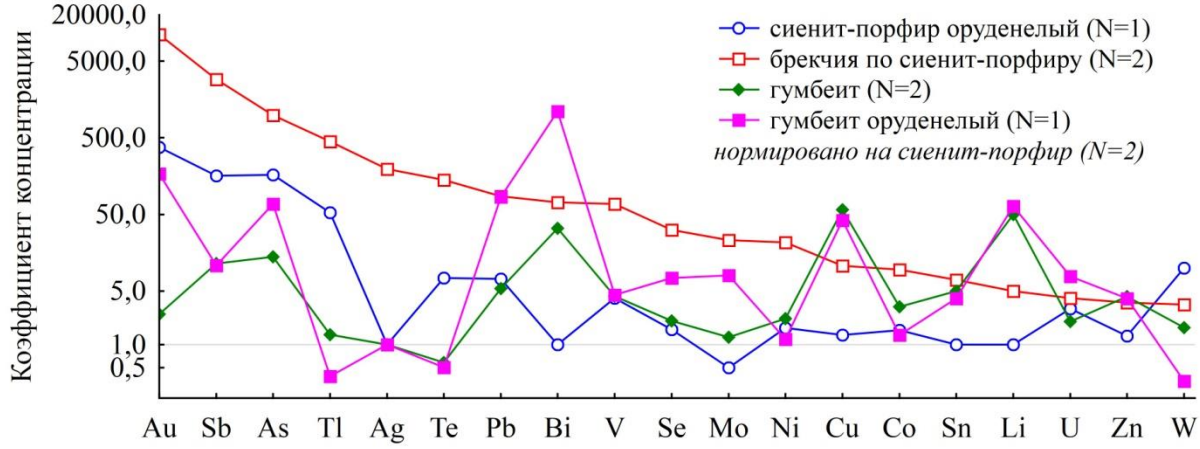


Рис. 1. Сравнение метасоматитов, развитых по сиенит-порфирам, по коэффициентам концентрации рудных элементов

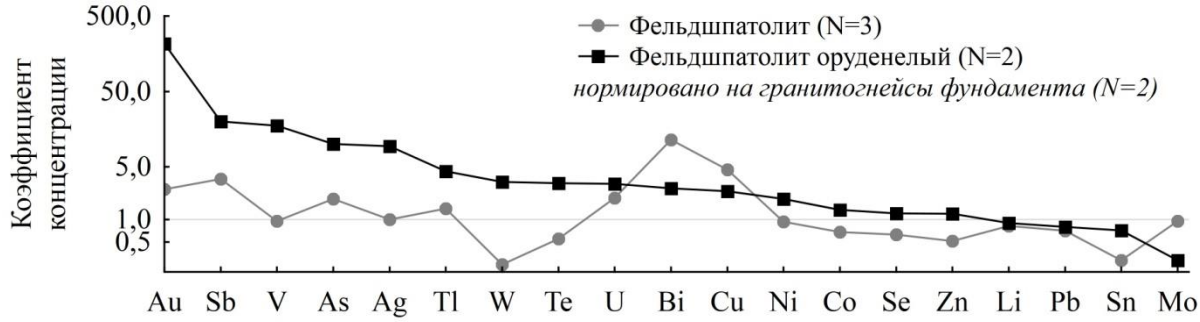


Рис. 2. Сравнение метасоматитов, развитых по гранитогнейсам фундамента, по коэффициентам концентрации рудных элементов

Анализ диаграмм показывает, что имеется как минимум две различные геохимические ассоциации элементов: золото-теллуридная (Au, Sb, As, V Tl, Te, W), и полиметаллическая (Pb, Zn, Cu, Bi, Mo, Se, U, Li). Полиметалическая ассоциация, на данном этапе изучения, выделена условно и связывается нами с гумбеитизацией сиенитов (отметим, что коэффициенты концентрации характерных для теллуридной стадии Te, Tl в оруденелом гумбеите меньше 1; концентрация V в оруденелом гумбеите такая же, как и в безрудном). Для обоснования выделения данной ассоциации требуются дальнейшие исследования. Золото-теллуридная ассоциация в наиболее чистом виде проявлена в оруденелом фельдшпатолите (см. рис. 2), за счет отсутствия воздействия гумбеитизации; коэффициенты концентрации элементов характерных для полиметаллической ассоциации первые единицы – десятые доли единицы. Отдельно отметим, что наиболее продуктивны на золото брекчии по сиенит-порфирам, в которых совмещены обе геохимические ассоциации.

Заключение. По коэффициентам концентрации рудных элементов для метасоматитов Самолазовского месторождения выделено 2 геохимические ассоциации: золото-теллуридная Au, Sb, V, As, Ag, Tl, W, Te и полиметаллическая Pb, Zn, Cu, Bi, Mo, Se, U, Li. Максимально продуктивны на золото рудные брекчии, в которых совмещены обе эти стадии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00334 мол_а

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев В.Н., Элюев В.К., Боярко Г.Ю. Самолазовское золотоскарновое месторождение // Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых Сибири: Материалы конференции, посвященной 70-летию со дня открытия кафедры геологии и разведки месторождений полезных ископаемых в Томском политехническом университете (институте). - Томск: ТПУ, 2000. - С. 108-117.
2. Ветлужских В.Г., Казанский В.И., Кочетков А.Я., Яновский В.М. Золоторудные месторождения Центрального Алдана // Геология рудных месторождений. - 2002. – Т. 44. - № 6. - С. 467-499.
3. Максимов Е.П., Уютов В.И, Никитин В.М. Центрально-Алданская золото-урановорудная магматогенная система (Алдано-Становой щит, Россия) // Тихоокеанская геология. – 2010. –Т. 29. - № 2. - С 3-26.
4. Леонтьев В.И. Руды и метасоматиты Самолазовского золоторудного месторождения (Центрально-Алданский рудный район) // Новое в познании процессов рудообразования: Тезисы докладов IV российской молодёжной научно-практической школы. – М: ИГЕМ РАН, 2014. – С. 193-196.
5. Ворошилов В.Г., Боярко Г.Ю., Бирбков Е.И. Геохимическая зональность Самолазовского золоторудного поля, Центральный Алдан // Руды и металлы. - № 6. -2002. - С. 53-58.

КИНЕТИКА ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ВЫСОКОКРЕМНИСТЫХ БОКСИТОВ СОЛЯНОЙ КИСЛОТОЙ

Д.В. Валеев
Научный руководитель: д.т.н. Г.Б. Садыхов
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук,
Россия, г. Москва, Ленинский проспект, 49, 119334
E-mail: dmvaleev@yandex.ru

Главной примесью при получении глинозема по солянокислотной технологии является железо, которое вместе с алюминием переходит в раствор в процессе кислотного выщелачивания. Самым перспективным способом для выделения железа в отдельный материальный поток по сравнению с магнитной сепарацией, электрохимическим осаждением, высаливанием и бактериальным выщелачиванием является предварительная обработка боксита слабо концентрированным раствором соляной кислоты. Этот подход позволяет перевести в раствор ~ 99% железа и получить солянокислые растворы, которые можно использовать для получения пигментного оксида железа (III) [1, 2].

В работе было изучено влияние температуры, концентрации соляной кислоты и продолжительности процесса выщелачивания на степень извлечения железа и алюминия в раствор.

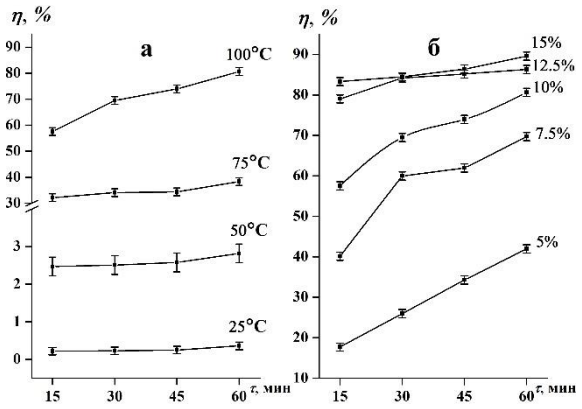


Рис. 1. Зависимость степени извлечения алюминия (η) в раствор от продолжительности выщелачивания (τ), температуры (а) и концентрации соляной кислоты (б)

Обработка полученных экспериментальных данных с применением уравнения сжимающегося объема, позволила определить, что процесс обезжелезивания протекает в кинетической области (Ea = 113,81 кДж/моль, n = 1,53) и может быть описан уравнением: $W(T,C) = 1{,}74 \times C(HCl)1{,}53 \times \exp(-131{,}83/RT)$.

Проведенные исследования показали возможность удаления >99% железа из алюмосодержащего сырья с помощью выщелачивания соляной кислотой. При этом удалось минимизировать потери алюминия при растворении минерала гиббсита.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (программа «СТАРТ» договор 1409ГС1/22707).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Reddy B.R., Mishra S.K., Banerjee G.N. Kinetics of leaching of a gibbsitic bauxite with hydrochloric acid // Hydrometallurgy. – 1999. – V. 51 – P. 131–138.
2. Хабаши, Ф. Химическое обогащение ильменита // «Цветные металлы–2011»: матер. конф. – Красноярск, 2011. – С. 288–297.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ ИНТРОСКОПИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Р.А. Груздев
Научный руководитель: н.с., к.ф–м.н. А.А. Миронова Е.А.
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Россия, г.Москва, Ленинский проспект,4, 119991
E-mail: student.gruzdev@yandex.ru

Образование и развитие микротрещин в геоматериалах начинается с момента приложения нагрузки, составляющей 30-50% от нагрузки разрушения [1]. Основными характеристиками, определяющими прочность породы, являются поры, поровые каналы и микротрещины [2].

В настоящей работе проведено сравнение использования методов компьютерной рентгеновской томографии и оптико-акустической спектроскопии для исследования внутренней структуры и свойств образцов геоматериалов. Показано, что что для локализации пор с характерными размерами порядка 5 мкм необходимо использовать рентгеновскую томографию. Однако в этом случае размер образцов ограничен 1 см^3. Для изучения полномасштабных кернов применялась лазерно-ультразвуковая структуроскопия, разрешение которой составляло 30 мкм.

Были изготовлены образцы габбро-диабазов в форме параллепипедов. Методом компьютерной рентгеновской томографии на «SkyScan-1172» с последующей реконструкцией по программам Nrecon, CTan, CTvol SkyScan.были определены минеральный состав, а также основные физико-механические характеристики, приведённые в табл.1

Таблица 1. – Минеральный состав и основные физико-механические характеристики образцов габбро-диабаза

Содержание минералов, об.%					Объёмная плотность, г/см^3	Предел прочности при сжатии, МПа
Плагиоклаз	Кварц	Актинолит	Биотит	Сфен		
41,5	3,6	47,0	2,2	5,7	2,98	192

В автоматическом режиме была проведена лазерно-ультразвуковая структуроскопия при помощи дефектоскопа УДЛ-2М [3]. Размеры, форма, объем, удельная поверхность, сообщаемость пор, их пространственная ориентировка, распределение, плотность пор определялись на отдельных томографических срезах (2D-система) и в объёме образца (3D-система).

Затем на гидравлическом прессе при одноосном сжатии образцы были нагружены до разрушения при нагрузке 192 МПа. Проводилась лазерно-ультразвуковая структуроскопия и рентгеновская томография обломков. Структура образца после воздействия разрушающей нагрузки с локализацией трещины, стала более однородной, что скорее всего связано со смыканием микротрещин под воздействием одноосного сжатия.

Изучение структуры трещин показывает, что они представляют собой линейно-плоскостные участки, состоящие из сообщающихся между собой полостей, внутри которых присутствуют минеральные частицы микронных размеров.

Появление трещин удовлетворительно объясняет увеличение сообщаемости пор, т.к. в исходном образце она составляет 2,81%,а в разрушенном 27,88%.

Таким образом, по данной работе можно сделать вывод, что при разрушении образца под действием одноосного сжатия происходит преобразование структуры: внутрикристаллические поры частично смыкаются, но в то же время появляются новые поры крупнокапиллярного размера, сосредоточенные в нереализованных трещинах. Структура трещин представляет собой систему сообщающихся пор с наличием минеральных частиц микронных размеров внутри них.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайсберг Л.А., Каменева Е.Е. Возможности метода компьютерной рентгеновской микротомографии при исследовании физико-механических свойств горных пород // Горный журнал, 2014, № 9, с. 85-89.
2. Вайсберг Л.А., Каменева Е.Е., Пименов Ю.Г., Абросимов А.А. Исследование деформации гранита при одноосном сжатии // Горный журнал, № 4, 2015. – С.50-54
3. Карабутов А.А., Макаров В.А., Черепецкая Е.Б., Шкуратник В.Л. Лазерно-ультразвуковая спектроскопия горных пород. М.: Изд "Горная книга", 2008, 176 с.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ МИКРОТОМОГРАФИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

А.М. Дурягина[1], И.В. Таловина[1], А.А. Штырляева[1], О.А. Попов[2]
Научный руководитель: д.г.-м.н. И.В. Таловина
[1] Санкт-Петербургский горный университет
Россия, г. Санкт-Петербург, 21 линия, 2, 199106
[2] Фрайбергская Горная академия, институт Обогащения
Германия, г. Фрайберг, Академиштрассе, 6, 09599
E-mail: gayfutdinovaam@yandex.ru

Анализ статистических данных, которые влияют на эффективность процессов разрушения и дезинтеграции в различных типах машин, показывает, что основное влияние на них (более 60 %) оказывают структурно-текстурные особенности горных пород и руд. Традиционно используемая для изучения структурно-текстурных характеристик горных пород оптическая микроскопия имеет ряд ограничений, связанных не только с описанием объемных параметров структур и текстур, но также и с разрешением изображения. В последние годы появились новые технологии, способные существенно расширить возможности оптико-петрографических исследований. Одним из них является метод рентгеновской компьютерной томографии (КТ). Принципы работы компьютерного томографа подробно описаны в многочисленных публикациях [1-3]. Суть метода заключается в понижении мощности рентгеновского излучения при его прохождении сквозь некоторый объем вещества за счет фотоэлектрического поглощения, величина которого зависит от атомного номера элемента.

В работе методом КТ было проанализировано три разных в структурно-текстурном отношении образца: медистый песчаник, гранодиорит и кимберлит. Все исследования проводились на микротомографе «SkyScan-1172» (Bruker, Бельгия).

Гранодиорит по данным проведенных рентген-томографических исследований состоит на 89,3 % из кварца и полевого шпата, содержит слюды в количестве 7,7 % и небольшое количество акцессорных минералов. В изученном образце слюды довольно равномерно распределены по всему объему породы, чешуйки их слегка ориентированы и имеют средний размер 0,86 мм. Коэффициент сферичности ($К_{сф}$), рассчитанный как отношение короткой к длинной оси зерна, равен 0,48. Удельная поверхность, рассчитанная как отношение общей поверхности минералов к их объему и отражающая неровность поверхности зерен, минимальная среди всех изученных образцов (20,2 $мм^2/мм^3$).

Медистый песчаник содержит 5,2% рудных минералов, представленных, главным образом, самородной медью, заключенных в тонкозернистую кварцевую (53,1%) и кальцитовую (40,3%) матрицу. Медные минералы образуют скопления и мелкозернистые агрегаты размером от 0,10 до 0,26 мм со средним размером отдельных зерен 0,07 мм. Сростки чаще всего имеют неровные извилистые очертания и неправильную форму: $К_{сф}$ равен 0,58, удельная поверхность равна 31,86 $мм^2/мм^3$.

Кимберлит состоит из мелкокристаллической карбонат-серпентиновой основной массы (26,4%) с вкрапленниками оливина (32,7 %), пироксена (33,5 %), флогопита и включениями акцессорных минералов (7,4 %). Вкрапленники оливина и пироксена чаще всего неправильной формы, имеют сложную морфологию, распределены в породе неравномерно, образуют отдельные скопления размером 1,5-2,6 мм, встречаются также единичные агрегаты зерен размером до 15 мм.

Результаты проведенных исследований сравнивались с данными сертифицированных методик [4], которые показали, что компьютерная рентгеновская микротомография позволяет быстро и достаточно точно охарактеризовать ряд морфометрических параметров. Несомненным достоинством метода является также возможность 2D- и 3D-визуализации данных при помощи специализированных программ CTvox и CTan (Bruker, Бельгия), которые помогают проанализировать не только размеры зерен и их агрегатов, но и их распределение в общем объеме породы и взаимоотношения друг с другом. Стоит отметить, однако, и ограничения метода КТ. Возможности томографа не позволяют, например, выделять отдельные зерна минералов с близкой рентгеновской плотностью, во всяком случае, без проведения дополнительных оптико-петрографических или электронно-микроскопических исследований. Максимально эффективно методом КТ отличаются рудные минералы с высокой рентгеновской плотностью (самородные элементы, сульфиды и оксиды металлов) от силикатной матрицы (кварц, полевой шпат, оливины, пироксены, амфиболы) и т.д., в то время как, к примеру,

кварц и полевой шпат отличить друг от друга довольно проблематично в виду их близкой рентгеновской плотности. Кроме того, по этой же причине томограф анализирует часто не отдельные зерна минералов, а их сростки, в связи с чем возможны более высокие значения среднего диаметра зерен и их агрегатов.

Помимо морфометрических показателей методом КТ были изучены параметры порового пространства образцов. Именно фактор пористости часто является определяющим при интерпретации прочностных характеристик породы и ее поведения в процессе дезинтеграции, так как разрушение происходит по наиболее ослабленным зонам – границам срастаний отдельных минеральных фаз, трещинам и т.д.[5]. Изучение параметров порового пространства образцов методами КТ показало, что во всех трех образцах развиты поры в основном субкапиллярного и капиллярного размера, встречаются также единичные поры диаметром более 0,1 мм. Общая пористость образца гранодиорита составляет 3,05%, медистого песчаника 1,4%, кимберлита – 0,13%. При сравнительном анализе характеристик порового пространства образцов было выявлено, что несмотря на самую высокую общую пористость, гранодиорит обладает минимальной плотностью пор (2,03 мм-3), рассчитанной как количество пор на единицу объема, что благодаря небольшим размерам пор (15-40 мкм) и их изометричной форме (Ксф 0,80) приводит к повышению прочности самой породы. Медистый песчаник обладает промежуточными параметрами порового пространства и средней прочностью, а кимберлит минимальной прочностью при минимальных параметрах общей пористости и максимальных значениях плотности пор. Таким образом, параметры пористости, полученные методом КТ, коррелируются с различиями в прочности пород, а именно с индексом прочности Is(50) [4], тогда как общая пористость, определяемая по величинам минеральной и объемной плотностей, позволяет лишь косвенно судить о прочности породы и не дает информации о размерах, форме пор, их сообщаемости и пространственной ориентации. С этой точки зрения рентгеновская микротомография дает ценную информацию для прогнозирования поведения породы в процессе дезинтеграции.

Таким образом, проведенные нами исследования свидетельствуют о перспективности метода, заключающейся в возможности получения не только количественных характеристик минеральных фаз, но и порового пространства породы. Широкие возможности 3D-визуализации полученных данных при незначительных временных затратах, быстрота и недеструктивность метода являются несомненным преимуществом рентгеновской микротомографии, позволяющей использовать этот метод в широком диапазоне исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штырляева А.А., Журавлев А.В., Герасимова А.И. Перспективы и проблемы использования компьютерной микротомографии для изучения образцов керна // Нефтегазовая геология. Теория и практика 2016. Т.11. №1. http://dx.doi.org/10.17353/2070-5379/8_2016
2. Evans, C.L., et al. Quantifying mineral grain size distributions for process modelling using X-ray micro-tomography // Mineral Engineering. 2015 http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2015.03.026
3. Willson, C.W., Lu, N. and Likos, W.J. Quantification of grain, pore and fluid microstructure of unsaturated sand from X-Ray CT images // Geotechnical Testing Journal. Vol. 35. № 6. 2012. doi:10.1520/GTJ20120075
4. Popov, O., Lieberwirth, H., Folgner, T. Quantitative Charakterisierung der Festgesteine zur Prognostizierung des Gesteinseinflusses auf relevante Produkteigenschaften und Systemkenngrößen. Teil 1: Anwendung der quantitativen Gefügeanalyse // AT Mineral Processing. 0708 Bauverlag. 2014
5. Вайсберг Л.А., Каменева Е.Е. Исследование физико-механических свойств строительных
6. горных пород, влияющих на их дезинтеграцию и качество конечной продукции // Сборник тезисов международного совещания «Плаксинские чтения 2013», г. Томск. 2013. С. 7-12.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И СОДЕРЖАНИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ В ЗОЛАХ УНОСА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ЮЖНОАФРИКАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

В.А. Желнорович, М.С. Полонский
Научный руководитель: доцент, кандидат технических наук О.И. Налесник
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: maksim23417@mail.ru

Структура мирового производства электроэнергии в двадцать первом веке изменяется с каждым днём. Тем не менее, наибольшую долю в нём занимают теплоэлектростанции. При сгорании угольного топлива в ТЭС образуются отходящие газы, уносящие вместе с собой мелкодисперсную минеральную золу (золу уноса). В технологически развитых странах зола уноса целиком используется в индустрии стройматериалов, в остальных же странах она удаляется вместе со шлаком и накапливается на золоотвалах вблизи ТЭС.

Очевидно, что подобное расположение золоотвалов вызывает ряд экологических проблем. Таковыми являются: сокращение площадей пригодных для развития городской инфраструктуры и сельскохозяйственного использования; опасность загрязнения окружающей среды через вынос золы с водой при разливах рек и прорывах дамб; просачивание воды отстоя вглубь земли с последующим загрязнением водоносных слоёв; распыление зол ветрами в засушливых климатических зонах. Одним же из вариантов решения данной проблемы можно считать использование золы уноса в целом или отдельных её компонентов в различных отраслях промышленности.

Особую ценность в золах уноса представляют формирующиеся в них шарообразные муллитовые частицы – алюмосиликатные плавающие микросферы белого, желтоватого и коричневатого цветов [1]. Такие микросферы могут использоваться при строительстве нефтяных и газовых скважин.

Магнетитовые микрошарики образуются при плавлении магнетита в факеле горения углей и последующем его застывании в виде сфер правильной формы. Данные сферы можно применять в производстве железного концентрата и тяжелосреднего обогащения полезных ископаемых [2].

В золе уноса также содержатся несгоревшие угольные частицы, отправляемые как на вторичное энергетическое использование, так и в литейное производство.

Основной целью данного исследования стало изучение гранулометрического состава и структуры золы уноса, а также содержания в ней ценных компонентов. В исследовании использовались образцы зол уноса с трёх теплоэлектростанций Южно-Африканской республики: №1 – MATLA, №2 – KRIEL, №3 – MATIMBA.

Для анализа зол уноса применялись следующие методы исследования:

1. Ситовой анализ образцов для определения гранулометрического состава согласно ГОСТ 2093-82 [3].
2. Извлечение магнитной части из каждой отдельной фракции при помощи неодимового постоянного магнита. Магнит располагали на пластиковой подложке, установленной на рельсах в 10 мм от тонко рассыпанного слоя золы.
3. Прокаливание немагнитной и магнитной фракций в муфельной печи для установления количества недогоревшего угля.
4. Установление насыпной плотности образцов.
5. Микроскопический анализ немагнитной и магнитной частей отдельных фракций и выделение плавающей микросферы.

Посредством ситового анализа было установлено распределение массы трёх образцов зол уноса по фракциям. Наибольшая массовая доля во всех трёх образцах золы ожидаемо пришлась на самую мелкодисперсную фракцию. Ярче всего подобная тенденция выразилась в образце золы со станции MATLA (97,83% массы). Эти данные отражены на суммарной характеристике, представленной ниже (рис. 1).

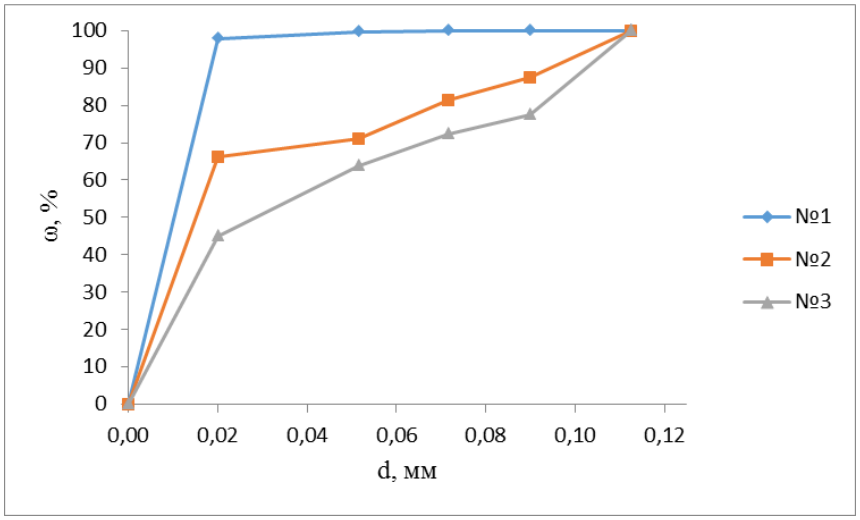


Рис. 1. Суммарная характеристика зол по гранулометрическому составу

Микроскопический анализ показал, что наименьшим количеством ценных для промышленности компонентов обладает зола с электростанции MATLA. Она более светлая, чем золы с двух других электростанций, что объясняется малым содержанием магнитной фракции и недожога в ней. К этой золе близок образец, взятый со станции MATIMBA, имеющий часть белых шариков-микросфер.

Магнетит, крайне неравномерно распределённый по фракциям, составил лишь 0,48% от массы образца золы со станции MALTA, 4,17% со станции KRIEL и 8,08% со станции MATIMBA соответственно. Недогоревший уголь, содержавшийся в немагнитной части фракций, был представлен в среднем 1,78, 5,59 и 1,64% для трёх образцов соответственно. Подобные низкие значения оказались характерны и для магнитной фракции всех трёх образцов. Содержание плавающей микросферы во всех трёх образцах крайне ничтожно (менее 0,15% весовых).

Ранее проведенные на кафедре ОХХТ исследования золы Северской тепловой электростанции показали высокое содержание и коммерческую целесообразность извлечения вышеуказанных ценных компонентов. Исходя из анализа полученных нами данных, можно сделать вывод, что комплексная переработка Южно-Африканских зол уноса экономически невыгодна вследствие малого содержания ценных компонентов. В данном случае наиболее оптимальным представляется использование этих зол в качестве добавки к строительным материалам, однако для установления истинности данного предположения требуются дополнительные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. Г. Пантелеев [и др.]; под ред. В. А. Мелентьева. Состав и свойства золы и шлака ТЭС: справочное пособие. Ленинград: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1985. 285 с.
2. Кизильштейн Л.Я., Дубов И.В., Шпицглуз А.Л., Парада С.Г.. Компоненты зол и шлаков. Москва: Энергоатомиздат, 1995. 176 с.
3. ГОСТ 2093-82 «Топливо твёрдое. Ситовой метод определения гранулометрического состава». – Изд. офиц. – Москва: Издательство стандартов, 1983. – 27 с.: ил. – Государственные стандарты.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ВСКРЫТИЯ РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ БОРНОЙ КИСЛОТОЙ

Ю.А. Захарова, Л.Н. Малютин, О.И. Мишукова, И.В. Петлин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: Oksana_mishukova@mail.ru

Редкометалльное минеральное сырьё, содержащее в своём составе редкие элементы, имеет стратегическое значение для многих отраслей промышленности: атомной, химической, металлургической, авиационной и космической. Российские месторождения сырья характеризуются полиметалличностью, вследствие чего требуется их комплексная переработка [1]. Одним из редкометалльных видов сырья является флюоритовая руда, которой часто сопутствуют соединения бериллия, лития, рубидия, цезия и др. Флюорит применяется как основной источник фтора в химической и атомной промышленности, а также в качестве флюса в металлургии [2].

Необходимость переработки флюорита определяется содержанием редких элементов в руде. Целью данной работы является изучение возможности вскрытия флюоритового концентрата сплавлением с борной кислотой для элементного анализа.

Возможными реакциями сплавления флюоритового флотоконцентрата марки ФФ-98 с борной кислотой (ГОСТ 9656-75) являются:

$$2CaF_2 + H_3BO_3 \rightarrow 2CaO + BF_3\uparrow + HF\uparrow + H_2O\uparrow, \quad (1)$$

$$CaF_2 + 2H_3BO_3 \rightarrow Ca(BO_2)_2 + 2HF\uparrow + 2H_2O\uparrow \quad (2)$$

В условиях проведения исследований, термодинамически более вероятно протекание реакции (2). Температура, при которой она становится самопроизвольной, равна 345 °С (618 К), а для реакции (1) – более 1000 °С (1273 К).

В ходе исследований навески флюорита, массой 0,5 г, и борной кислоты, масса которой берется в различных соотношениях к стехиометрическому значению, переносятся в фарфоровые тигли и тщательно перемешиваются. Тигли помещаются в муфельную печь, где протекает реакция сплавления. Эксперимент проводится при следующем температурном режиме: 200 °С в течение 1 часа – плавление борной кислоты; 350 °С в течение 1 часа – протекание химической реакции; 800 °С в течение 1 часа – удаление образующихся летучих продуктов. Спеки после охлаждения обрабатываются «царской водкой» – смесью кислот: 10 мл HCl и 3 мл HNO_3. Спекание с кислотами происходит в муфельной печи в течение 1 часа при температуре 180 °С. В результате эксперимента получается готовый продукт – желтый трудноотделимый от тиглей осадок. Далее отбирается 0,1 г осадка для анализа, который помещается в автоклав, куда приливается смесь кислот – 3 мл HCl и 1 мл HNO_3. Пробы подготавливаются к анализу в лабораторной микроволновой системе «MARS 6» по программе – мощность 280 Вт, в течение 20 мин. Полученный желтый раствор отфильтровывается через бумажный фильтр «Синяя лента». Осадков на фильтрах не наблюдается. Пробы отправляются на элементный анализ методом атомно-эмиссионной спектроскопии, по результатам которого устанавливается состав руды.

Проведены опыты по исследованию кинетики процесса. Зависимость степени реагирования флюорита с борной кислотой от времени в температурном диапазоне 300…600 ºС представлена на рисунке 1.

Обработка кинетического опыта проводится по уравнению Гинстлинга-Броунштейна. Рассчитанное значение кажущейся энергии активации для первой области от 0 до 20 минут составляет

14,122 кДж/моль (внешнедиффузионная область реагирования), для второй области от 20 до 180 минут – 8,744 кДж/моль (внутреннедиффузионная область реагирования).

Метод, предложенный в работе, отличается простотой и экспрессностью: позволяет перевести флюоритовый концентрат в необходимую для анализа пробу наименьшим количеством стадий. Установлена возможность вскрытия концентрата борной кислотой, а максимальная степень вскрытия достигается при избытке борной кислоты около 20 % мас.

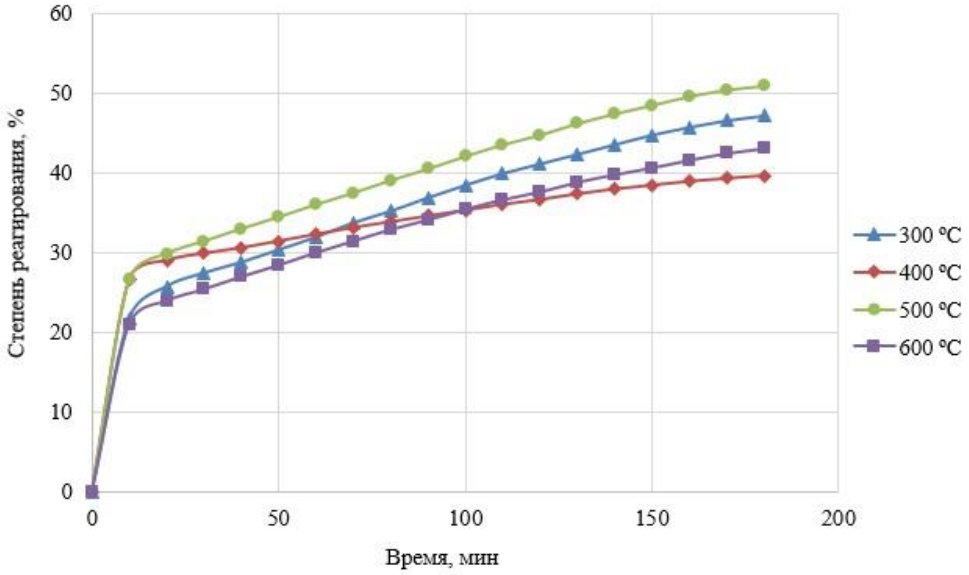


Рис. 1. Зависимость степени реагирования α (%) от времени (мин) при температурах 300…600 °C

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Твердохлебова Т.В., Усова Е.А. Мировой и российский рынок редких металлов: текущее состояние и перспективы развития // Проблемы современной экономики. – 2011. – № 4. – С. 102-105.
2. Дьяченко А.Н., Крайденко Р.И., Петлин И.В., Травин Б.М. Модернизация производства получения фторида алюминия // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 3. – С. 69-72.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ГАЗОИСПОЛЬЗУЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Е.А. Изотова, О.Н. Медведева
Научный руководитель: доцент, д.т.н. О.Н. Медведева
Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина,
Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, 410054
E-mail: medvedeva-on@mail.ru

При использовании газообразного топлива на бытовые нужды населения применяются различные аппараты и оборудование (отопительные печи, газовые водогрейные котлы, водонагреватели, бытовые газовые плиты и т.д.). Эффективность использования газа в этих установках характеризуется коэффициентом полезного действия (КПД) [1]. Максимальная эффективность использования газа обеспечивается при работе аппаратов на номинальном режиме эксплуатации, то есть при номинальной подведенной тепловой мощности, которой соответствует номинальное давление газа перед установкой [2]. Давления газа перед газоиспользующим оборудованием оказывает значительное влияние на его коэффициент полезного действия. И чем больше колебания данного давления от установленной нормативными документами номинальной величины, тем меньше коэффициент полезного действия использования газа [2, 3]. Уменьшение КПД газоиспользующей установки обуславливается тем обстоятельством, что при снижении давления, а, значит и количества сжигаемого газа возрастает коэффициент избытка воздуха подаваемого в зону горения за счет естественной тяги или вентилятора. Это приводит к снижению КПД, несмотря на уменьшение температуры продуктов сгорания.

Исследованию тепловой эффективности бытовых газоиспользующих установок посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных ученых. Подробная библиография по данному вопросу приводится в работах Стаскевича Н.Л. [4].

Экспериментальное определение коэффициента полезного действия газовых водогрейных аппаратов требует измерения расхода и температурного диапазона нагрева воды, а также расхода газа и теплоты его сгорания. Относительно небольшие изменения КПД газоиспользующих аппаратов в диапазоне рабочих режимов их эксплуатации (несколько процентов) предъявляет высокие требования к точности экспериментальных исследований, к минимизации погрешности средств измерения и контроля, методике обработки экспериментальных данных. Экспериментальные исследования водогрейных газовых аппаратов существенно упрощаются, если оценивать их тепловую эффективность с помощью относительного КПД, представляющего отношение КПД газового аппарата при текущем и номинальном режимах эксплуатации.

Тогда, получим формулу для определения относительного КПД:

$$\eta_{отн} = \frac{m(t_2 - t_1)B_{ном}}{Bm_{ном}(t_2^{ном} - t_1^{ном})} = \sqrt{\frac{P_{ном}}{P}} \frac{t_2 - t_1}{t_2^{ном} - t_1^{ном}}, \qquad (1)$$

где m – расход нагреваемой воды, кг/ч; t_1, t_2 – температура воды на входе в аппарат и на выходе из аппарата, °С; B – расход газа, $м^3$/ч; P, $P_{ном}$ – текущее и номинальное давления газа перед газовым аппаратом, Па.

Определение коэффициента полезного действия газовых водогрейных котлов и водонагревателей проводилось на экспериментальном стенде, разработанным авторами, в соответствии с действующими нормативными документами. Испытания аппаратов проводились при переменной тепловой мощности. Регулирование подведенной тепловой мощности осуществлялось изменением давления газа на входе в аппарат. Результаты экспериментальных исследований для котла Proterm представлены в таблицах 1 – 3.

Таблица 1 – Режим испытаний: $P_{ном.ср} = 200,8$ даПа; $t_{ср}^{ном2} = 60,5$ °С; $t_{ср}^{ном1} = 39,7$ °С

Номер измерения	$P_{ном}$, даПа	$P_{ном.ср.}$, даПа	$t^{ном2}$, °С	$t_{ср}^{ном2}$, °С	$t^{ном1}$, °С	$t_{ср}^{ном1}$, °С	$\eta_{отн}$
1	202	200,8	60,5	60,5	39,8	39,7	1
2	200		60,4		39,9		
3	199		60,2		39,5		
4	201		60,6		39,6		
5	203		60,5		39,7		
6	200		60,6		39,8		

Таблица 2 – Режим испытаний: $P_{ср} = 81,3$ даПа; $t_{2ср} = 51,9$ °С; $t_{1ср} = 39,9$ °С.

Номер измерения	P, даПа	$P_{ср}$, даПа	t_2, °С	$t_{2ср}$, °С	t_1, °С	$t_{1ср}$, °С	$\eta_{отн}$
1	82	81,3	51,8	51,9	39,8	39,9	0,948
2	81		52,1		39,9		
3	83		51,8		39,9		
4	80		51,8		40,1		
5	82		51,9		40,1		
6	80		52		40		

Таблица 3 – Режим испытаний: $P_{ср} = 295,5$ даПа; $t_{2ср} = 63,7$ °С; $t_{1ср} = 39,9$ °С.

Номер измерения	P, даПа	$P_{ср}$, даПа	t_2, °С	$t_{2ср}$, °С	t_1, °С	$t_{1ср}$, °С	$\eta_{отн}$
1	296	295,5	63,6	63,7	39,9	39,9	0,977
2	297		63,7		39,8		
3	294		63,9		40,0		
4	296		63,8		40,1		
5	294		63,9		39,9		
6	296		63,7		40,1		

Как видно из таблиц, режимы эксплуатации газовых водогрейных аппаратов оказывают существенное влияние на эффективность использования газового топлива. Так, например, при эксплуатации котла на номинальном режиме относительный КПД составляет 1,0. В тоже время при работе котла на газе с давлением 81,3 даПа, то есть при относительной тепловой мощности 0,636, относительный КПД снижается до 0,948. То есть при работе котла в режиме 2/3 от его номинальной тепловой мощности относительный КПД снижается более чем на 5%. Аналогичная ситуация наблюдается и при перегрузке котла. Так, например, при давлении газа $P = 295,5$ даПа, то есть при относительной тепловой мощности 1,21, относительный КПД снижается до 0,977. То есть работа котла с перегрузкой в 10% от его номинальной тепловой мощности обусловливает снижение относительного КПД примерно на 1%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брюханов О.Н., Кузнецов В.А. Газифицированные котельные агрегаты. – М.: ИНФРА-М, 2005. –392 с.
2. Иссерлин А.С. Основы сжигания газового топлива. – Л.: Недра, 1980. – 271с.
3. Лебедев В.И., Хаванов П.А. Расчет и проектирование теплогенерирующих установок систем теплоснабжения. – М.: Стройиздат, 1992. – 360 с.
4. Стаскевич Н. Л., Северинец Г.Н. Справочник по газоснабжению и использованию газа. – Л.: Недра, 1990. – 760с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СНИЖЕНИЯ ПРОЧНОСТИ КУСКОВ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ

В.А. Ишейский, М.А. Маринин, С.И. Фомин
Санкт-Петербургский горный университет,
Россия, г. Санкт-Петербург, В.О.21-я линия, д.2, 199106
E-mail: vd07@bk.ru

С развитием ресурсоёмких технологий всё большую значимость приобретают проблемы, связанные с природопользованием. Рациональное природопользование, как система научного, производственно-технического и организационного характера, предполагает наиболее полное использование добываемых природных ресурсов и, как следствие, сокращение числа потребляемых ресурсов, обеспечение восполнения природных ресурсов и целесообразное использование минерально-сырьевой базы.Одна из важнейших проблем в сфере нерудных стройматериалов – неконтролируемый выход отсевов дробления. Например, при производстве щебня из гранитов, габбро-диоритов, базальтов выход отсева дробления составляет, в среднем, 25%, а из карбонатных пород – 35% [1].Действие взрыва на разрушаемый массив при его дроблении приводит к снижению прочностных характеристик кусков разрушенной горной массы, что существенно влияет на объем выхода отсева на стадии переработки. Данному направлению посвящено значительное количество исследований][2,3,4].

Исходя из результата модельных экспериментов, которые представлены в работах [5], на базе карьера по производству гранитного щебня была проведена серия взрывов гранитного массива с разными удельными расходами. Удельный расход менялся за счет сближения сетки скважин.Прочностные характеристики поступающего на завод сырья оценивались по прочности среднего куска из развала. Для определения среднего куска после каждой проходки экскаватора развал взорванной горной массы фотографировался. Планиметрический анализ производился линейным методом. Полученные фотографии подвергались первоначальной обработке в среде MapInfo , а затем в программном комплексе WipFrag по методике, изложенной в работах [6, 7].Из отобранных кусков в забое подготавливались образцы для испытаний. Подготовка образцов горных пород к лабораторным исследованиям заключалась в выбуривании кернов из отобранных после взрыва кусков и приданию им требуемых форм и размеров путем обработки на специальном камнерезном оборудовании [8].

На основе имеющихся результатов получена степенная зависимость, позволяющая прогнозировать предел прочности на сжатие среднего по размеру куска, поступающего на дробилку в зависимости от удельного энергонасыщения:

$$|\sigma_{сж}|_{ср} = 426{,}25\ E^{-0{,}7} \qquad (1)$$

где Е– удельные энергозатраты ВВ, МДж/м3; $\sigma_{сж\,ср}$ – предел прочности на одноосное сжатие среднего по размеру куска, МПа.

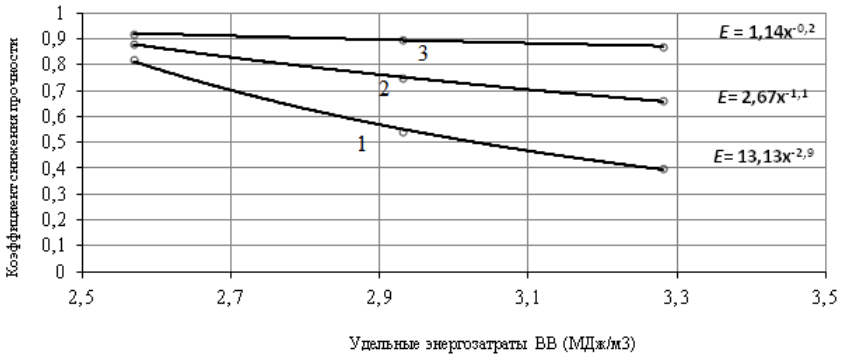


Рис. 1. Экспериментальная зависимость коэффициента снижения прочности от удельных энергозатрат ВВ для зон: 1 – 0-10 $\bar{r}$; 2 – 11-20 $\bar{r}$; 3 – 21-i $\bar{r}$

Если рассмотреть результаты, приведенные в работах [9, 10], и, с учетом того, что прочность среднего куска взорванной горной массы является функцией расстояния от источника взрыва, представляется возможным выразить коэффициент снижения прочности для исследуемых гранитов

относительно ненарушенного материала по каждой зоне от изменения удельных энергозатрат. Зависимости коэффициент снижения прочности для исследуемых пород по зонам представлены на рисунке 1.

Таким образом, прочность среднего куска после взрыва с учетом зон разрушения можно представить выражением:

$$|\sigma_{сж}|_{ср} = \sum_{i=1}^{n} |\sigma_{сж}|_{м} k_i \cdot \frac{V_i}{V_{общ}}, \text{ МПа} \qquad (2)$$

где Vi – объем зоны разрушения, м3; Vобщ – объем, приходящийся на все зоны, м3; $|\sigma_{сж}|_{м}$ – предел прочности пород на одноосное сжатие до взрыва, МПа; ki – коэффициент снижения прочности по зоне; n – число зон разрушения.

В программном комплексе MathCAD, руководствуясь результатами промышленных и лабораторных экспериментов, был произведен расчет прочности среднего куска согласно формуле (2). Предел прочности гранита на одноосное сжатие для условий карьера составлял 240 МПа. Удельные энергозатраты ВВ, согласно расчетам по формуле (1), составили 2,61 МДж. Подставляя расчетные данные в выражения по нахождению коэффициента ослабления прочности для зон разрушения, представленные на рисунке 1, найдем значение предела прочности на одноосное сжатие для среднего куска в развале.

Результаты расчетных значений были соотнесены с экспериментальной кривой.

По результатам расчета и эксперимента установлено, что изменение предела прочности среднего куска на одноосное сжатие от удельных энергозатрат ВВ в интервале от 2,5 до 3,5 МДж/кг3 для исследуемых пород определяется степенной зависимостью (1).

Подводя итог результатам промышленного эксперимента в натурных условиях с учетом картины разрушения, полученной при проведении модельных экспериментов в лабораторных условиях [5], можно сделать вывод, что снижение прочности среднего куска взорванной горной массы в развале зависит от удельных энергозатрат ВВ и определяется суммарным коэффициентом снижения прочности для различных зон разрушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боженов П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология. - М: Издательство АСВ, 1994. - 264 с.
2. Akande J. Optimization of Blasting Parameters Using Regression Models in Ratcon and NSCE Granite Quarries / J. Akande, A. Lawal // Ibadan, Oyo State, Nigeria, Geomaterials. – 2013. - Vol. 3, №1. - pp. 28-37.
3. Inoue H. Study on Control of Fragmentation Size by Changing Blasting Pattern at Open Pit Metal Mine / Inoue H., Sasaoka T., Shimada H., Hamanaka A // Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology 2014, Fukuoka, 4-5 December 2014. - pp. 214-217.
4. Sasaoka T. Effects of rock mass conditions and blasting standard on fragmentation size at limestone quarries open journal of geology / T. Sasaoka, Y. Takahashi, W. Sugeng, A. Hamanaka // Open journal of geology. - 2015. - №5. - pp. 331-339.
5. Isheyskiy, V.A., Yakubovskiy, M.M. Determination of strength reduction factor in blasted rocks versus the distance from the blast center (2016) Gornyi Zhurnal, (12), pp. 55-59.
6. Maerz N.H. WipFrag image based granulometry system / N.H. Maerz, T.C. Palangio, J.A. Franklin // Proceedings of the FRAGBLAST5 Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, Montreal. Quebec. Canada. - 1996. - pp. 91-99.
7. Maerz N.H. Reconstructing 3-D Block Size Distributions from 2-D Measurements on Sections. Proc. ISRM / Fragblast 5 Workshop and Short Course on Fragmentation Measurement, Montreal. - 1996. - pp. 39-43.
8. Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength. ASTM Book of Standards Volume 4.08: Construction: Soil and Rock (I). Canada, 2013.
9. Isheyskiy, V.A., Marinin, M.A. Determination of rock mass weakening coefficient after blasting in various fracture zones(2017) Engineering Solid Mechanics, 5 (3), pp. 199-204.
10. Харо О.Е. Использование отходов переработки горных пород при производстве нерудных строительных материалов / О.Е. Харо, Н.С. Левкова, М.И. Лопатников // Строительные материалы. - 2003. -№9. - С. 18-19.

ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КУСКОВ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ

В.А. Ишейский, И.Е. Звонарев
Санкт-Петербургский горный университет,
Россия, г. Санкт-Петербург, В.О. 21-я линия, д.2, 199106
E-mail: vd07@bk.ru

Качество взрывоподготовки горной массы к обогащению значительно влияет как на сохранность минерального сырья в частности, так и на экономические показатели работы предприятия в целом. При переработке скальных пород на щебень имеет место значительный выход отсева, объемы которого зависят от прочностных свойств горной массы. Изучение влияния параметров буровзрывных работ на прочностные свойства кусков взорванной горной массы представляется актуальной в научном и практическом плане задачей для горнодобывающих предприятий по добыче строительного камня.

Целью настоящих исследований является оценка прочностных свойств кусков взорванной горной массы при взрыве зарядов с различными энергетическими характеристиками. Для изучения снижения прочности куска в различных зонах объема разрушения был выполнен комплекс экспериментов на физических моделях из эквивалентного горным породам материала с соблюдением физического и геометрического подобий. В лабораторных условиях были изготовлены модельные блоки, отвечающие требуемым критериям подобия при моделировании натурной среды – гранитов [1].

Для обоснования численных расчетов модельные эксперименты проводились на цилиндрических блоках. При реализации модели зонного взрывного дробления первоначально была изготовлена съемная опалубка из пустотелых тонкостенных цилиндрических форм различного диаметра. Общее количество цилиндров составляет 6 штук. Радиус цилиндров изменяется от 10 до 100 относительных радиусов заряда ($\bar{r}$). Высота всех цилиндров составляет 80 относительных радиусов. Конструктивные параметры и общий вид модели представлены на рис.1.



а б

Рис. 1. а - внешний вид модели; б - внутренняя структура модели

Основным условием при выборе зарядов и их подготовке к эксперименту было одинаковое значение линейных параметров. Поскольку в модельных условиях невозможно применение распространенных промышленных ВВ, в качестве взрывчатого вещества применялся мелкокристаллический тетранитропентаэритрит (ТЭН). Энергетические характеристики взрывчатого вещества изменялись путем ввода в колонку заряда хлорида натрия от 0 до 20% с шагом 10% (соответственно – заряд №1 – 0% NaCl, №2 – 10% и №3 – 20%) [2].

Для определения прочностных характеристик кусков взорванной массы образцы из различных зон разрушения подвергались испытаниям на точечную прочность на аппарате точечной нагрузки TS706 [3], выполненным в соответствии со стандартом ASTM D 5731[4]. Пределы прочности на одноосное сжатие кусков взорванной горной массы из различных зон по удалению от заряда после серии модельных экспериментов представлены на рисунке 2.

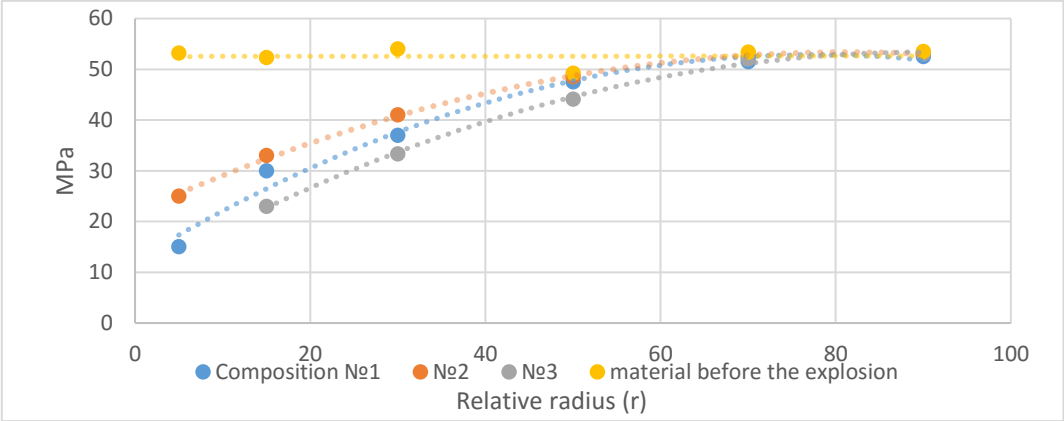


Рис.2 Зависимость предела прочности породы на одноосное сжатие от относительного расстояния

Анализ результатов экспериментов показывает, что прочность куска взорванной горной массы является функцией расстояния от источника взрыва [5-6].

При взрывном разрушении зарядами с высокими энергетическими характеристиками образуются куски горной массы, прочность которых меньше прочности кусков при использовании меньших по энергетике зарядов, так например, на относительных расстояниях в интервале от 20 $\bar{r}$ до 40 $\bar{r}$ прочность этих кусков отличается на 15 – 20 % между собой.

Условно, представленные на рисунке 3 опытные значений снижения прочности можно разбить на 3 участка. На первом участке происходит максимальное снижение прочности (интервал от 0 до 30 $\bar{r}$). На участке от 31 до 50 $\bar{r}$ изменение прочности происходит не так явно. На третьем участке от 51 до 80 $\bar{r}$ практически не происходит видимого снижения прочности. Воздействие взрывных работ в данной зоне не оказывает существенного влияния на изменение прочности кусков в развале горной массы.

Таким образом, установлено, что максимальное снижение прочности горных пород при взрыве сплошного заряда взрывчатого вещества достигается в пределах участка, не превышающего 30 относительных радиусов от оси заряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Г.П. Парамонов, В.А. Ишейский, В.Н. Ковалевский. К вопросу распределения гранулометрического состава взорванной горной массы и её прочности из различных зон разрушения // Маркшейдерский вестник. - 2014. - №6 - С. 58-61.
2. Г.П. Парамонов, В.А. Ишейский. К вопросу оценки прочностных свойств кусков взорванной горной массы // Сборник Взрывное дело. - 2014. - №112/69 - С.73-80.
3. Paramonov G. P., Isheysky V. A. Influence of power characteristics of explosives on strength properties of pieces of the blown-up mountain weight // Physical Problems of Rock Destruction: Proceedings of the 8th International Conference. — China : Metallurgical Industry Press, 2014. P. 161–165.
4. Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength. ASTM Book of Standards Volume 4.08: Construction: Soil and Rock (I). Canada, 2013.; publication date 01.01.2008
5. Inoue H., Sasaoka T., Shimada H., Hamanaka A. Study on control of fragmentation size by changing blasting pattern at open pit metal mine // Earth Science and Technology: proceedings of International Symposium, 4-5 December 2014. — Japan, P. 214–217.
6. Sasaoka T., Takahashi Y., Sugeng W. et al. Effects of rock mass conditions and blasting standard on fragmentation size at limestone quarries // Open journal of geology. 2015. №5. P. 331–339.

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ

А.Е. Колесников, В.Р. Галеев
Научный руководитель: доцент, к.т.н. О.К. Семакина
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: kolesnikov0211@gmail.com

Совершенствование технологии получения композиционных материалов на основе полиолефинов связано с приготовлением их концентратов, содержащих наряду с полимерами стабилизаторы, красители и наполнители. Получать концентраты полимерных композиционных материалов размером от 1 до 6 мм из тонкодисперсных материалов с меньшими затратами можно гранулированием в жидкой среде (метод ГЖС), что наряду с основной задачей позволяет наиболее рационально утилизировать и пылевую фракцию полиолефинов [1].

В данной работе использовалась полимерная композиция, предназначенная для изготовления деталей для бытовых холодильников, радиоэлектронной аппаратуры и изделий электротехнического назначения. Композиция состоит из полипропилена (ПП), наполнителя – талька или микрокальцита (МК) и пластификатора дилаурилтиодипропината (ДЛТДП).

Целью работы является подбор оптимального режима гранулирования концентратов и полиолефинов методом ГЖС и определение фракционного состава и прочностных характеристик полученных гранул.

В стеклянный стакан емкостью 800 мл заливалось 200 мл воды, нагретой до 45 ^{0}C, затем насыпалась навеска полипропилена в количестве 1 г и связующее вещество, в качестве которого выбрали ДЛТДП. Полученная трехфазная система перемешивалась магнитной мешалкой со скоростью вращения 250 об/мин в течение 10 мин. После образования гранул содержимое стакана резко охлаждалось добавлением холодной воды. Полученные гранулы отделялись от жидкости на фильтровальной бумаге.

Для получения наполненных полимеров засыпалась навеска в количестве 2 г, состоящая из смеси полипропилена и талька (или микрокальцита) в массовом соотношении ПП : наполнитель = 0,25–0,75:0,75–0,25.

Навеска полипропилена гранулировалась с разным количеством ДЛТДП. На основании полученных данных построен график зависимости фракционного состава гранул ПП от расхода связующей жидкости (рис. 1).

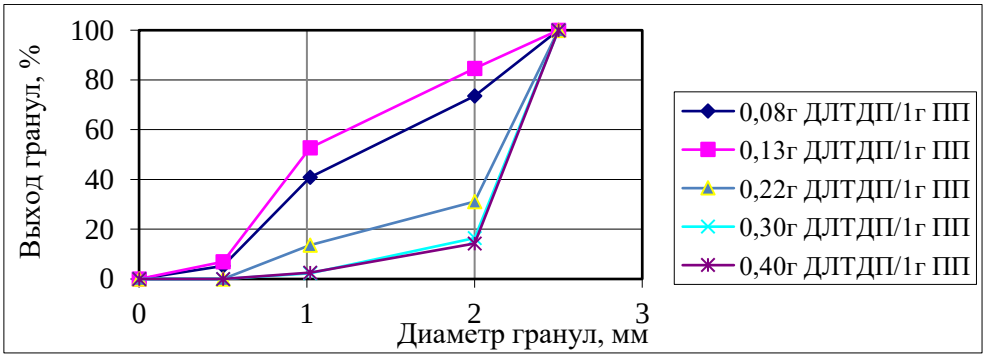


Рис. 1. Фракционный состав гранул полипропилена

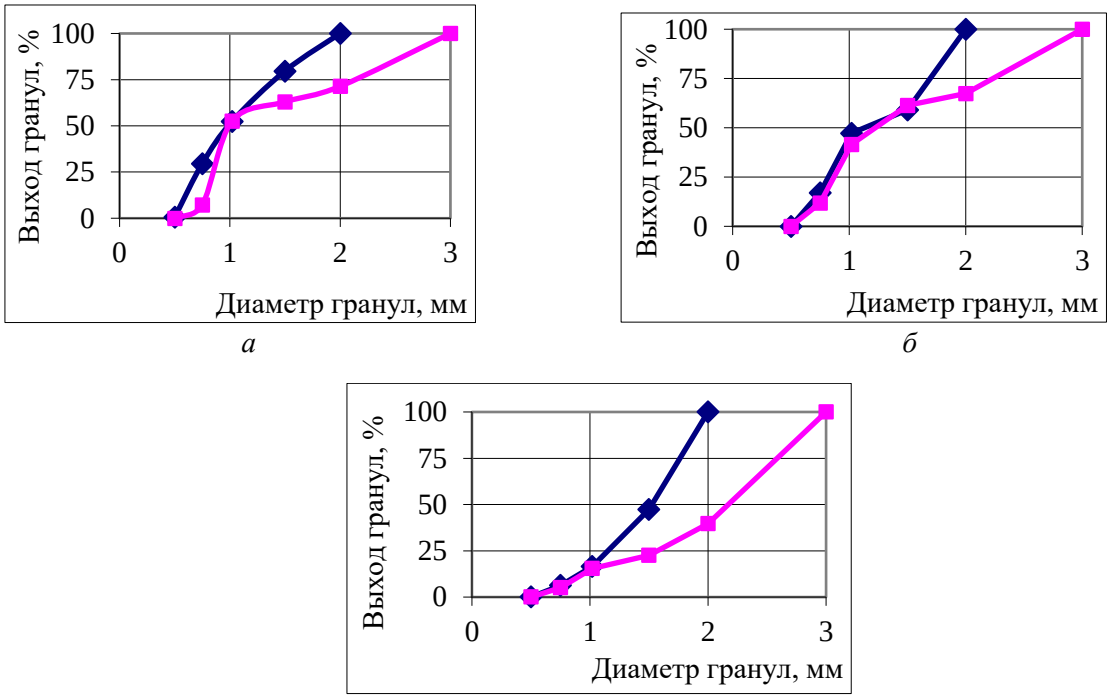
Как видно из графика увеличение расхода связующего ДЛТДП приводит к образованию более крупных гранул размером от 2 до 2,5 мм. Оптимальное количество ДЛТДП составляет от 0,22 до 0,3 г на 1 г порошкообразного полипропилена, при этом максимальный выход гранул размеров 2–2,5 мм наблюдается от 70 до 83%. Дальнейшее увеличение расхода связующего ДЛТДП до 0,4 г/1 г ПП приводит к незначительному увеличению выхода крупных гранул.

Проведены исследования по гранулированию полипропилена с тальком при различном соотношении наполнителя и полимера. Результаты экспериментов сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Гранулирование порошка ПП и талька (связующее ДЛТДП)

Исходные материалы				Выход гранул по фракциям, %					Состав сухих гранул, %		
тальк, г	ПП, г	ДЛТДП, мл	ДЛТДП, г/г твер	<1 мм	1–2 мм	2–3 мм	3–4 мм	4–6 мм	тальк	ПП	ДЛТДП
0	2,0	2,0	1,0	15,4	40,5	14,4	18,3	11,4	0,0	50,0	50,0
0,4	1,6	1,7	0,85	1,75	7,45	5,0	20,5	65,3	10,81	43,24	45,95
0,6	1,4	1,5	0,75	2,9	15,9	12,4	25,3	43,5	17,4	40,0	42,86
1,0	1,0	1,4	0,7	4,9	23,3	16,0	34,9	20,9	29,41	29,41	41,18
1,6	0,4	1,2	0,6	5,8	36,7	13,9	25,8	17,8	50,0	12,5	37,5

Исследовано влияние расхода связующей жидкости на фракционный состав гранул, полученных при различном соотношении ПП и микрокальцита (рис. 2).



а *б*

в

Рис. 2. Фракционный состав гранул полипропилена в смеси с микрокальцитом:
а – 1,5 г ПП + 0,5 г МК; *б* – 1 г ПП + 1 г МК; *в* – 0,5 г ПП + 1,5 г МК;
◆ – 0,2 г ДЛТДП; ■ – 0,3 г ДЛТДП

Как видно из графиков, с увеличением расхода ДЛТДП от 0,2 до 0,3 г на 2 г композиции происходит увеличение выхода крупных гранул от 2 до 3мм с 30 до 60 %. Это объясняется, очевидно, небольшим избытком связующей жидкости, что приводит к слипанию мелких гранул и образованию конгломератов.

Композиционные гранулы, полученные при различном соотношении ПП и микрокальцита, определяли на прочность в статических условиях. Найдено, что при содержании МК от 25 % до 55 % наблюдается увеличение прочностных характеристик в 1,3–2 раза по сравнению с ненаполненными гранулами полимера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабенко С.А., Семакина О.К., Миронов В.М., Чернов А.Е. Гранулирование дисперсных материалов в жидких средах (Элементы теории, практика, перспективы применения). – Томск: Инс-т оптики атмосферы СО РАН, 2003 . – 346 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ В КАЧЕСТВЕ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩЕГО АГЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

А. А. Курилова, А.В. Полосков, И. С. Егоров
Научный руководитель: профессор, д.т.н. Г. Е. Ремнёв
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: kaa-3132@mail.ru

Проблема обеззараживания сточных вод на сегодняшний день весьма актуальна. Одним из самых распространенных методов решения данной проблемы является химическая дезинфекция, которая заключается в хлорировании или в озонировании. Однако вследствие хлорирования в обработанной воде образуются токсичные хлорорганические соединения, а озонирования – биоразлагаемая органика и сложные органические соединения [1]. Таким образом, совершенствование методик обеззараживания сточных вод является приоритетной задачей. Перспективными являются безреагентные методы очистки, в частности, обеззараживание воды с использованием электронных пучков. Наибольший интерес представляют импульсные электронные пучки, так как в этом случае уменьшается мощность и габариты источника излучения. На сегодняшний день исследователями отмечается, что обеззараживание сильноточными электронными пучками (СЭП) импульсного характера имеет преимущества перед обработкой γ-излучением. Так, было установлено, что при обработке раневых повязок на сильноточном импульсно-периодическом ускорителе эффективная стерилизующая доза (17 кГр) оказались ниже аналогичных (25 кГр) при применении γ-излучения для стерилизации бинтов [2].

Бактерицидное действие ионизирующего излучения основано на двух механизмах: прямом (физическом) и косвенном (химическом). Микробная инактивация происходит либо путем прямой ионизации жизненно важной молекулы (ДНК, ключевого фермента и т. д.), Либо косвенно, посредством реакции свободных радикалов, образующихся в клеточной жидкости. Короткоживущие гидроксильные радикалы (ОН) расщепляют фосфодиэфирные связи, что приводит к разрывам ДНК. Учитывая, что в рамках данной работы средой является вода, косвенный механизм приобретает дополнительное значение. Основными целевыми объектами ионизирующего излучения в микроорганизмах являются нуклеиновые кислоты, главным образом ДНК, но также и РНК. Дополнительный ущерб может быть нанесен клеточным мембранам и ферментам, участвующим в восстановлении нуклеиновой кислоты [3].

Целью данной работы являлось определение эффективности использования импульсного электронного пучка для обезвреживания микроорганизмов.

Эксперименты проводились на примере культуры *Escherichia coli* в стационарной фазе роста. По литературным данным, в этой фазе микроорганизмы наиболее устойчивы к воздействию ионизирующего излучения [4]. Чистая культура выращивалась на ГРМ-агаре в течении 18 – 20 часов при температуре 37°С, после чего готовилась микробная взвесь концентрацией 3×10^8 клеток/мл в соответствии со стандартом мутности бактериальных взвесей (СОП № 1-98, 5 ед.). Затем бактериальная суспензия в объеме 60 мкл помещалась в кюветы и подвергалась облучению на импульсном электронном ускорителе (Астра-07). Величина поглощенной дозы варьировалась от 0,25 до 1,35 МРад. После облучения осуществлялся контроль результатов, для чего производился забор микробной суспензии из кюветы и посев на плотную питательную среду. Параллельно проводился контрольный посев микробной культуры и контроль стерильности питательной среды. Материалы помещались в термостат при 37°С на 48 часов. При каждой из поглощенных доз опыт повторялся многократно. В таблице приведены усредненные значения интенсивности микробного роста после облучения (таблица 1).

Анализ результатов показал, что обработка культуры *E. coli* электронным пучком вызывает угнетение бактериального роста. При проведении количественной оценки была обнаружена устойчивая зависимость между величиной поглощенной дозы и бактерицидным эффектом излучения: с увеличением поглощенной дозы концентрация выживших микроорганизмов снижалась. При поглощенных дозах 1 и 1,35 Мрад рост проявлялся лишь на 25 % проб – остальные пробы были

стерильны. Ранее было показано, что обработка культуры *E. coli* на импульсном электронном ускорителе ТЭУ-500 позволяет достичь стерилизующего эффекта при поглощенной дозе 2,5 Мрад [5].

Таблица 1 – Результаты воздействия СЭП на культуру *E. coli*.

Поглощенная доза, Мрад	Концентрация микроорганизмов, КОЕ/мл	
	Через 24 часа	48 часов
0,25	263×10^2	302×10^2
0,55	117×10^2	119×10^2
0,80	30×10^2	34×10^2
1	$0{,}75\times10^2$	1×10^2
1,35	$0{,}5\times10^2$	$0{,}5\times10^2$
0	Сплошной рост	Сплошной рост
Контроль стерильности среды	0	0

Таким образом, на примере культуры *E. coli* показана эффективность использования импульсного электронного пучка в качестве дезинфицирующего агента. Такой метод является более экономически выгодным, чем обработка γ-излучением и экологически приемлемым по сравнению с химическими методами обеззараживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соковнин С. Ю. Наносекундные ускорители электронов и радиационные технологии на их основе: Автореф. дис. докт. техн. наук. – Екатиринбург, 2005. – 247 с.
2. Ростов В.В., Алексеенко П.И., Выходцев П.В., Штейнле А.В. и др. Сильноточный импульсно-периодический ускоритель электронов прямого действия как средство стерилизации медицинских изделий однократного применения // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – №2. – С. 48-54.
3. Peter A. Lambert. Radiation Sterilization // Principles and Practice of Disinfection, Preservation and Sterilization, 2013, pp. 305-312.
4. Туманян М.А., Каушанский Д.А. Радиационная стерилизация. – М.: Медицина, 1974. – 304 с.
5. Kurilova A. A., Poloskov A.V., Chubik M.V., Ponomarev D.V. Application of electron beam for wastewater disinfection // Procedia Chemistry. – 2015. – №15. – С 187–192.

РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТО-ТЕЛЛУРИДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ САМОЛАЗОВСКОЕ, АЛДАНСКИЙ ЩИТ

В.И. Леонтьев, К.А. Черниговцев
Санкт-Петербургский горный университет,
Россия, г. Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., 2, 199106
E-mail: leontyev@spmi.ru

Месторождение Самолазовское находится в пределах Юхтинского многофазного интрузивного массива (J_3-K_1). По своей структуре массив представляет собой лополит, локализованный между архейским кристаллическим фундаментом гранитогнейсового состава и толщей венд-нижнекембрийских карбонатных пород осадочного чехла, представленной преимущественно доломитами. В строении массива участвуют породы трёх фаз лебединского интрузивного комплекса: первая фаза представлена щелочноземельными сиенитами, вторая – умеренно-щелочными, кварцсодержащими авгитовыми сиенитами, третья – щелочно-полевошпатовыми сиенитами и граносиенитами. На площади месторождения развит широкий комплекс контактово-метаморфических и гидротермально-метасоматических, в том числе рудных, образований, связанных со становлением Юхтинского массива.

На месторождении выделено 4 гидротермально-метасоматических парагенезиса [2]: скарновый, развитый на контакте сиенитов и пород карбонатного чехла; гумбеитовый, наложенный на породы интрузивного массива; фельдшпатолитовый, развитый в гранитогнейсах кристаллического фундамента на их контакте с интрузией; рудоносный флюорит-роскоэлит-карбонат-кварцевый, наложенный на все выше перечисленные типы. Основные типы оруденения: 1) прожилково-вкрапленный линейный тип (ныне полностью отработан), локализованный в виде субгоризонтальных залежей на контакте мезозойского интрузива и венд-нижнекембрийских доломитов, и представленный интенсивно окисленными и дезинтегрированными скарнами с наложенными прожилково-вкрапленными рудоносными флюорит-роскоэлит-карбонат-кварцевыми метасоматитами; 2) прожилково-вкрапленный штокверковый тип, локализованный в виде объёмных минерализованных зон внутри мезозойских интрузий, представленный в различной степени гумбеитизированными сиенитами с наложенными прожилково-вкрапленными рудоносными флюорит-роскоэлит-карбонат-кварцевыми метасоматитами; 3) брекчиевый тип, локализованный в крутопадающих минерализованных зонах дробления внутри тел мезозойских интрузий и метасоматических тел (фельдшпатолитов), развитых по породам кристаллического фундамента, и представляющий собой брекчии с обломками скарнов, фельдшпатолитов, сиенитов и гумбеитов и рудным цементом, представленным минералами флюорит-роскоэлит-карбонат-кварцевой ассоциации и связанными с ней сульфидами.

Целью работы является описание особенностей проявления рудной минерализации глубоких горизонтов месторождения, на которых развиты слабоизученные второй и третий типы оруденения. Работа основана на комплексном минералого-петрографическом изучении коллекции руд и метасоматитов месторождения Самолазовское, собранной авторами в ходе полевых работ. Минераграфическое и микрозондовое исследование аншлифов для анализа последовательности минералообразования и выявления закономерностей распределения, а также определение состава рудной минерализации произведено на оптическом микроскопе Leica DM2700 P и на сканирующем электронном микроскопе модели CamScan MV 2300 с энергодисперсионным микроанализатором LINK Pentafet (Oxford Instr.) (ЦАЛ ВСЕГЕИ, аналитик Е.Л. Грузова).

Главным рудным минералом руд второго типа является пирит. По морфологическим особенностям выделяется две разновидности данного минерала. Пирит (I) характеризуется идиоморфизмом кристаллов кубического, реже пентагондодекаэдрического габитуса, распределенных в породе равномерно, придавая ей вкрапленную текстуру. В некоторых сечениях найдены единичные ксеноморфные включения округлых выделений галенита и сфалерита размером до 0,020 мм, гораздо реже встречается халькопирит и пирротин. Средний размер кристаллов пирита (I) составляет 0,2 мм. Для пирита (II) свойственен ксеноморфизм кристаллов, которые распределены в породе неравномерно, образуя пятна полиминеральных агрегатов вместе с флюоритом и роскоэлитом. Средний размер зерен – 0,006 мм, пятен – 2,3 мм.

Менее распространен марказит, который отмечается в единичных зернах. Средний размер зерен, заключенных в агрегатах пирита (I) – 0,005 мм. Также выделяются обособленные скопления марказита в виде зерен призматического облика (0,05 – 0,007 мм). Редкими минералами в рудах данного типа являются сульфосоли – бурнонит и блеклые руды. Блеклые руды, несущие включения бурнонита, развиваются по пириту (I). Также отмечаются единичные образования колорадоита, антимонита, арсенопирита.

Для рудной минерализации брекчиевого типа главными минералами являются пирит и марказит Пирит представлен двумя морфологически отличающимися типами. Пирит (I) характеризуется идиоморфными кристаллами кубического габитуса со средним размером 0,25 мм, имеющими частые включения халькопирита, сфалерита, галенита, реже пирротина и блеклых руд. Редко кристаллы пирита брекчированы. Иногда кристаллы секутся галенит-блеклорудными прожилками. Пирит (II) - сфероидальные массы, нарастающие на кристаллы пирита (I) и марказита (I), реже на минералы основной массы. Толщина таких пленок в среднем равна 0,02 мм. Часто образует самостоятельные атолловидные обособления, усредненный радиус которых 0,03 мм.

Марказит (I) слагает ядра, которые окаймляет сфероидальный пирит. Часто эти ядра представлены радиально лучистыми агрегатами до 0,06 мм в диаметре. Образования марказита (II) являются завершающими в дисульфидно-железной минерализации и представлены призматическими выделениями, нарастающими на поверхности ранее образованных кристаллов пирита и марказита, реже на другие рудные и жильные минералы. Размер таких выделений – 0,05 – 0,007 мм.

Сфалерит образует отдельные ксеноморфные зерна размером 0,05 – 0,007 мм или находится в виде включений в пирите. Для отдельных зерен сфалерита, которые чаще всего находятся среди зерен кварца, свойственна эмульсионная вкрапленность халькопирита. Халькопирит очень редко образует отдельные ксеноморфные выделения размером 0.02-0.1 мм, но чаще находится в тесном срастании с блеклой рудой в виде прожилков в пирите первого типа. Галенит встречается редко, большинство найденных зерен характеризуется тесным срастанием со сфалеритом, реже находится в виде отдельных зерен в кварце.

Золото в рудах распространено крайне редко, представлено субмикронными выделениями в брекчированном пирите первого типа. Калаверит встречается в трещинах кварца и вокруг зерен сфалерита, нередко выполняет полости в микродрузах кварца. Также отмечается, что калаверит нарастает на пирит второго типа и образует каймы вокруг марказита второго типа. Колорадоит обнаружен в трещинах пирита первого типа и в интерстициях между зернами кварца и брекчированного пирита. Для пирита и марказита характерны примеси (в масс.%) Sb – 0,64-1,90, As – 0,94-5,25, Te – 1,02-3,82, V – 0,21-0,31.

Специфический состав жильной и рудной минерализации наряду с характером метасоматических изменений, структурно-текстурными особенностями руд, и типом магматизма позволяет рассматривать Самолазовское месторождение в качестве типичного представителя эпитермального щелочного золото-теллуридного типа [1, 3]. Наиболее близкими аналогами Самолазовского месторождения являются золото-теллуридные объекты месторождения Крипл-Крик.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00334 мол_а

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваленкер В.А. Условия формирования и факторы крупномасштабного концентрирования золота порфировых и эпитермальных месторождений / Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых. Том 2. Стратегические виды рудного сырья. – М.: ИГЕМ РАН, 2006. – С.143-214.
2. Леонтьев В.И. Руды и метасоматиты Самолазовского золоторудного месторождения (Центрально-Алданский рудный район) / Тезисы докладов Четвёртой Российской молодёжной научно-практической школы «Новое в познании процессов рудообразования». – М: ИГЕМ РАН, 2014. – С. 193-196
3. Richards J. P. Alkalic-type epithermal gold deposits – a review / Magmas, fluid and ore deposits. – Mineralogical Assoc. of Canada. Short course ser. – 1995. – V. 23. – P. 367-400.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТРЫВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗАРЯЖАЕМЫХ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

А.А. Манаков, В.А. Ишейский
Санкт-Петербургский горный университет,
Россия, г. Санкт-Петербург, В.О. 21-я линия, д.2, 199106
E-mail: vd07@bk.ru

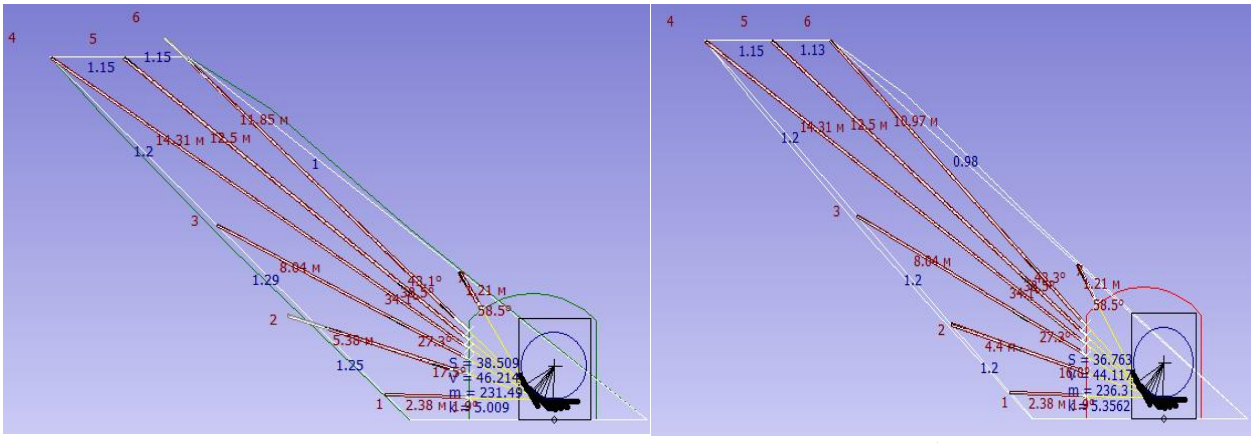
Проблемы, связанные с повышением качества буровзрывных работ всегда актуальны, особенно при разработке золотоносных и серебросодержащих месторождений. Проведение мероприятий по снижению потерь извлекаемого полезного ископаемого является одним из приоритетных направлений, так как объём добываемой руды напрямую зависит от проектных и реализуемых технических решений буровзрывного комплекса. На сегодняшний день показатели потерь и разубоживания являются приоритетным направлением при повышении качества ведения буровзрывных работ. В статье рассмотрено несколько эффективных решений, способствующих повышению производительности и качества добычи на примере месторождением серебра “Дукат”, расположенного в Магаданской области дальнего Востока России.

На сегодняшний день, в качестве рекомендаций, можно разработать несколько эффективных решений, способствующих повышению производительности и качества добычи, а именно:- использование разведочных скважин, применяемых для уточнения контура рудного тела, в качестве взрывных [1];- создание воздушного промежутка в донной части разведочной скважины (взрывной) по висячему боку [2];

Предлагаемые мероприятия будут способствовать повышению производительности, что улучшит качество отбойки руды при минимальных затратах на их внедрение. Целесообразно использование разведочных скважин в качестве взрывных при дальнейшей отработке камеры. Данное предложение позволит сократить время обуривания блока и приведёт к снижению затр

ат [3]. Доразведка с целью уточнения контура рудного тела осуществляется перед непосредственной добычей и в среднем приходится на каждый десятый веер проекта массового взрыва.

На рисунке 1 под *а* и *б* представлен веер, соответственно, с учетом и без учета разведочных скважин, буримых по лежачему и висячему бокам с небольшим перебуром за контур рудного тела.



а *б*

Рис. 1. Проектные контура взрывных вееров с учетом *(а)* и без учета разведочных скважин (*б*)

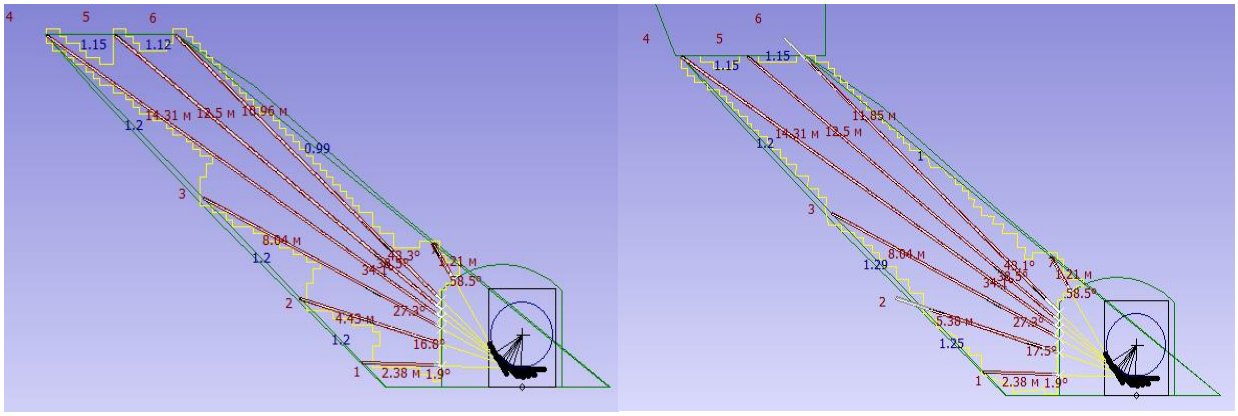
Для обоснования воздушного промежутка в донной части разведочной скважины (взрывной) по висячему боку использовалось современное программное обеспечение (далее ПО) CAE Studio 3 с его модулями, а так же система автоматизированного планирования, проектирования и сопровождения горных работ GeoTech-3D. Для моделирования использовался модуль проектирования буровзрывных работ для подземных горных работ, предназначенный для автоматизации основных операций, выполняемых техническими отделами горнодобывающего предприятия при планировании подземных горных работ, проектировании массовых взрывов и мониторинге сейсмических событий [4].

По результатам моделирования проведено сравнение использования действующего проекта (на примере одного веера скважин) с предлагаемым вариантом.

При моделировании было учтено проведение массового взрыва на верхнем подэтаже камеры. Цель заключалась в максимально точном сохранении контура оставляемой потолочины с наименьшими потерями и разубоживанием при отбойке рудного тела.

Алгоритм производимых расчетов: построение моделей взрывных блоков; автоматизированное размещение вееров скважин и их редактирование; автоматизированная нумерация скважин и вееров скважин; формирование шаблонов конструкций зарядов по длинам и номерам скважин; формирование проекта на бурение; создание моделей взрывных скважин по данным фактического бурения; формирование поверхности отрыва по единичному вееру и по всему заданному блоку при заданных параметрах.

Варьирование различными параметрами, начиная от буровой установки и заканчивая средствами взрывания, позволяет адаптироваться к любым условиям ведения буровзрывных работ. В результате расчетов и моделирования были получены оптимальные показатели скважин в веере. Данные приведены при идентичных параметрах, за исключением использования воздушного промежутка в донной части разведочной скважины (взрывной) по висячему боку. Расчет поверхностей отрыва представлен на рисунке 2.



а *б*

Рис. 2. Моделирование поверхности отрыва при: а- базовом варианте; б- проектном варианте

В результате моделирования получена поверхность отрыва с показателями не только не уступающими, но и превосходящими базовый проект. В частности, более точной отбойки рудного тела донной части скважины № 6, что позволило снизить показатель разубоживания и сохранить контур потолочины при уменьшении расхода взрывчатого вещества. Представленные решения могут способствовать повышению выемки металла в добыче, путем снижения показателей потерь с 5% до 3% и разубоживания с 30% до 28%, являясь экономически эффективными, при минимальных затратах, и незначительном изменении параметров буровзрывных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богуславский Э. И. Управление качеством руды. Учебное пособие. - СПб.: СПГГИ, 2002. - 78 с.
2. Именитов В. Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. - М.: Недра, 1984. - 503 с.
3. Корнев Г.Н., Антоненко В.А. Управление действием взрыва в системах с массовым обрушением. Л.: Наука, 1975. - 112 с.
4. Чечетин С.Г., Хохолков А.А. Использование компьютерной технологии в горном и взрывном деле // Горный журнал, №9-10, 1999. - С. 86-90

ИЗУЧЕНИЕ НАРУШЕННОСТИ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ОБРАЗЦОВ ПИРОКСЕНИТОВ АКУСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Д.В. Морозов, Иванов П.Н., С.С. Саркисов
Научный руководитель: профессор, д.т.н. Е.Б.Черепецкая
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Россия, г. Москва, Ленинский проспект, 4,119991
E-mail: moroz_off_123@mail.ru; Pasha-19951995@mail.ru; sarkfoil@ya.ru

Разработка месторождений в сложных горногеологических условиях, увеличение глубины карьеров, крутизны бортов определяют актуальность проблемы повышения безопасности ведения открытых горных работ, при которых необходимо учитывать влияние процессов выветривания на структуру и свойства геоматериалов [1,2].

Для исследования изменения внутренней структуры образцов геоматериалов под влиянием факторов выветривания необходимо различать структурные элементы различных масштабов от 10 мкм до 1 см. Любая неоднородность может быть обнаружена, если ее характерный размер сравним с длиной волны ультразвукового сигнала. Необходимость диагностики дефектов со столь большим разбросом размеров приводит к требованию широкополосности возбуждаемых сигналов, частота которых должна изменяться от 50 МГц до 200 кГц. Данный частотный диапазон соответствует пространственной протяженности зондирующих сигналов менее 0,2 мм. Поскольку в горных породах затухание ультразвука велико, амплитуда каждой гармоники должна иметь достаточную величину, чтобы при прохождении через исследуемый образец ее значение хотя бы в несколько раз превосходило уровень шумов. Единственным на сегодняшний день методом неразрушающего контроля, при котором можно реализовать данные параметры акустических сигналов, является лазерная ультразвуковая структуроскопия. Использование лазера с энергией в импульсе не более 300 мДж позволяет возбуждать сигналы упругих волн с амплитудой давления до 1,5 МПа и длительность менее 100 нс.

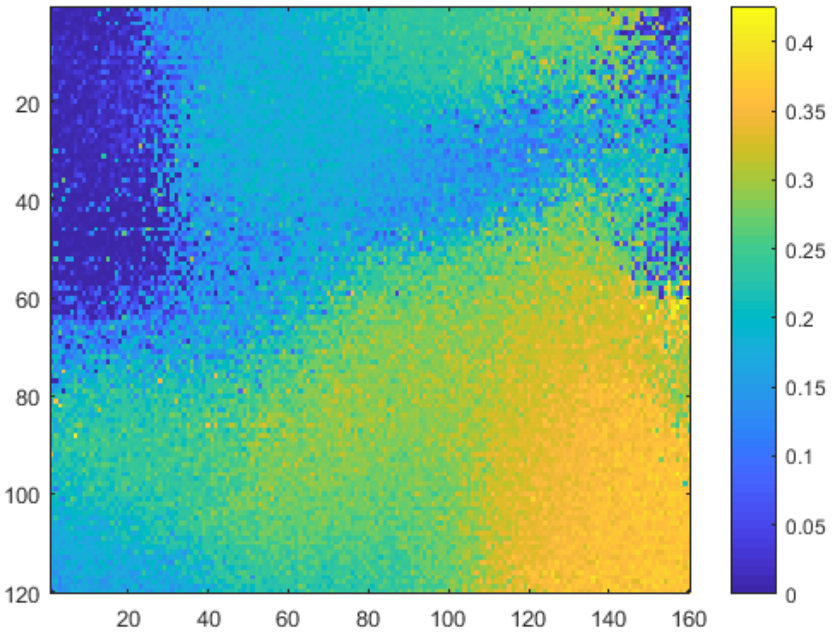


Рис. 1 Пористость образца

В настоящей работе методом лазерно-ультразвуковой спектроскопии исследуется внутренняя структура образцов геоматериала, подвергнутых процессам выветривания.

В установках ультразвуковые импульсы возбуждались в специально разработанных оптико-акустических генераторах (ОАГ). Поглощение лазерного излучения происходило в данном генераторе. Последующее расширение нагретой области приводило к возбуждению коротких мощных ультразвуковых импульсов продольных волн. Использование наносекундных лазерных импульсов с

энергией в импульсе не более 300 мДж позволяет возбуждать импульсы упругих волн с амплитудой давления до 1,5 МПа и длительность менее 100 нс [3]. В результате регистрации рассеянных на неоднородностях акустических сигналов и их обработке строилось изображение внутренней структуры и определялась с высокой точностью скорость упругих волн в нескольких точках образца с шагом 1 мм по поверхности. По формуле

$$P = \left(1 - \left(\frac{C}{C_0}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

рассчитывались значения локальной пористости в каждой точке образца. Результаты расчетов приведены на рис. 1 для образца пироксенита размерами 120 мм на 160 мм и толщиной 8 мм. Шкала справа показывает относительную объемную пористость.

Таким образам, использование широкополосных акустических сигналов и прецизионное измерение скоростей упругих волн позволяет измерять локальную пористость образцов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jiang. M Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 2015 p.327–336
2. Potyondy D.O., Cundall P.A. A bonded–particle model for rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 2004; 41(8):1329–64
3. Карабутов А.А., Макаров В.А., Черепецкая Е.Б., Шкуратник В.Л. Лазерно-ультразвуковая спектроскопия горных пород. М.: Изд "Горная книга", 2008, 176 с.

ИЗМЕРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ШУНГИТА АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Н.А. Морозов, С.С. Саркисов
Научный руководитель: профессор, д.т.н. Е.Б. Черепецкая
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Россия, г. Москва, Ленинский проспект, 4, 119991
E-mail: morozov499@yandex.ru; sarkfoil@ya.ru

Шунгитовые породы являются природным нанокомпозитом [1]. Структура шунгита представлена мелкодисперсными кристаллами силикатного состава размером 1 мкм плотно упакованном в аморфной силикатной матрице, а также вкраплениями углерода в виде фуллеренов [2, 3]. Данная особенность наделяет материал высокими прочностными и изоляционными показателями. Благодаря этому, шунгит часто используют в качестве фибры для радиоизоляционых бетонных и конструкций повышенной прочности.

Для того, чтобы правильно выбрать технологическую схему изготовления бетонов, обладающих требуемыми свойствами, необходимо достоверно знать механические параметры фибры. Однако существующие способы измерения упругих механических свойств данной породы с использованием микро- и наноинденторов имеет ряд ограничений, связанных со сложной структурой образца.

В данной работе представлены результаты измерения скоростей продольных и сдвиговых упругих волн в образцах шунгита и восстановления по ним локальных значений модуля Юнга, модуля сдвига и коэффициента Пуассона, на примере использования сертифицированного лазерно-ультразвукового дефектоскопа модели «*УДЛ-2*». Связь скорости прохождения упругой волны и динамических упругих модулей представлена в таблице 1. Оптико-акустический генератор УДЛ-2 позволяет возбуждать сверхкороткие, длительностью 70 нс, и мощные, амплитудой давления до 1 МПа ультразвуковые импульсы строго контролируемой формы. Точность измерения скоростей упругих волн составляет 3 м/с, что составляет менее 2 % относительной погрешности при восстановлении упругих модулей. Благодаря данным характеристикам, УДЛ-2 применим к высоко поглощающим средам, затухание в которых не позволяет проводить измерения традиционными приборами измерения упругих волн.

Таблица 1 – Связь скорости прохождения упругой волны и упругих модулей

Модуль Юнга	Коэффициент Пуассона	Модуль сдвига
$E = \rho c_s^2 \left(\frac{3c_l^2 - 4c_s^2}{c_l^2 - c_s^2} \right)$	$\nu = \frac{c_l^2 - 2c_s^2}{2(c_l^2 - c_s^2)}$	$G = \rho c_s^2$

Объектом лазерно-ультразвукового контроля являлись образцы шунгита. Один из них представлен в виде пластины с плоскопараллельными стенками размерами 41×31×4,15 мм (рис. 1). Измеренная плотность материала образца составила 2,247 г/см^3.

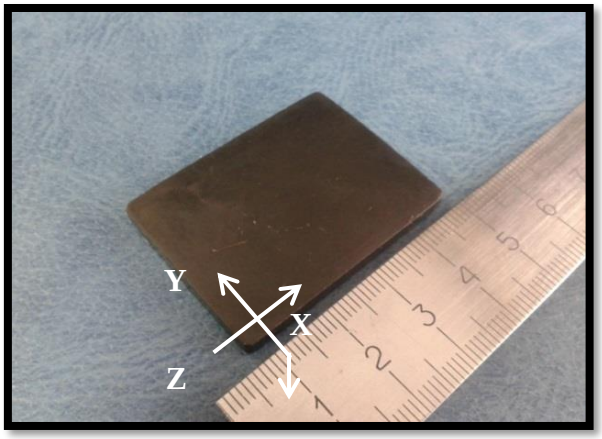


Рис. 1. Фотография исследуемого образца

Измерение динамических упругих модулей на образце проводилось в ручном режиме с использованием плоского широкополосного оптико-акустического преобразователя и программным обеспечением «DSV». Для определения скорости упругой волны, измерялся интервал между временами прохождения ультразвукового сигнала через оптико-акустический генератор и минимума сигнала, отраженного от тыльной поверхности объекта (донного сигнала) с точностью менее 3 нс. Сдвиговая волна определялась по амплитудному всплеску между первым и вторым пиками продольной волны. Рассчитанные значения упругих модулей материала представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Упругие модули по направлению оси Z

№ точки	*Clz*, м/с	*Ctz*, м/с	Модуль Юнга E, ГПа	Модуль сдвига μ, Гпа	Коэффициент Пуассона σ
Точка 1	3900	2680	28	13	0.05
Точка 2	4010	2740	29	14	0.06
Точка 3	3910	2700	28	13	0.04
Точка 4	3944	2710	37	17	0,12

Таким образом, оптико-акустические измерения позволяют определять модули упругости сильно поглощающих ультразвук геоматериалов с высокой степенью поглощения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Krasnovyd S.V., Konchits A. A., Shanina B.D. Local structure and paramagnetic properties of the nanostructured carbonaceous material shungite. Nanoscale Res Lett. 2015; p.10: p.78.doi: 10.1186/s11671-015-0767-9
2. Buseck P.R., Tsipursky S.T., Hettich R. Fullerenes from the geological environment. Science.1992; p.257:p.215–7. doi: 10.1126/science.257.5067.215
3. Kholodkevich S.V., Berezkin V.I., Davydov V.Y. Specific structural features and thermal resistance of shungite carbon to graphitization. Phys Solid State. 1999; p.41:p.1291–4. doi: 10.1134/1.1130984

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В ОБРАЗЦАХ ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕД КОМПЛЕКСОМ МЕТОДОВ

И.А. Павлов
Научный руководитель: ст. н. с., к. ф. –м.н. Саватеева Е.В.
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Россия, г.Москва, Ленинский проспект, 4, 119991
E-mail: 3.14alekseevich@gmail.com

Для идентификации момента начала разрушения геоматериалов исследовались образцы бетона, подвергнутые одноосному сжатию.

По мере нагружения производилась регистрация акустической эмиссии (АЭ). Фиксировалось число зарегистрированных импульсов (АЭ), превышающих установленный уровень за время наблюдения. Также регистрировалось число импульсов в зависимости от энергии сигналов АЭ в четырех частотных диапазонах.

Было построено 3D изображение с помощью компьютерного микротомографа Yamato TDM-1000, разрешающая способность которого позволяет фиксировать структурные элементы, минимальный размер которых составлял 1 мкм.

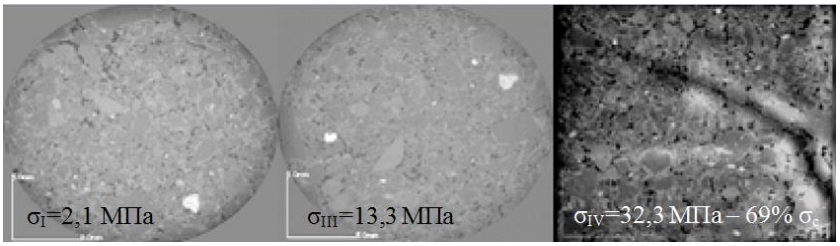


Рис. 1. Фото торцов образца после нагружения в первом (максимальная нагрузка в конце цикла $\sigma_I = 2,1$ МПа), третьем ($\sigma_{III} = 13,3$ МПа) и четвертом ($\sigma_{IV} = 32,3$ МПа $\approx 69\%$ от σ_c) циклах

В ходе испытаний было установлено, что в конце четвертого цикла, при достижении нагрузки 69% от разрушающей, появляется магистральная трещина. Наличие таковой подтверждают и результаты АЭ. При этом в ходе увеличения нагрузки от 3 МПа до 8 МПа, наблюдалась квазилинейная корреляция роста активности АЭ (числа импульсов в единицу времени) и рост числа микродефектов. Активность АЭ и скорость нарастания дефектов постоянны в интервале 8 МПа – 13,3 МПа, однако в ходе реализации четвертого цикла в интервале от 0 до 13,3 МПа, активность акустической эмиссии мала, что является свидетельством проявления такого явления, как эффект памяти.

При достижении максимального значения напряжения в третьем цикле (значения, находящиеся в интервале 13,3 – 32,3 МПа) наблюдается резкий рост АЭ, при достижении напряжением значений 30,1 – 32,0 МПа зависимость активности от σ становится нелинейной. Данное явление свидетельствует о появления магистральной трещины, которая выходила на поверхность образца.

Для определения геометрических размеров образовавшейся трещины, а также ее глубины, была проведена реконструкция изображения, полученного на рентгеновском компьютерном микротомографе Yamato TDM-1000. В ходе данной работы было установлено, что трещина образовалась по всей длине образца, а ее глубина составила приблизительно 2/3 от его поперечного размера.

Для получения изображения, тот же цилиндрический образец бетона с магистральной трещиной, выходящей на торцевую поверхность, был исследован методом лазерно-ультразвуковой дефектоскопии. Сканирование осуществлялось вдоль боковой поверхности образца в ручном режиме. На рисунке 2 отмечены боковая и торцевая поверхности образца, а также многочисленные трещины, среди которых вышеупомянутая магистральная трещина.

В ходе выполнения данной работы было установлено, что акустическая эмиссия дает информацию о процессах дефектообразования в бетонах. Также было установлено, что наиболее достоверным параметром является активность акустической эмиссии, позволяющая фиксировать начало образования магистральной трещины. Однако, для получения ее геометрических размеров необходимо

привлечение дополнительных методов, в качестве которых в данной работе была использована рентгеновская компьютерная микротомография. Для получения изображения нарушенности структуры образца, была использована лазерно-ультразвуковая дефектоскопия, с помощью которой были обнаружены трещины различной конфигурации в объеме образца.

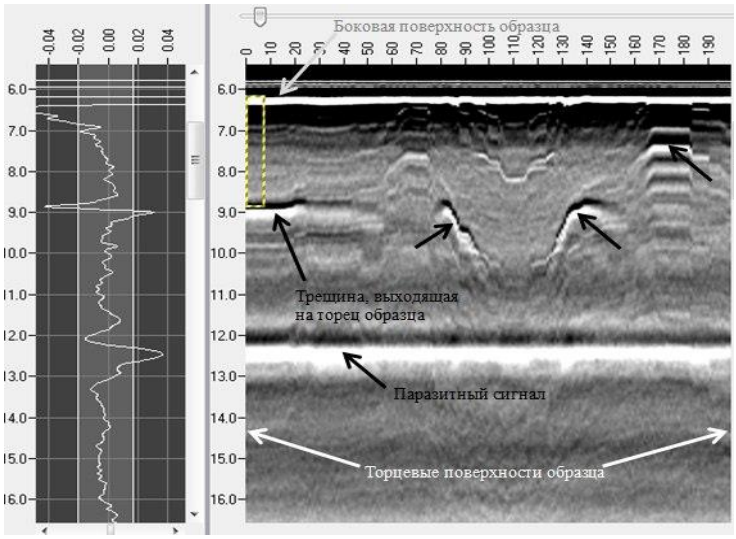


Рис. 2. Результаты лазерно-ультразвукового контроля боковой поверхности образца бетона

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 2003. с.
2. Карабутов А.А., Макаров В.А., Черепецкая Е.Б., Шкуратник В.Л. Лазерно-ультразвуковая спектроскопия горных пород. М.: Изд "Горная книга", 2008. – 176 с.
3. Иньков В.Н., Черепецкая Е.Б. Возможности выявления микродефектов в образцах горных пород лазерным ультразвуковым методом, - Горный 21 информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ). – 2004. – №4. – С. 104-107.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВЫБРОСОВ ИНФРАКРАСНЫХ ГОРЕЛОК НОВОГО ТИПА

Н.С. Пичугин
Научный руководитель: к.т.н. А.С. Мазной
Томский научный центр СО РАН,
Россия, г.Томск, пр. Академический, 10/4, 634055
E-mail: pichugin.n.s@inbox.ru

Перспективным решением для уменьшения габаритов газового котельного оборудования является использование цилиндрических инфракрасных горелок, функционирующих во внутреннем режиме горения [1]. Вопросы соответствия данного типа горелок современным требованиям по выбросам монооксида углерода и оксидов азота остаются не изученными. В частности, требует прояснения вопрос оптимальной структуры пористого цилиндрического излучателя. С этой целью изучены три типа цилиндрических излучателей, диаметр 48 мм, длина 76 мм (ООО «Синтез-СВ», Томск), параметры структуры которых представлены в Таблице 1. Испытания проведены в соответствии с ГОСТ Р 54826-2011. В качестве топлива использовался природный газ (ОАО «Газпром газораспределение», Томск). Состав газа: метан 91,07 % (здесь и далее объёмные проценты), этан 4,05 %, азот 2,02 %, пропан 1,69 %, остальное (диоксид углерода, бутан, пентан) – 1,17 %. Для определения параметров экологии использовался газоанализатор многокомпонентный «Полар» комплектации 4.1 (ООО «Промэкоприбор», Санкт-Петербург, Россия).

Таблица 1 - Характеристики поровой структуры пористых излучателей

	Условное наименование	Размер пор, D_P, мкм	Размер элементов скелета, D_E, мкм
1	Мелкопористая	225	600
2	Среднепористая	270	1000
3	Крупнопористая	470	1350

На рисунке 1 представлены экспериментальные зависимости эмиссии CO и NO_X от коэффициента избытка воздуха для разных удельных мощностей горелок. Исследовались три режима: удельные мощности 16, 26 и 42 Вт/см^2. Верхний порог мощности выбран ввиду необходимости поддерживать температуру пористого излучателя ниже 1100 °C [1]. На рисунке 1 на графиках приведены пороговые уровни эмиссии, которые соответствуют экологическим стандартам, выбранным в качестве целевых показателей: CO < 57 ppm (соответствие скандинавскому стандарту White Swan); NO_X < 41 ppm (соответствие White Swan и высшему, 5-ому, классу экологичности по ГОСТ Р 54826-2011); NO_X < 27 ppm (соответствие одному из самых строгих стандартов США – SCAQMD Amend Rule 1111); NO_X < 16 ppm (соответствие самому строгому стандарту Китая, применимому для столичного региона – DB 11/139-2015). Установлено, что уровень эмиссии CO > 1000 ppm, что является предельной концентрацией по ГОСТ Р 54826-2011, не достигается при коэффициенте избытка воздуха α более 1,05. При этом с ростом α происходит снижение эмиссии как CO, так и NO_X. Установлено, что для удовлетворения самым строгим параметрам экологии CO < 57 ppm и NO_X < 16 ppm, а также возможности регулировать мощность в наиболее широком диапазоне, необходимо использовать крупнопористые излучатели и применять коэффициент избытка воздуха более 1,3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fursenko R., Maznoy A., Odintsov E., Kirdyashkin A., Minaev S., Sudarshan K. Temperature and radiative characteristics of cylindrical porous Ni-Al burners // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2016. – V. 98. – P. 277-284

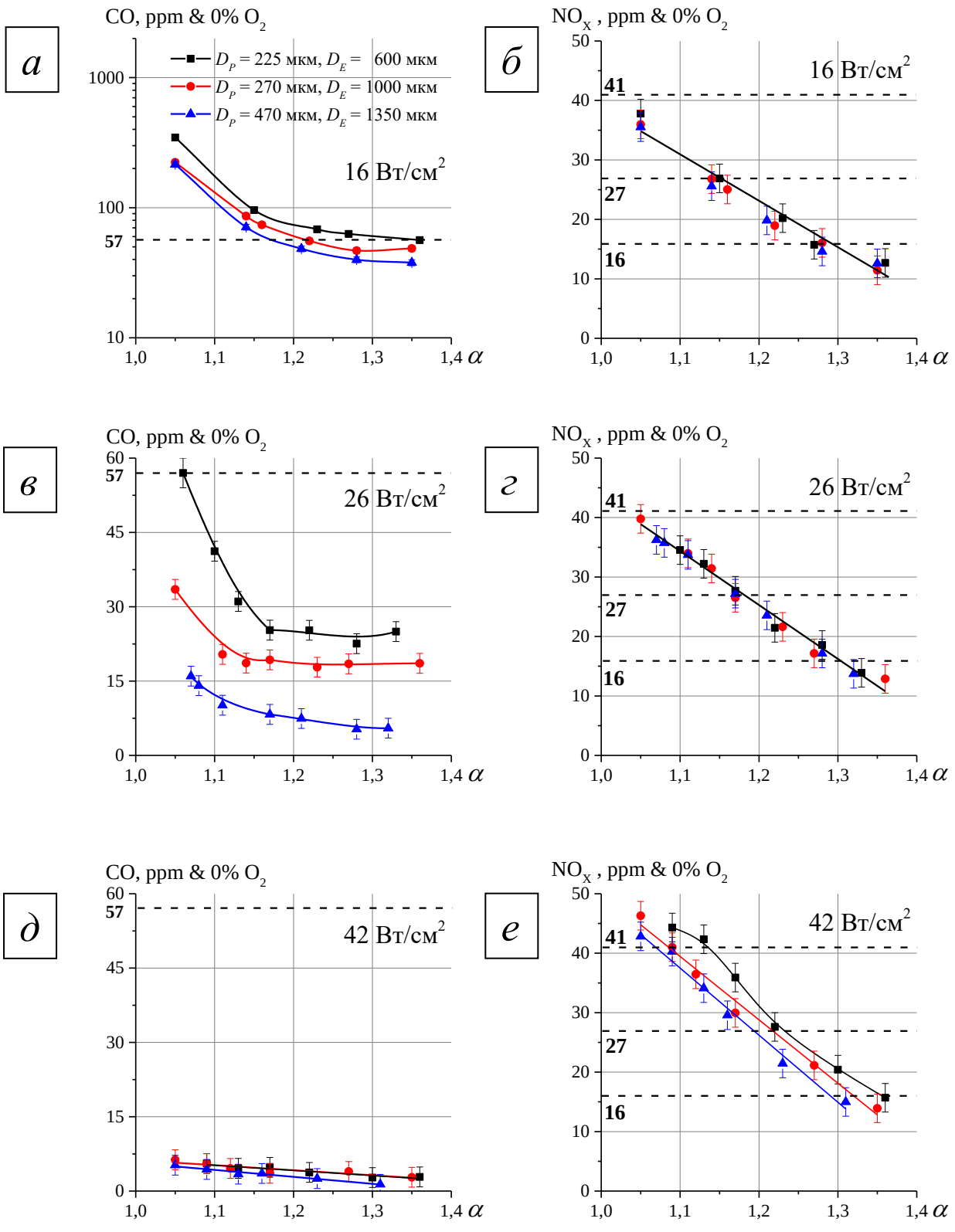


Рис. 1. Параметры эмиссии CO (*а, в, д*) и NO_X (*б, г, е*) от коэффициента избытка воздуха α для различных удельных нагрузок горелок: 16 Вт/см^2 (*а, б*), 26 Вт/см^2 (*в, г*), 42 Вт/см^2 (*д, е*).
Квадратные маркеры: D_P = 225 мкм, D_E = 600 мкм;
Круглые маркеры: D_P = 270 мкм, D_E = 1000 мкм;
Треугольные маркеры: D_P = 470 мкм, D_E = 1350 мкм

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ 2,4-ДИХЛОРФЕНОКСИУКСУСНОЙ КИСЛОТЫ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

А.К. Посвященная
Научный руководитель: доцент, к.х.н. Т.Н. Волгина
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: soch94@mail.ru

На современном этапе развития сельскохозяйственного производства ассортимент химических и биологических средств защиты растений постоянно изменяется: исключаются препараты, вызывающие отдаленные экологические последствия, а список полезных средств пополняется более безопасными и эффективными соединениями с новым механизмом действия.

2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д) представляет собой летучее белое твёрдое вещество без запаха, которое очень плохо растворимо в воде. Это самый распространенный системный гербицид, является действующим веществом 22 препаратов (из них 12-смесевые), разрешенных к использованию в России. Применяется в виде сложных эфиров, натриевой, диметил- и диэтиламиновой солей.

Будучи чужеродным химическим веществом, вносимым в окружающую среду, 2,4-Д представляет опасность для природы и здоровья человека. Считается, что наибольшее количество 2,4-Д накапливается в водных объектах (стабильность 2,4-Д в водной среде достигает 3 месяцев), в результате выщелачивания из почв в поверхностные воды. Поэтому из-за значительных объемов производства и применения 2,4-Д входит в приоритетный список препаратов, подлежащих строгому контролю. Так ПДК 2,4-Д в питьевой воде составляет 0,03 мг/дм3, в природной это значение не должно превышать 1.

В настоящее время для обезвреживания 2,4-Д используют различные методы: биологический [1], термический, плазмохимический [2], фотокаталитический [3] и др. Чаще всего обезвреживание 2,4-Д, вышеперечисленными методами, может приводить к образованию веществ, обладающих одинаковой или большей токсичностью, чем исходная кислота. Поэтому все чаще встает вопрос о разработке более эффективных процессов обезвреживания таких токсикантов до малоопасных или безопасных продуктов.

Целью данной работы является исследование процесса деструкции 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты под действием окислительной системы, генерируемой при пропускании электрического тока через водные растворы серной кислоты.

При электролизе серной кислоты образуется целый ряд активных окислителей (пероксид водорода, озон, кислород, моно- и надсерная кислоты), под действием которых протекает многоступенчатая деструкция 2,4-Д, что подтверждают спектры, приведенные на рисунке 1, где наглядно показано какие изменения претерпевает структура исходной хлорорганической молекулы. До начала окисления максимумы поглощения 2,4-Д лежали в области 210…240 (характеризует ароматическую структуру – наличием кратных связей в бензольном кольце) и 280…290 нм (характеризует связь заместителей с ароматическим кольцом – наличие электродонорного заместителя). Через 15 минут процесса наблюдается сглаживание максимума в более длинноволновой области (что свидетельствует об отрыве заместителя от ароматического кольца) и появление нового максимум поглощения в диапазоне 250…260 нм, а также проявление более четкого максимума при 210 нм, свидетельствующее об образовании стабильного промежуточного продукта, схожего со структурой хинонов. Согласно экспериментальным данным, содержание данного продукта в первые минуты процесса растет и, достигнув максимума на 15 минуте, далее уменьшается в результате дальнейшего окисления с образованием органических кислот, которые в свою очередь также являются промежуточными продуктами деструкции 2,4-Д. Максимальное количество кислот (в пересчете на уксусную) образуется в течение первых 2-х часов процесса (табл. 1). И спустя еще 60 минут их концентрация снижается в 3 раза, а конечными продуктами деструкции являются углекислый газ и вода.

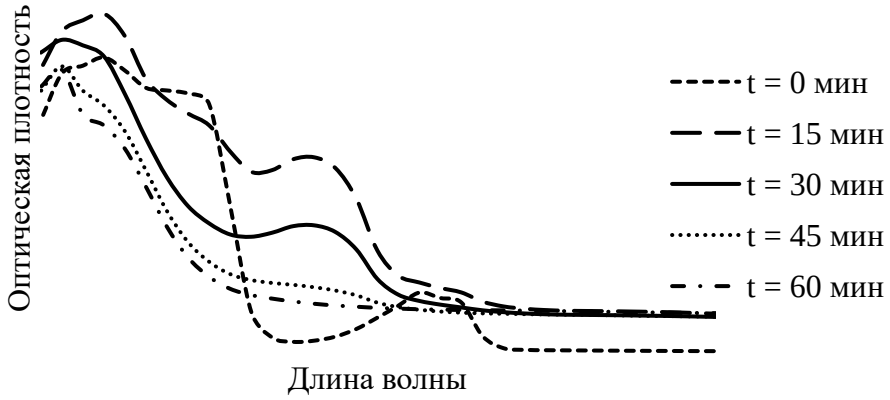


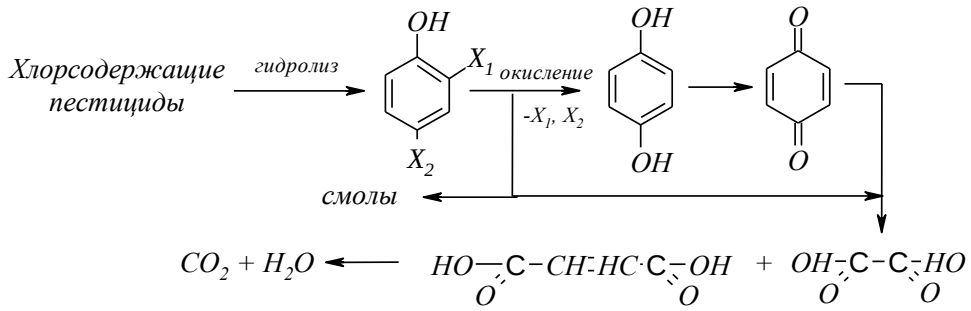
Рис. 1. Спектры поглощения сернокислотного раствора 2,4-Д в процессе деструкции

Уменьшение оптической плотности максимума на 210 нм свидетельствует о разрушении ароматического кольца, как сопряженной системы, однако процесс этот протекает достаточно медленно, что также подтверждается данными бромометрического титрования (табл. 1)

Таблица 1 – Изменение бромного числа и содержания карбоновых кислот (мг/дм^3) при окислительной деструкции 2,4-Д с начальной концентрацией 1 г/дм^3

Время процесса, мин	0	60	120	180
Бромное число, г Br на 100 г	22,21	21,95	17,38	15,24
Кислотное число, мг КОН на 1 г	0	365	425	156

Следует отметить, что наряду с окислением 2,4-Д в кислой среде подвергается также гидролизу. Таким образом, основываясь на литературных данных и проведенных нами исследованиях можно предположить, что деструктивное окисление 2,4-Д под действием окислителей генерируемых электрохимически протекает по схеме:



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hmelevskaya M. S., Akhramovich T. I., Ignatovets O. S., Leontiev V. N., Feskova A. The natural ways of degradation of pesticides based on 2,4-dichlorophenoxyacetic acid // Proceedings of BSTU. – 2016. – V. 4. – P. 124–128.
2. Oost G. Van, Hrabovsky M., Khvedchyn I., Sauchyn V., Shvarkov D. Destruction of toxic organic compounds in a plasmachemical reactor // Vacuum. – 2013. – V. 88. – P. 165–168.
3. Abdennouri M., Baâlala M., Galadi A., El Makhfouk M., Bensitel M., Nohair K., Sadiq M., Boussaoud A., Barka N. Photocatalytic degradation of pesticides by titanium dioxide and titanium pillared purified clays // Arabian Journal of Chemistry. – 2016. – V. 9. – P. S313–S318.

ИЗОТОПНЫЙ АНАЛИЗ СЕРЫ СУЛЬФИДОВ AU-TE МЕТАСОМАТИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДГОЛЕЧНОЕ И САМОЛАЗОВСКОЕ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЛДАН)

Н.П. Русинова, В.И. Леонтьев
Санкт-Петербургский горный университет
г. Санкт-Петербург, 21 линия В.О., 2, 199106
E-mail: N.P.Rusinova@yandex.ru

Более чем полувековое изучение изотопного состава серы сульфидов позволило расширить представления об эволюции гидротермальных минералообразующих систем. Одно из первых обобщений результатов изучения изотопов серы в рудных месторождениях было выполнено Н.В. Петровской (1965). Особое внимание уделялось возможности использования изотопного анализа для решения вопросов, связанных с генезисом месторождений. Соотношение изотопов серы в сульфидах характеризует изотопный состав флюида, а, следовательно, источник (или источники) серы, вовлеченной в рудообразование [3].

В результате смены физико-химических условий минералообразования и механизмов отложения руд изотопный состав флюида может меняться. Высокая геохимическая подвижность серы приводит к разделению ее изотопов в природных условиях. Изотопный состав серы магматических пород, источником которых является верхняя мантия, сходен с изотопным составом метеоритной серы, для нее обычно характерны значения $\delta^{34}S$, близкие к нулю.

Работы соотечественников по изотопному составу серы в минералах эпитермальных месторождений щелочной специализации значительно более скудно представлены по сравнению с зарубежными материалами. Было замечено [4, 5], что для щелочных эпитермальных месторождений характерен изотопно легкий состав серы (обычно меньше 0‰). На основании тесной ассоциации Au-Te минерализации с магматизмом основного состава повышенной щелочности, формирующихся за счет дифференциации мантийного базальтоидного расплава, полагают, что Au и Te поступают в систему с глубинным флюидом [1].

В рамках работы анализировался изотопный состав серы пиритов из рудоносных адуляр-флюоритовых метасоматитов месторождения Подголечное и из различных литологических типов пород месторождения Самолазовское (гумбеиты, скарны, рудоносные флюорит-роскоэлит-карбонат-кварцевые метасоматиты). Образцы измельчались до 1-2 мм, выделялась тяжелая фракция, которая дополнительно разделялась с помощью магнита, после чего под бинокуляром отбирались мономинеральные пробы. Для исследований удалось отобрать только пирит ввиду низкого содержания сульфидов, мелкозернистой структуры пород и сложности обработки образцов.Измерение изотопного состава серы выполнялось на масс-спектрометре Thermo Quest Finnigann MAT DELTA Plus XL в центрально-аналитической лаборатории ВСЕГЕИ. За стандарт взято значение изотопного отношения CDT.

Сера пиритов из рудоносных адуляр-флюоритовых метасоматитов месторождения Подголечное характеризуется диапазоном значений от -1,8 до -5,5‰ (табл.1). Изотопный состав серы пиритов месторождения Самолазовское обладает сравнительно более облегченным изотопным составом серы относительно изотопного состава серы пиритов метасоматитов месторождения Подголечное и характеризуется диапазоном значений $\delta^{34}S$ от -6,9 до -12,3‰. Стоит отметить, что $\delta^{34}S$ изучаемых пиритов обоих месторождений изменяется в узком диапазоне, что позволяет говорить о едином, хорошо гомогенизированном источнике серы пиритов и близких физико-химических условиях их отложения. Такие вариации изотопного состава серы демонстрируют отсутствие существенного ее фракционирования в период рудоотложения. Сера пиритов немного обогащена легким изотопом ^{32}S по сравнению с серой метеоритного троилита, что хорошо соотносится с данными по изотопному составу серы других эпитермальных золоторудных месторождений [2, 4, 5].

В целом, значения $\delta^{34}S$ в сульфидных минералах имеет узкий интервал отрицательных значений, близких к 0‰, что можно интерпретировать как отложение сульфидов в условиях равновесия с сероводородом флюида. Тенденция к облегченному составу серы может свидетельствовать о том, что часть рудного вещества могла эволюционировать и переходить в условно легкую газовую фазу, и сера рудообразующего раствора выносилась совместно с летучими в форме H_2S.

Таблица 1 – Результаты изотопного анализа серы пиритов из рудоносных метасоматитов месторождений Подголечное и Самолазовское

Место-рождение	Порода	Анализируемый минерал	Значение $\delta^{34}S$
Подголечное	адуляр-флюоритовые метасоматиты	пирит	-1,8
	адуляр-флюоритовые метасоматиты	пирит	-3,7
	адуляр-флюоритовые метасоматиты	пирит	-2,3
	адуляр-флюоритовые метасоматиты	пирит	-5,5
	адуляр-флюоритовые метасоматиты	пирит	-2,4
	Среднее значение		*-3,14*
Самолазовское	флюорит-роскоэлит-карбонат-кварцевые метасоматиты (брекчиевые)	пирит	-12,3
	флюорит-роскоэлит-карбонат-кварцевые метасоматиты (прожилково-вкрапленные)	пирит	-6,7
	гумбеиты	пирит	-6,9
	гумбеиты	пирит	-7,2
	скарны	пирит	-7,9
	скарны	пирит	-9,4
	Среднее значение		*-8,4*

Таким образом, учитывая петрологические, геохимические, структурно-литологические данные, связь Au-Теоруденения с вулкано-плутоническим массивом щелочного состава, можно предположить привнос рудного вещества из магматического источника. Данные по изотопному составу серы сульфидов золото-теллуридных месторождений близки ювенильным значениям изотопного состава серы, что не противоречит выводу о мобилизации серы в рудообразующий флюид при выносе серы из материнского магматического расплава и представлениям о существенном вкладе магматического компонента при формировании рудообразующего раствора.

Полученные результаты хорошо соотносятся с данными по другим подобным объектам. Следует подчеркнуть чрезвычайное сходство изотопного состава серы сульфидов рассматриваемых месторождений и золоторудных с теллуридами месторождений, относящихся к эпитермальному типу (А-тип) [1, 4, 5]. Также для многих эпитермальных месторождений Чукотки характерно небольшое облегчение ($\delta^{34}S$ = -0,5.. -4,7‰,) изотопного состава серы сульфидов [2]. Для данных месторождений предполагается ювенильный источник серы пиритов, что соответствует предположению о мантийном источнике рудного вещества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваленкер В.А. Условия формирования и факторы крупномасштабного концентрирования золота порфировых и эпитермальных месторождений / В.А. Коваленкер // Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых. Том 2. Стратегические виды рудного сырья. – М.: ИГЕМ РАН. – 2006. – С.143-214.

2. Загрузина И.А. Изотопный состав серы сульфидов золоторудных месторождений / И.А. Загрузина, М.Н. Голубчина, Е.П. Миронюк и др.// Использование изотопов серы для решения геологических задач: сб. науч. тр. – Л.: Недра. – 1986 – с. 96-112.

3. Петровская Н.В. О возможностях применения некоторых методов изотопного анализа при металлогенических исследованиях // Изучение закономерностей размещения минерализации при металлогенических исследованиях рудных районов. М.: Недра, 1965, С. 195-247.

4. Jensen E.P., Barton M.D. Gold deposits related to alkaline magmatism // Gold in 2000, Rev. Econ. 2000.

5. Richards J. P. Alkalic-type epithermal gold deposits – a review / J.P. Richards // Magmas, fluid and ore deposits. – Mineralogical Assoc. of Canada. Short course ser. - 1995. – V. 23. – P. 367-400.

ОПРЕДЕЛНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ МЕТАМОРФИЧЕСКОГО СЛАНЦА НА ОДНООСНОЕ СЖАТИЕ МЕТОДОМ УПРУГОГО ОТСКОКА

М.В. Сизиков
Научный руководитель: профессор, д.ф–м.н. А.А. Карабутов
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Россия, г.Москва, Ленинский проспект,4, 119991
E-mail: dstny.pr1m@gmail.com

Прочность является одной из важнейших характеристик скального грунта, которая характеризует его критическое состояние, при котором добавление любой бесконечно малой нагрузки приводит к разрушению. Этот параметр используют для расчетов в ряде инженерно-геологических задач [1]. В свою очередь, проведение комплекса лабораторных исследований на каждой стадии изысканий является трудоемкой задачей как с точки зрения времени, так и с точки зрения стоимости работ. Поэтому, все чаще при исследовании скальных грунтов на предварительных этапах используются косвенные методы определения прочностных характеристик. Одним из косвенных методов определения прочности на одноосное сжатие является метод упругого отскока [2]. Данный метод является неразрушающим и может выполняться как в лабораторных, так и в полевых условиях.

Метод упругого отскока основан на положениях теории упругости. Существует теоретическое обоснование зависимости высоты отскока абсолютно твердого тела при ударе об упругий объект. Таким образом, метод классифицируется как косвенный: по величине одного показателя, измеряемого непосредственно (высота отскока), судят о величине другого показателя, характеризующей исследуемы объект (прочность на одноосное сжатие). По разным источникам, метод допускается применять для определения прочности на одноосное сжатие в пределах от 5-10 до 100 МПа. Однако, в случае скальных грунтов, определение прочности допускается и при превышении предела в 100 МПа.

В методе упругого отскока используется склерометр (молоток Шмидта). Применительно к инженерно-геологическим задачам, склерометр используется при проведении полевых исследований грунтов на этапе рекогносцировки и картирования. Отдельно следует отметить использование склерометра в процессе бурения скважин, когда в полевых условиях керны скальных грунтов испытываются данным методом, а методика проведения этого вида работ одобрена международным сообществом по механике грунтов.

Объектом исследования в настоящей работе являлся метаморфический сланец, отобранный в районе полуострова Новая Земля. Сланец глинистый, сероват-зеленого цвета, слоистый, излом чешуйчатый.

Перед проведением контроля на поверхность объекта наносилась разметка – точки, в которых происходил удар. Расстояние между точками удара было не менее 3 см. Далее исследуемый объект помещается на твердую поверхность. Для проведения испытания, прибор опирался ударником в отмеченную точку, и нажатием на корпус происходило задавливание плунжера внутрь корпуса до характерного «щелчка» - в этот момент боек, находящийся внутри корпуса прибора, под действием натяжения пружинного механизма ударял по плунжеру, и происходило измерение энергии упругого отскока Q (рис. 1).

Расчет прочности на одноосное сжатие (Rнк), по результатам испытаний методом упругого отскока, проводился с использованием корреляционной зависимости энергии упругого отскока Q, регистрируемой прибором, от Rнк, [3]:

$$Rнк = 0.0028 \cdot Rl^{2.584}, \quad (1)$$

где $Rl = 0.003 \cdot Q2 + 0.567 \cdot Q + 8.3281$. В выражении (1) энергия Q выражена в Дж, полученные значения Rнк – в МПа. Результаты расчета приведены в таблице 1.

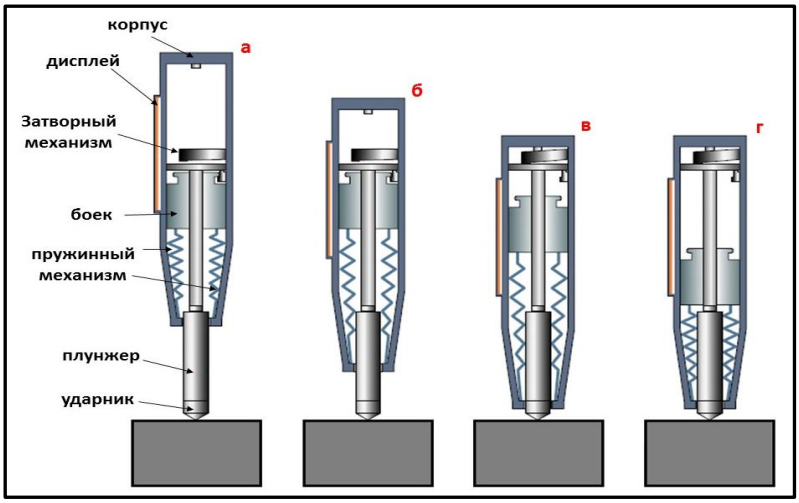


Рис. 1. Конструкция и схема работы склерометра

Таблица 1 – Результаты расчета прочности на одноосное сжатие по результатам неразрушающего контроля

Условные обозначения	Значение $Q_{сред}$	Rнк, МПа	Rc, МПа (лаб.)
С-1-1	61,7	85,5	84,3
С-1-2	68	111,5	71,0

Rc – прочность на одноосное сжатие по результатам лабораторных исследований; Rнк – прочность на одноосное сжатие по результатам неразрушающего контроля методом УО.

Расчет прочности на одноосное сжатие производился с использованием средних значений величин Q. Как видно из таблицы 1, результаты, полученные методом упругого отскока, находятся в хорошем соответствии с результатами лабораторных исследований, полученных по ГОСТ 21153.2-84*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hudson J.A., Harrison J.P. Engineering rock mechanics an introduction to the principles, 4th impression. Pergamon publishing, 2005, p. 443.
2. The ISRM suggested method for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014. Springer International Publishing Switzerland, 2015, ISBN 978-3-319-07713-0. p. 292.
3. Yagiz S. Predicting uniaxial compressive strength, modulus of elasticity and index properties of rocks using the Schmidt hammer. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 68, 2009, p. 55-63.

БЕТОНЫ ДЛЯ ПОДВОДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Р.С. Федюк, Д.Е. Кузьмин, В.О. Батаршин, И.С. Гармашов
Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.С. Лесовик
Дальневосточный федеральный университет,
Россия, г.Владивосток, ул. Суханова, 8, 690950
E-mail: roman44@yandex.ru

Бетон в качестве строительного материала применяется в подводных работах на протяжении нескольких столетий. В то же время, простой, без применения дополнительных механизмов и устройств, способ опускания жидкого бетона, приготовленного на воздухе или затворенного на воде, достаточно быстро убедил строителей в его неприменимости [1].

Гидротехнический бетон относятся к тяжелым типам: его состав с повышенным сопротивлением воздействию воды, водонепроницаем и способен противостоять низким температурам, высокоплотный, обладающий прекрасной стойкостью к любым видам деформаций.

Известно, что бетон подводных сооружений подвергается различным воздействиям окружающей среды. В наиболее тесных эксплуатационных условиях оказывается бетон в зоне переменного водного горизонта. В этой области поверхность бетонных конструкций испытывает циклические воздействия на сушку-увлажнение, на ней поселяются колонии бактерий, грибков и растений. Их синергетическое биологическое и водное влияние на бетонный материал в ряде случает ведет к скорому разрушению конструкций. Широко известны случаи разрушения облицовок оросительных каналов, гидротехнических соорружений и др. И практически всегда данное разрушение начиналось от области циклического увлажнения и высушивания.

Экспериментальные результаты показали, что в ходе зарождения и роста микротрещин бетона за счет расклинивающего действия влаги идет быстрое развитие биологической флоры. Максимальная интенсивность этой биофлоры отмечается в устьях микротрещины. На визуально сухой поверхности бетона в трещинах остается мокрая среда и специфические условия биоразвития ряда организмов. Синергетическое влияние биологических и гигрометрических параметров ведет к быстрому разрушению бетонных сооружений [2-3]. Сетка трещин в определенных условиях растет перманентно, иногда доходя до 10...20 см в сутки. Показательно, что рост образования трещин идет не только по поверхности, но и в глубину. Растрескивание защитного бетонного слоя толщиной 3...5 см может происходить за 30 суток. Затем начинается арматурная коррозия, интенсифицирующая процесс разрушения бетона (рис. 1).



Рис. 1. Коррозия гидротехнического бетона

Биологическая коррозия бетона гидротехнических сооружений наиболее пагубна в области циклического увлажнения и высыхания. Для создания коррозионной стойкости должны совместно работать не менее двух условий: поверхностная трещиностойкость и биологическое сопротивление материала. Идеальным следовало бы признать абсолютно трещиностойкий бетон с бактерицидно-активной поверхностью к водной биофлоре. В данном случае сплошность бетона должна сохраняться заданной на эксплуатационный срок, а на поверхности гидротехнических сооружений должна отсутствовать биологическая флора.

Решение данной задачи сильно усложняется при необходимости использования высокоподвижных и литых бетонных смесей, наиболее целесообразных в гидротехническом строительстве. Повышенный расход воды затворения приводит к развитию капиллярной пористости, а, следовательно, к возможности развития биологической коррозии и образования трещин. Потребность в применении высокоподвижных смесей чаще всего возникает в монолитном гидротехническом строительстве, при возведении протяженных сооружений, малой мощности виброуплотняющих устройств, необходимости подачи бетонной смеси трубопроводным транспортом.

В ходе эмпирических исследований было выявлено, что, повышение коррозионной стойкости может быть достигнуто путем применения комплексных активных присадок для бетона. Очевидно, что данные добавки (присадки) должны обладать полифункциональным действием на бетонную смесь и готовый бетон.

Для обеспечения высокой подвижности бетонной смеси комплексная добавка должна обладать свойствами, которые близки к современным гиперпластификаторам, быть способной модифицировать свойства бетона в сторону повышения его плотности и особенно бактерицидности к водной микрофлоре.

Бетонная смесь – это многокомпонентная система, в которой с момента ее приготовления до схватывания цемента обычно происходят процессы седиментации, обусловленные различной плотностью компонентов. В результате данных процессов происходит выжимание воды – водоотделение, величина которого зависит от степени седиментационного уплотнения структуры. В ходе динамических воздействий, происходящих в процессе транспортирования, укладки в конструкцию и избыточного вибрационного уплотнения бетонной смеси, происходит расслоение и водоотделение, которые сказываются в дальнейшем на качестве бетона.

Рекомендуемые характеристики гидротехнического бетона для области попеременного (циклического) намокания-сушки приведены в табл. 1 [4-6].

Таблица 1 – Компоненты бетонной смеси

Характеристика	Значение
Класс бетона	B25
Водонепроницаемость	W8
Морозостойкость	F150
Удобоукладываемость	П3

Из-за своих особенностей водостойкий бетон должен укладываться в сжатые сроки и большими объемами. Для обеспечения сохранности свойств при укладке, раствор должен отвечать требованием уменьшенного тепловыделения при сушке. Его значение ограничивается допустимым ростом температуры, назначенным с целью сведения к нулю возможностей образования трещин в элементах гидротехнических сооружений толщиной от 2,5 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ануфриева Е.В. Коррозионностойкий бетон для гидротехнического строительства // Градостроительные аспекты устойчивого развития крупных городов. – Харьков: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2009.
2. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Повышение непроницаемости фибробетонов на композиционном вяжущем: монография. – Белгород, 2016. – 165 с.
3. Федюк Р.С. Проектирование цементных композитов повышенной непроницаемости // Вестник МГСУ. 2016. № 5. С. 72-81.
4. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Теоретические предпосылки создания цементных композитов повышенной непроницаемости // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2016. № 1 (47). С. 65-72.
5. Федюк Р.С. Синергетическое действие компонентов вяжущего // Научный журнал строительства и архитектуры. 2016. № 4 (44). С. 71-78.
6. Федюк Р.С. Диффузионная проницаемость в зависимости от состава фибробетона // Строительство и реконструкция. 2016. № 5 (67). С. 99-105.

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ИСТОЧНИКА ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Г.С. Фоминых, О.Н. Медведева
Научный руководитель: доцент, д.т.н. О.Н. Медведева
Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина
Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, 410054
E-mail: medvedeva-on@mail.ru

За последние 20 лет во многих странах мира наблюдается устойчивая тенденция к диверсификации используемых в энергетике видов топлива и генерирующих технологий, а также к расширению спектра и масштабов использования энергоустановок малой мощности. Большинством развитых стран принята концепция энергетической безопасности, которая предполагает принятие комплексных мер по энергосбережению, развитие малой энергетики, использование экологически чистых видов топлива и возобновляемых источников энергии. В этой связи, в сложившихся условиях, технологии децентрализованного (автономного) энергоснабжения отличаются высокой востребованностью, и спрос на энергетические объекты малой мощности растет высокими темпами.

Во многих странах мира (к их числу относится и Россия) сжиженные газы используются для нужд хозяйства и промышленности уже много десятилетий. Такие свойства этих газов, как высокая теплотворная способность, экологичность сгорания, удобство хранения и транспортировки в сжиженном виде под давлением, а также возможность дальнейшей переработки для получения синтетической продукции, обеспечивают им широкий спектр применений — в качестве источника тепла, моторного топлива, сырья для нефтехимических производств. Масштабы использования сжиженных газов в каждой из этих областей во многом специфичных для конкретного региона потребления [1, 2 и др.].

Одной из основных тенденций развития малой энергетики в мире стало увеличение объемов использования такого практически универсального топлива, как сжиженный природный газ. При достаточно высоком уровне газификации в европейской части РФ остается открытым вопрос газификации отдаленных и труднодоступных населенных пунктов. При значительном удалении потребителя и малой численности жителей этих поселений сетевая газификация становится неэффективной, и потребители, находящиеся на таких территориях, лишены возможности использовать природный газ. Особенно остро эта проблема стоит в восточных регионах РФ. Для удаленных населенных пунктов, где магистральные газопроводы практически недосягаемы, а строительство распределительных газопроводов экономически неэффективно, использование сжиженного природного газа (СПГ) может стать реальной альтернативой прокладки газопроводов [3, 4].

Важным звеном в технологической цепочке доставки сжиженного природного газа потребителям топлива выступает завод по сжижению. В этой связи оптимизация параметров завода может существенно улучшить общие технико-экономические показатели системы автономного газоснабжения. Целесообразность строительства завода по сжижению газа определяется для каждого конкретного случая индивидуально [5, 6].

К основным преимуществам небольших заводов по производству сжиженного природного газа относятся: существенная экономия места, необходимого для строительства завода; снижение капитальных вложений примерно на 40%, а эксплуатационных – на 20%; использование более простых технологий; надежность и простота эксплуатации [3].

В качестве критерия оптимальности используется минимум затрат в топливную составляющую доставки газа:

$$Q = \left(0{,}01 + \left(1 + 0{,}01D\right)\right)\sum_{i=1}^{n}\left(n_{тр}\left(G_{пг,i}^{сут}\right)1{,}2 \cdot l_i\left[2q_1 + q_2\left(m_{спг}^{ном} + 2m_{хлад}^{ном}\right)\right]\right) = min,$$

где D – суммарная относительная надбавка к норме, %; $l_i = \sqrt{\left(x - x_i\right)^2 + \left(y - y_i\right)^2}$ – средняя длина i-го маршрута, км; $x_1, y_1; x_2, y_2, \ldots, x_i, y_i, \ldots, x_m, y_m$ – координаты потребителей газового топлива; q_1 – расход бензина по трассе, л/100км; q_2 – расход бензина с учетом перевозки СПГ, л/(100т·км); $m_{спг}^{ном}$, $m_{хлад}^{ном}$ – номинальная масса перевозимого СПГ и хладоносителя; $G_{пг,i}^{сут}$ – суточная потребность в газе; $n_{тр}$ – количество цистерн для перевозки газа.

Трассировка автомобильных дорог, по которым осуществляется доставка газа, имеет бесконечное множество вариаций. В этой связи, был рассмотрен средний вариант доставки, когда завод по сжижению будет располагаться вблизи магистрального газопровода, оптимальные значения управляющих параметров $(x_{opt};y_{opt})$ возможно определить из решения следующей системы уравнений:

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}01\left(1+0{,}01D\right)\sum\limits_{i=1}^{n}1{,}2\sqrt{\left(x_i-x\right)^2+\left(y_i-y\right)^2}\cdot\left(2q_1+q_2\cdot\left(m_{спг}^{ном}+2m_{хлад}^{ном}\right)\right)\cdot n_{тр}=0 \\ \left(\dfrac{y_2\left(x-x_1\right)-y_1\left(x-x_2\right)}{x_2-x_1}\right)=y \end{array}\right\}.$$

Для численной реализации математической модели были проведены соответствующие расчеты. Графическая интерпретация результатов применительно к условиям Курганской области представлена на рисунке 1.

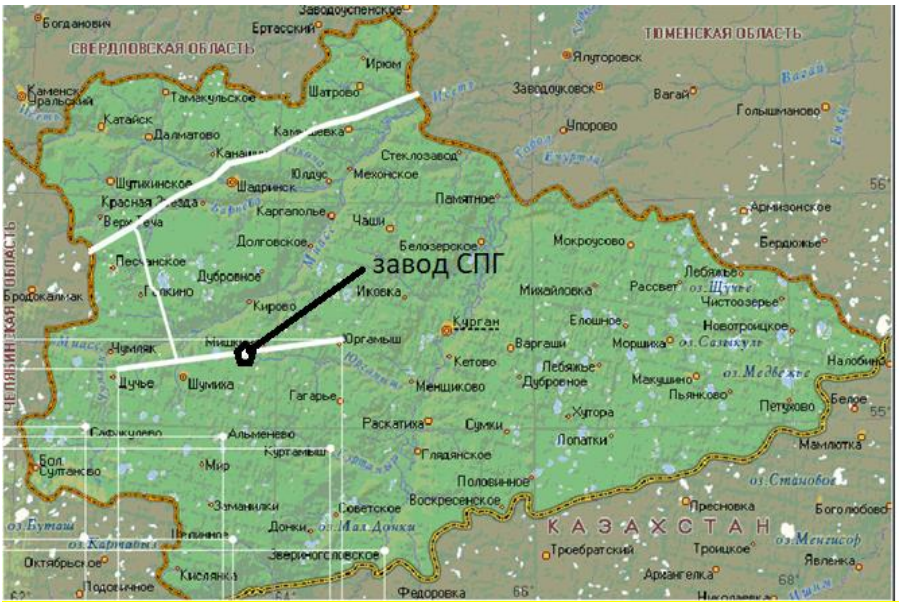


Рис. 1. К выбору оптимального расположения завода по производству СПГ

Нанеся на карту координатную сетку и предварительно задавшись координатами расположения магистрального газопровода, получаем оптимальные значения координат завода по производству СПГ – (137,4;125,1).

Оценка экономической эффективности использования сжиженного природного газа показывает, что данный энергоноситель позволяет обеспечить потребителей безопасным, конкурентоспособным топливом в тех регионах страны, где экономически нецелесообразно строительство газопроводных сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы. – М.: Нефть и газ, 2009. – 640 с.
2. Evans. Peter C. Age of gas & the power of networks. – USA: General Electric Company, 2013. – 93p.
3. Бармин И.В. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра. − М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. − 256 с.
4. Гречко А.Г. Мировой рынок сжиженного природного газа // Холодильная техника. – 2009. – № 9. – С. 52-55.
5. Медведева О.Н. Технико-экономический анализ вариантов снабжения потребителей сжиженным природным газом // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2011. – №3. – С. 49-55.
6. Медведева О.Н., Фролов В.О. Моделирование систем снабжения потребителей сжиженным природным газом // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – Саратов: СГТУ, 2011. – №1. – С. 59-62.

СОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Хамитова К.К., Исмаилов Д.В.
Научный руководитель: доктор PhD Габдуллин М.Т.
Казахский национальный университет им.аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан
E-mail: ismailov_daniyar_v@bk.ru

В настоящее время, когда очистка промышленных сточных вод стала одним из самых распространенных технологических процессов, вопросы ее совершенствования и оптимизации особенно актуальны.

Основную массу загрязняющих веществ в виде токсичных соединений тяжелых металлов вносят недостаточно очищенные и неочищенные сточные воды предприятий горнодобывающей и машиностроительной отраслей.

Сорбционные методы очистки промышленных сточных вод от загрязняющих веществ различной физико-химической природы на основе применения природных сорбентов находят все более широкое распространение на предварительных и завершающих этапах технологической цепочки очистки, а также как самостоятельные методы [1- 4].

Для решения поставленных задач необходимы сорбенты, обладающие эффективными сорбционными свойствами. Они должны слабо взаимодействовать с молекулами воды и хорошо с органическими веществами, быть относительно крупнопористыми. При малом времени контакта с водой они должны иметь высокую сорбционную емкость, высокую селективность и малую удерживающую способность при регенерации. При этом затраты на регенерацию должны быть небольшими. Сорбенты должны быть прочными и не подвергаться истиранию, быстро смачиваться водой, иметь определенный гранулометрический состав.

Кроме того, они должны обладать малой каталитической активностью по отношению к реакциям окисления, конденсации и прочее, так как некоторые органические вещества, находящиеся в сточных водах, способны окисляться и осмоляться. Осмолившиеся вещества забивают поры сорбента, что затрудняет его низкотемпературную регенерацию. Наконец, они должны иметь низкую стоимость, при этом сорбционная емкость после регенерации должна изменяться незначительно и обеспечивать большое число циклов работы.

Задачей настоящего исследования является разработка высокоэффективного метода очистки промышленных сточных вод от соединений тяжелых металлов с последующей регенерации использованного сорбента и с внедрением утилизации ценных компонентов.

В качестве заменителя дефицитных активных углей и других традиционных сорбентов предлагается использование более дешевого углерод минерального сорбента, на основе казахстанского шунгита, обладающего всеми необходимыми физико- химическими свойствами.

Одним из перспективных способов повышения сорбционной способности является модифицирование поверхности природных сорбентов для улучшения их емкостных и кинетических характеристик. Углеродсодержащие материалы в качестве матрицы для получения модифицированных сорбентов используются недостаточно широко. Поэтому в данной работе мы рассматривали шунгитовый сорбент, модифицированный карбоксометилцеллюлозой (КМЦ).

Использование КМЦ в качестве привитового вещества было не случайным. Из литературных источников известно, что волокнистые сорбенты обладают высокой селективностью и сорбционной способностью по отношению к ионам тяжелых и цветных металлов. Кроме того, они обладают высокими кинетическими характеристиками, а сорбированные металлы достаточно легко можно десорбировать растворами кислот и неоднократно использовать материал в повторных циклах сорбция – десорбция.

Для утверждения способа получения модифицированного шунгитового сорбента проводили ряд опытов: в шунгитовое вещество в соотношении 1:1 вносили раствор Na-КМЦ разной концентрации (0,3% - 1,5%), затем подвергали термообработке при температуре 110 ^{0}C в течение часа.

Физико – химические свойства полученных сорбентов представлены в таблице 1.

По таблице видно, что наиболее высокие показатели сорбционной емкости отмечаются при использовании раствора натрийкарбоксиметилцеллюлозы концентрацией в пределах 0,5-1,2%; Данная методика запатентована и не имеет аналогов, имеется авторское свидетельство.

Таблица 1 – Физико – химические свойства углерод – минеральных сорбентов

Сорбент	Влажность, %	Сорбционная емкость, *мг/г*	Суммарный объем пор, $см^3/г$	Насыпная плотность, $г/см^3 \times 10^3$
МШ- 0,3% КМЦ	4,94	1,59	0,099	13,8
МШ- 0,5% КМЦ	5,01	1,64	0,112	13,9
МШ- 0,8% КМЦ	4,89	1,72	0,106	14,1
МШ- 1,2% КМЦ	4,63	1,62	0,108	14,5
МШ- 1,5% КМЦ	5,12	1,19	0,116	14,2
шунгитовый	4,69	1,28	0,086	13,8

Для более полного подтверждения оптимальной концентрации КМЦ, а также времени и температуры воздействия органического вещества, методом математического планирования была проведена серия кинетических экспериментов.

Сорбцию ионов меди проводили классическим стационарным методом с помощью магнитной мешалки из водных модельных растворов сернокислой соли меди с исходным содержанием металла 0,4 мг/мл.

Соотношение твердой и жидкой фаз составляло 1:500, скорость перемешивания варьировалось в пределах 80-100 оборотов в минуту. Водородный показатель модельных растворов поддерживали равным 6,0. Содержание ионов металлов до и после сорбции определяли на спектрофотометре Shimadzu AA -6200.

На основании эксперимента результатов можно сделать следующий вывод: наибольшее значение сорбционного извлечения меди 92 – 96% достигается при использовании модифицированного сорбента, приготовленного при следующих параметрах: воздействие КМЦ в процентном соотношении 0,5-1,2% в течение 60 минут при температуре 110 ^{0}C. Адекватность экспериментальных данных варьируется в пределах 0 ±4,1.

Полученные таким образом модифицированные шунгитовые сорбенты по структуре ближе к ионообменным смолам с развитой поверхностью, которые представляют собой высокомолекулярные соединения, углеводородные радикалы образуют пространственную сетку с фиксированными на ней ионообменными группами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Arakawa T, Hung L, Pan V and other. (1993) Analysis of the heat-induced denaturation of proteins using temperature gradient gel electrophoresis. *Anal Biochem.* № 208(2), pp. 255-259.
2. Birmes A, Sättler A, Maurer Kh. and other. (1990) Analysis of the conformational transitions of proteins by temperature-gradient gel electrophoresis. *Electrophoresis.* № 11 (10), pp. 795-801.
3. Dayan AD, Paine AJ. (2001) Mechanisms of chromium toxicity, carcinogenicity and allergenicity: review of the literature from 1985 to 2000. *Hum Exp Toxicol*., no 20(9). pp. 439–451.
4. Dutta P.K. (1991). Analysis of protein denaturation by high-performance continuous differential viscometry. *Journal of Chromatography A*., no 536, pp. 113-121.

ФТОРАММОНИЙНАЯ ОБРАБОТКА ПРИРОДНОГО МАГНЕЗИАЛЬНОСИЛИКАТНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ СИНТЕЗА КЕРАМИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ

Ш.М. Шарафеев
Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.М. Погребенков
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: sms4@tpu.ru

Введение. Исследования в области фтораммонийной обработки природного сырья являются актуальным направлением в комплексном природопользовании, работы в этой сфере в основном касаются вопросов переработки руд с целью получения чистых оксидов [1]. Особенностью использования гидродифторида аммония (ГДФА) является возможность удаления из руд примесного и структурного кремнезема, что позволяет регулировать фазовый состав синтезируемых на основе данного сырья материалов [2]. Частичное удаление диоксида кремния из структуры минералов представляет интерес в связи с тем, что подобное обескремнивание приводит к образованию систем, обладающих высокой степенью дефектности строения зерен материала. Это должно приводить к увеличению реакционной способности получившихся веществ в различных гетерофазных взаимодействиях. Одним из вариантов практического приложения данных исследований является синтез керамических пигментов, что обусловлено усиливающимся интересом к использованию в технологии керамических пигментов природного минерального сырья, а также исследованиями в области снижения температуры синтеза основных фаз данных материалов, что в общем случае позволяет значительно снизить себестоимость выпускаемой продукции [3].

Методика проведения работы. Выбор в качестве исходных материалов силикатов магния обусловлен их относительно высокой распространенностью в природе, высоким значением в технологии керамики и огнеупоров, а также их значительным многообразием. Для работы были выбраны минералы различного строения: форстерит, энстатит и тальк. Шихты (таблица 1) были рассчитаны в предположении взаимодействия ГДФА с кремнеземистой частью минералов с образованием фторосиликатов аммония по реакциям (1) и (2). Взаимодействие ГДФА с магнезиальной частью минералов описывается реакцией (3).

$$3NH_4HF_2 + SiO_2 = (NH_4)_2SiF_6 + NH_3 + 2H_2O \quad (1)$$

$$3{,}5NH_4HF_2 + SiO_2 = (NH_4)_3SiF_7 + 0{,}5NH_3 + 2H_2O \quad (2)$$

$$NH_4HF_2 + MgO = MgF_2 + NH_3 + H_2O \quad (3)$$

Таблица 1 – Составы шихт исследуемых систем

Форстерит $Mg_2[SiO_4]$			Энстатит $Mg_2[Si_2O_6]$			Тальк $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$		
№	Содержание минерала в шихте, мас.%	Содержание ГДФА в шихте, мас.%	№	Содержание минерала в шихте, мас.%	Содержание ГДФА в шихте, мас.%	№	Содержание минерала в шихте, мас.%	Содержание ГДФА в шихте, мас.%
$Ф_0$	100,0	0,0	$Э_0$	100,0	0,0	$Т_0$	100,00	0,00
$Ф_1$	89,2	10,8	$Э_1$	85,4	14,6	$Т_1$	81,6	18,4
$Ф_2$	80,4	19,6	$Э_2$	74,6	25,4	$Т_2$	68,9	31,1
$Ф_3$	73,3	26,7	$Э_3$	66,2	33,8	$Т_3$	59,6	40,4
$Ф_4$	67,3	32,7	$Э_4$	59,5	40,5	$Т_4$	52,6	47,4
$Ф_5$	62,2	37,8	$Э_5$	54,0	46,0	$Т_5$	47,0	53,0

Фторирование минералов проводилось при температуре 150 °С (температура плавления ГДФА 126 °С), сублимационная очистка продуктов от фторосиликатов аммония – при 350 °С. Шихты пигментов с содержанием оксида кобальта на прокаленный вес 5, 10, 15 и 20 мас.% готовились путем смешивания полученных материалов с раствором соли хромофора (кобальт азотнокислый шестиводный $Co(NO_3)_2{\times}6H_2O$), суспензии обезвоживались при температуре 90 °С. Обжиг пигментов производился при температурах 1100, 1200 и 1300 °С с экспозицией 2 часа. Анализ образцов велся на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М, растровом электронном микроскопе JEOL JCM 6000 и приборе для синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 F3 Jupiter.

Результаты. В результате фтораммонийной обработки минералов происходит их значительная деструкция. Наблюдается уменьшение и исчезновение основных пиков исходных минералов на рентгеновских дифрактограммах, причем с увеличением количества фторирующего агента в шихте степень аморфности увеличивается. Также происходит увеличение удельной поверхности материалов в 3-4 раза. Рентгенофазовый анализ обожженных образцов свидетельствует о том, что разрушение минералов значительно: фазовый состав материалов представлен в основном фазами форстерита, хондродита ($2Mg_2[SiO_4]\times MgF_2$) и норбергита ($Mg_2[SiO_4]\times MgF_2$), а также оксидом и фторидом магния.

Полученные пигменты на основе форстеритового и энстатитового составов имеют слабоинтенсивную окраску, цвет меняется от оранжевого (из-за высокого содержания изоморфного железа) до розового, влияния содержания хромофора на фазовый состав образцов после обжига не наблюдается. Окраска пигментов на основе составов талька преимущественно фиолетовая (пурпурная), по мере увеличения содержания красящего оксида окраска становится более темной. Это свидетельствует о том, что ион кобальта в структуре образует октаэдрические и тетраэдрические координации в разной пропорции. Также возможно неполное вхождение ионов хромофора в решетку-акцептор с образованием фазы оксида кобальта (с различной степенью окисления), которая имеет темную окраску. Результаты рентгенофазового анализа показывают, что оксид кобальта не оказывает существенного влияния на конечный фазовый состав при обжиге, однако происходит определенное изменение структуры образцов (рис. 1).

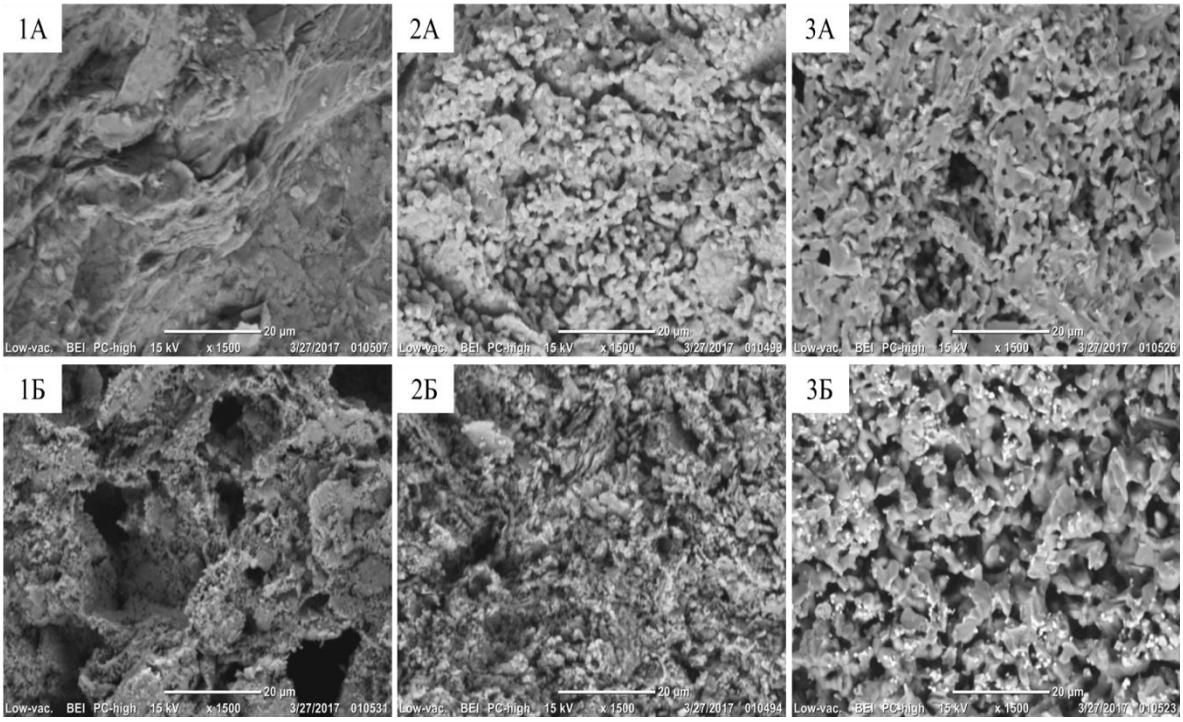


Рис. 1. Микрофотографии спеченных при 1200 °С образцов без хромофора (а) и с 10 % CoO (б) при увеличении 1500×. 1 – исходный тальк, 2 – состав T_3, 3 – состав T_5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крайденко Р.И. Фтораммонийное разделение многокомпонентных систем на индивидуальные оксиды: Автореф. дис. канд. хим. наук. – Томск, 2008. – 21 с.
2. Демьянова Л.П. Фторидный способ переработки кварцсодержащего сырья Приамурья с получением высококремнистых продуктов: Автореф. дис. …канд. тех. наук. – Благовещенск, 2009. – 24 с.
3. Седельникова М.Б. Керамические пигменты на основе природного и техногенного минерального сырья: монография. – Томск: Издательство ТПУ, 2014. – 262 с.

СЕКЦИЯ 5

ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ МАШИНОСТРОЕНИЯ И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

SIMULATION OF TRANSLATIONAL DATA ACQUISITION SCHEME AND DEVELOPMENT OF RECONSTRUCTION ALGORITHM IN NON-DESTRUCTIVE TESTING USING X-RAY TOMOGRAPHIC PRINCIPLES

B.K. Afornu, A.H. Ozdiev
Supervisor: D.A. Sednev
National Research Tomsk Polytechnic University
Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30, 634050
Email: brightafornu@yahoo.com

The applications of non–destructive testing using X-ray tomographic imaging technique [1] for inspecting objects on an industrial scale became known some few decades ago. Despite its effectiveness in the industrial arena in defect detection in small and medium objects using the conventional approach of Rotational X-ray Tomography Data Acquisition Scheme, where the object under inspection mounted on a rotational stage is placed between an X-ray source and a flat panel detector and an X-ray beam projected towards the object and rotated at a suitable angle after each projection until 360 degrees complete scan is achieved [2]. This conventional technique is abruptly limited to small and lighter objects since it is complicated and highly expensive to build a rotational stage to accommodate such huge structures which also requires sophisticated fittings to give an accurate and precise angle of rotation as small as 0.1 degrees [3]. Therefore, this work will focus much on Reconstructing Algorithms and implementing it into simulation data known as the Translational Tomographic Data Acquisition Scheme (Figure 1) [4]. The Translational technique takes into account the variations of magnification by changing the X-ray focal length distance and that of the detector panel to give different ray paths and beam angles with respect to the object under inspection [5]. Hence python programming software with necessary plugins were used in implementing the Reconstructive Algorithm and simulation aspect in modelling suitable images of inspected object.

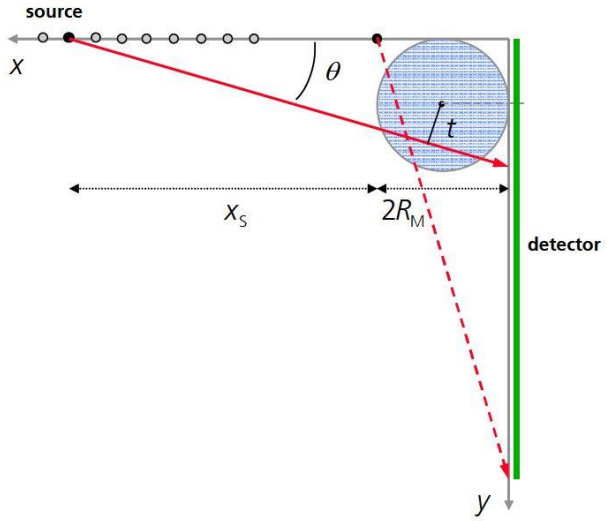


Fig. 1. Scheme for data acquisition with linear translation of the source only. The mechanical expense is much less compared to a rotational set-up. The detector (green vertical line) is fixed behind the object. The blue circle (radius RM) indicates the field of measurement (FoM), which encloses the cross-section of any object therein. As can be seen from the red arrows, the angle of the rays travelling through the object changes as the source is moved towards or away from the object

REFERENCES

1. F. Van Gelderen, Understanding X-Rays © Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
2. C. Reinhart, C. Poliwoda, T. Guenther, W. Roemer, S. Maas, C. Gosch, Modern voxel based data and geometry analysis software tools for industrial CT, Proceedings of the 16thWorld Conference on NDT, Montreal, Canada (2004) 8.
3. Buzug, T. M, "Computed Tomography from photon statics to modern cone-beam CT", [E-resource, e-ISBN 978-3-540-39408-2], Springer, Verlag Berlin Heidelberg, Germany, June 2008.
4. Fuchs, T., et al., "Principles of Computed Tomography", [E-Resource], Kalpakkam, India, April 2007.
5. Fuchs T., Schon T., Hanke R., "A Translation-based Data Acquisition Scheme for Industrial Computed Tomography," *ECNDT*, 2010.

DYNAMIC RESPONSE OF THREE-DIMENSIONAL MULTI-DOMAIN PIEZOELECTRIC STRUCTURES VIA BEM

L.A. Igumnov, I.P. Markov, A.K. Lyubimov, V.V. Novikov
Research Institute for Mechanics, National Research Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, 23, bldg. 6, Prospekt Gagarina (Gagarin Avenue), Nizhny Novgorod, 603950, Russia
E-mail: teanku@gmail.com

Piezoelectric materials can convert energy between electrical and mechanical and that makes them very common in many engineering fields. They are widely used in smart devices, sensors, actuators, transducers, etc. Due to coupled multiphysics nature of piezoelectric materials accurate and versatile analysis methods are required for modelling the behaviour of piezoelectric structures. For three-dimensional (3D) piezoelectric solids with arbitrary degree of anisotropy analytical or semi-analytical solutions are available only for limited number of structural configurations and loading conditions, especially if the problem involves material inhomogeneities or subregions. The Boundary Element Method (BEM) is a frequently applied numerical approach in many areas of engineering mechanics. We present a direct BEM formulation in Laplace domain for the transient analysis of three-dimensional piecewise homogeneous piezoelectric solids.

Consider a 3D homogeneous linear piezoelectric solid under the quasi-electrostatic assumption, in the absence of body forces and in the absence of free electrical charges. In order to combine the mechanical and electric variables together the coupled fields are described through the generalized quantities. Initial conditions are assumed to be zero. Initial boundary value problem is reformulated as a system of boundary integral equations for generalized displacements in Laplace domain

$$\int_\Gamma \left[\bar{U}_k(\mathbf{y},s)\bar{h}_{jk}(\mathbf{y},\mathbf{x},s) - \bar{U}_k(\mathbf{x},s)h^S_{jk}(\mathbf{y},\mathbf{x},s) \right] \mathrm{d}\Gamma(\mathbf{y}) - \int_\Gamma \bar{T}_k(\mathbf{y},s)\bar{g}_{jk}(\mathbf{y},\mathbf{x},s)\mathrm{d}\Gamma(\mathbf{y}) = 0,$$

where the integral containing the Laplace domain piezoelectric dynamic generalized traction fundamental solution $\bar{h}_{jk}$ is regularized by its static part h^S_{jk}, therefore no strongly singular integrals are present; s is the Laplace parameter; $\mathbf{y}$ is the observation point; $\mathbf{x}$ is the source (collocation) point and $\bar{g}_{jk}$ is the displacement fundamental solution. The full-space fundamental solutions are expressed in integral form.

Considering piecewise homogeneous piezoelectric solid, we apply standard discretization BEM procedure for each homogeneous subregion and enforce equilibrium of generalized tractions a continuity of generalized displacements on each interface. Geometry of boundary elements and boundary variables over each element are represented according to the idea of mixed elements. After spatial discretization is done and the boundary conditions are applied, a complex-valued linear system is obtained for a particular value of the Laplace transform parameter. Time-domain solutions are obtained after solving the problem on a set of Laplace transform parameters and subsequently employing Convolution Quadrature Method as a numerical inversion technique.

To test the presented multi-domain BEM a numerical example of nonhomogeneous piezoelectric solid under dynamic impact loading is considered. A column made of two dissimilar piezoelectric materials is subjected to a Heaviside-type traction at one side and grounded and fixed at the opposite side. The rest of the surface is free from the generalized tractions. A mesh convergence study is conducted on a four boundary element meshes. The obtained boundary element results agree well with the finite element solutions.

The reported study was funded by the Russian Foundation for Basic Research, according to the research project No. 16-38-60097 mol_a_dk.

EFFECT OF DUAL SURFACE COOLING ON THE TEMPERATURE DISTRIBUTION OF NUCLEAR FUEL PELLET

Odii Christopher Joseph
National Research Tomsk Polytechnic University,
Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30, 634050
E-mail: monoexiton@yahoo.com

Heat removal from nuclear reactor core has been one of the major Engineering consideration in the construction of nuclear power plant. At the center of this consideration is the nuclear fuel pellet, the efficiency of the burning of the fuel, determines the rate of heat transfer to the coolant. In this research, we would study the Temperature distribution of solid fuel, the Temperature distribution of annular fuel with external cooling and finally, the Temperature distribution of annular fuel with internal and external cooling. We analyzed the different distribution and made a conclusion on the possibility of improving Temperature management of Nuclear fuel rod, by designing fuel pellets based on this geometrical and thermal Analysis. To date, a lot of studies has been done on the thermal and geometrical properties of Nuclear fuel pellet, it is observed that annular fuel pellet with simultenous internal and external cooling can achieve better temperature distribution which leads to high linear heat generation rate, thus generating more power in the design. It has also been observed that annular fuel pellets has low fission gas release. In large LOCA, the peak cladding temperature of annular fuel is about 600℃ which is significantly less than that of solid fuel (920℃), this is due to the fact that annular fuel cladding has lower initial temperature and the thinner annular fuel can be cooled more efficiently than the solid fuel. One of drawbacks of annular fuel Technology is “the fuel gap conductance assymmetry” which is caused by outward thermal expansion, it has a potential effect on the MDNBR (Minimum Departure from Nucleate Boiling Ratio), which is the minimum ratio of the critical to actual heat flux found in the core. In this model, we used the ceramic fuel pellet of UO2 as our case study. All the parameters in this model are assumed parameters of UO2. The Heat Transfer tool (ANSYS APDL) was used to validate the Analytical Model of this research. The Temperature distributions for the Solid, Outer cooled (OC) and Dual surface cooled (DC) fuel pellets, are presented here as follows:

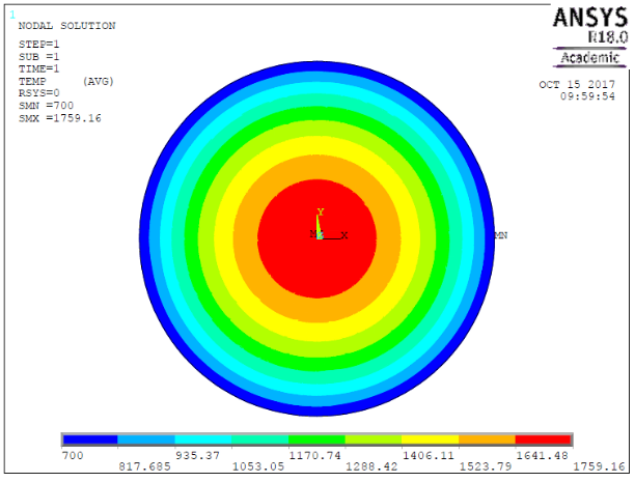


Fig 1. Temp. Distribution contour for solid fuel

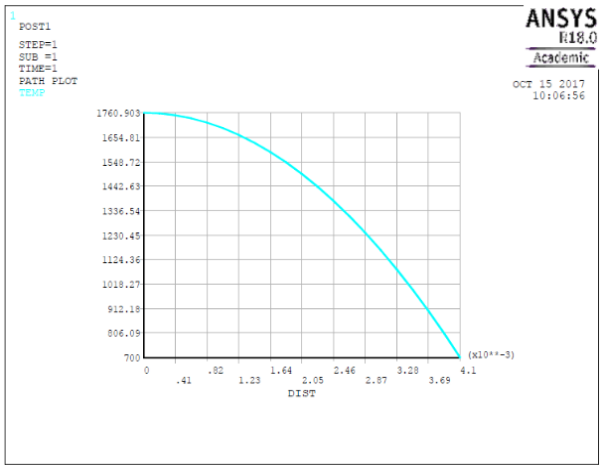


Fig 2. Temp. Distribution graph for solid fuel

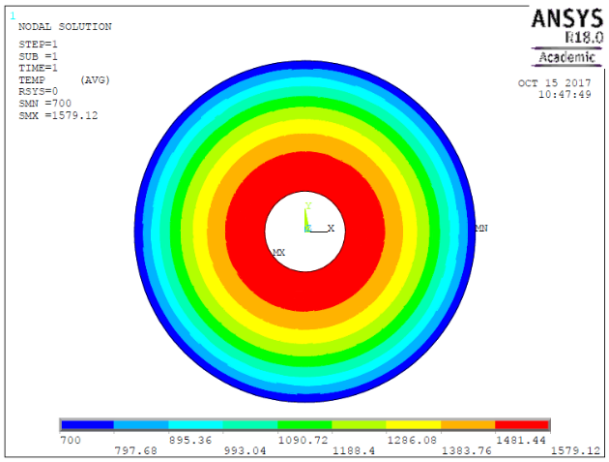


Fig 3. Temp. distrib. contour of OC annular fuel

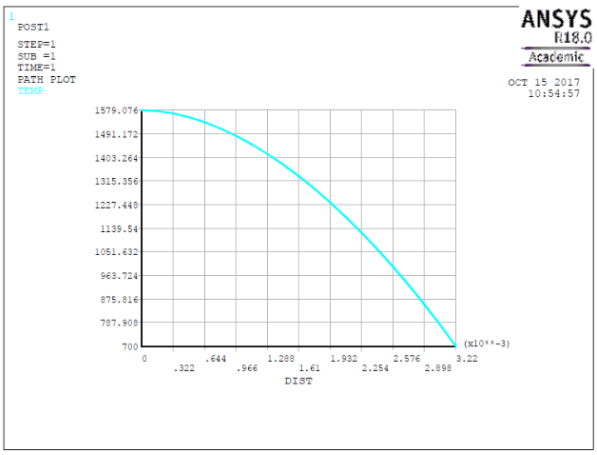


Fig 4. Temp. distrib. graph of OC annular fuel

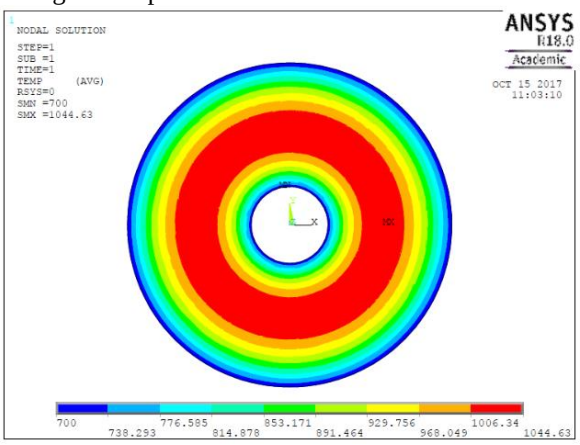


Fig 5. Temp. distrib. contour of DC annular fuel

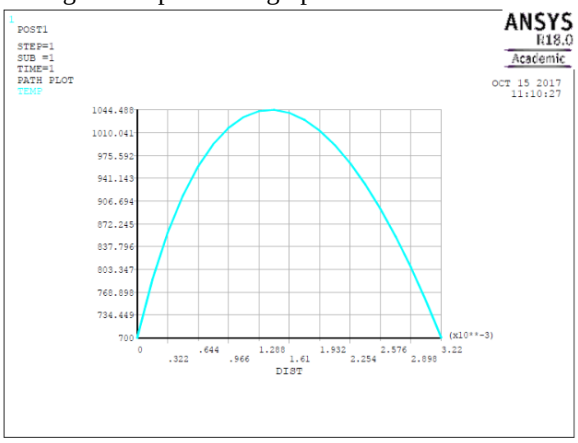


Fig 6. Temp. distrib. graph of DC annular fuel

REFERENCES

1. Neil Todreas and Majid Kazimi, "Nuclear System, Volume 1 "Thermal Hydraulic Fundamentals", Massachusetts Institute of Technology, 2011
2. Kayla Kruper, "steady state in clad nuclear fuel rod in COMSOL", Rensselaer Polytechnic Institute, 2014
3. Rozhgar Othman, "Steady state and transient analysis of heat conduction in nuclear fuel elements", masters degree project, KTH-Stockholm Sweden, 2004
4. Phillipp Hangi, " Investigating BWR stability with a new linear frequency domain method and detailed 3-D neutronics"
5. R.T Lahey and F.J Moody, "The thermal hydraulics of Boiling Water Nuclear Reactors" American Nuclear Society, 1993
6. Neil Todreas, Majid Kazimi and Franci, "Nuclear System elements of thermal hydraulic design", Massachussets Institute of Technology, 1990.
7. Nikolay Ivanov Kolev, "Nuclear Thermal Hydraulics", springer international, 2015.

DYNAMIC ANALYSIS OF A THREE-DIMENSIONAL POROELASTIC BEAM USING BOUNDARY-ELEMENT METHOD

A.N. Petrov[1], S.M. Aizikovich[1], L.A. Igumnov[2]
[1]Research and Education Center «Materials», Don State Technical University,
Russia, Rostov-on-Don, 1 Gagarin sqr., 344000
[2]Research Institute for Mechanics of Lobachevsky University,
Russia, Nizhny Novgorod, 23 Prospekt Gagarina, bld. 6, 603950
E-mail: andrey.petrov@mech.unn.ru

The problem of determining the dynamic response of fluid-saturated porous media is very important in many practical applications encountered in, e.g., geotechnical engineering, geophysics, bioengineering and material science and engineering [1]. In poromechanics, the study of the deflection of a poroelastic beam, representing a structural element, a geological layer, or a bone depending on different applications, constitutes an exemplifying model for the application of the poroelasticity theory [2].

Since Biot [3] put forward the basic equations describing the dynamic characteristics of saturated porous media, many scholars have studied the problem of saturated porous medium dynamic from different aspects, including analytical studies of dynamic response of saturated porous media problems [4]. However, due to the complexity of the inertial, viscous and mechanical couplings in dynamic theory, most of the problems of fluid-saturated porous media can often be predicted quantitatively via numerical methods involving discretization of both spatial and temporal domains [5]. In the work, the transient vibration response of simply supported fluid saturated porous beam in a 3D formulation is considered. The problem is solved using a direct approach of the method of boundary integral equations (BIE) corresponding to the initial boundary-value problem of the mathematical theory of poroelasticity. The BIE's are solved using the boundary element method. The influence of pore fluid permeability coefficients and loading frequency values on the solid displacement and pore fluid pressure are studied (Fig. 1). The numerical solutions are compared with analytical solutions other author's.

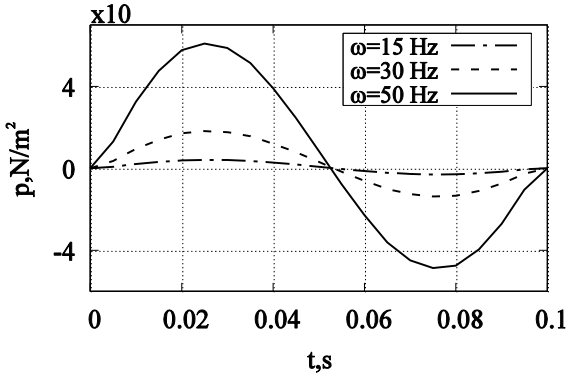


Fig. 1. The fluid pressure along the beam thickness varying with frequency ω

The work is financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) under grants 15-08-02814, 15-48-02333, 15-08-02817.

REFERNCES

1. Papargyri-Beskou S., Tsinopoulos S.V., Beskos D.E. Transient dynamic analysis of a fluid-saturated porous gradient elastic column // Acta Mechanica - 2011, Vol. 222. - Issue 3–4, -P. 351–362
2. Wang, Z.-H., Prévost, J. H. and Coussy, O. (2009), Bending of fluid-saturated linear poroelastic beams with compressible constituents. Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech., 33: 425–447. doi:10.1002/nag.722
3. Biot M.A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid, part I: low frequency range // J. Acoust. Soc. Am. - 1956. - Vol. 28. - №2. -P. 168-178.
4. F. X. Zhou, Q. Ma, Dynamic Response of Two-Dimensional Fluid-Saturated Porous Beam, Applied Mechanics and Materials, Vols. 580-583, pp. 169-174, 2014
5. Shan, Z., Ling, D. & Ding, H. Appl. Math. Mech.-Engl. Ed. (2013) 34: 75. doi:10.1007/s10483-013-1654-7

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ НА ТВЕРДОСТЬ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ПОКРЫТИЙ TiC + Р6М5

А.В. Барановский[1], М.Г. Криницын[1], И.А. Фирсина
Научный руководитель: Главный научный сотрудник, д.т.н. Г.А. Прибытков[2]
[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
[2]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки ИФПМ СО РАН,
Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634055,
E-mail: Nigalisha@gmail.com

Металломатричные композиты со структурой из дисперсных твердых частиц, заключенных в металлическую матрицу, обладают уникальным сочетанием твердости, износостойкости и вязкости. В безвольфрамовых или маловольфрамовых инструментальных твердых сплавах дорогой карбид вольфрама частично заменяют кубическим карбидом титана, твердость которого в полтора раза превышает твердость карбида вольфрама. Спеченные металломатричные композиты на основе карбида титана со стальными связками называют карбидосталями [1]. Карбидостали применяют в тех случаях, когда по условиям работы от материала требуется высокая твердость и достаточная вязкость, чтобы противостоять умеренным ударным нагрузкам. Наибольший практический интерес в качестве связок в карбидосталях представляют легированные стали, принимающие закалку при малых скоростях охлаждения. Именно таким свойством обладает быстрорежущая сталь Р6М5. В настоящей работе приведены результаты исследований электронно-лучевых покрытий, наплавленных с применением СВС композиционных порошков «TiC+Р6М5». Целью работы было исследовать связь структуры наплавленных покрытий с их твердостью и износостойкостью и установить механизмы изнашивания покрытий абразивным зерном.

Для наплавки использовали композиционные порошки, полученные дроблением и рассевом на фракции СВС спеков, полученных послойным горением порошковых реакционных смесей из титана, технического углерода (сажи) и ПР-10Р6М5. Более подробно условия получения композиционных порошков и их свойства описаны в [2]. Для улучшения наплавляемости композиционные порошки разбавляли стальным порошком, чтобы получить интегральное содержание связки 80 об. %. Наплавку проводили на специальной установке [3, 4], которая включает вакуумную камеру с системой откачки, дозатор порошка с прибором управления дозатором, манипулятор и электронно-лучевую пушку с высоковольтным источником питания и системой управления лучом. Покрытия наплавляли на подложки из малоуглеродистой стали толщиной 4 мм при следующих режимах: ускоряющее напряжение – 27 кВ, ток луча до 100 мА, амплитуда сканирования непрерывного электронного луча – 20 мм, скорость продольного перемещения подложки – 3 мм/с, скорость подачи порошкового наплавочного материала в зону наплавки – 50 г/мин.

Покрытия, сформированные многопроходной электронно-лучевой наплавкой, имеют толщину 2 – 5 мм (в зависимости от числа проходов). В основном объеме (вне переходной зоны покрытие – подложка) покрытия имеют характерную структуру, включающую гранулы композиционного порошка и отдельные карбидные частицы в стальной связке. Таким образом, при использованных нами режимах наплавки композиционные покрытия имеют структуру с двумя разномасштабными упрочняющими элементами: гранулы размером более 100 мкм и отдельные карбидные включения в стальной матрице. Карбидные включения различаются по дисперсности и морфологии и имеют двоякое происхождение. Бóльшая часть из них принадлежит гранулам наплавляемого порошка и перешла в объем наплавочной ванны после расплавления стальной связки в периферийных областях гранул. Другая, меньшая по количеству и размеру часть карбидных включений выпала из пересыщенного по титану и углероду жидкометаллического раствора наплавочной ванны на стадии охлаждения. После наплавки порошковых смесей Р6М5 с композиционными порошками различной дисперсности выяснилось, что средний размер нераспавшихся гранул композиционных порошков в структуре наплавок значительно меньше по сравнению с исходным размером (рис. 1) за счет расплавления связки в периферийных областях гранул. При этом размер гранул в наплавках мелким порошком не зависит от содержания стальной связки в гранулах, а в наплавках крупным порошком он монотонно уменьшается с увеличением содержания связки в гранулах.

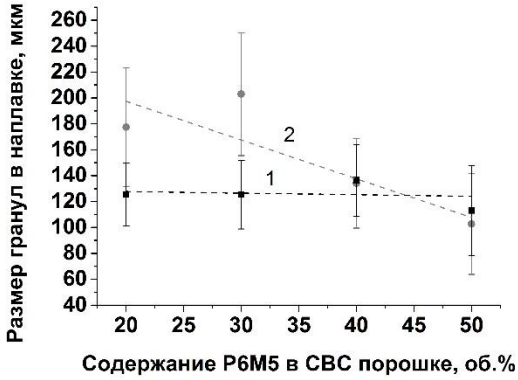
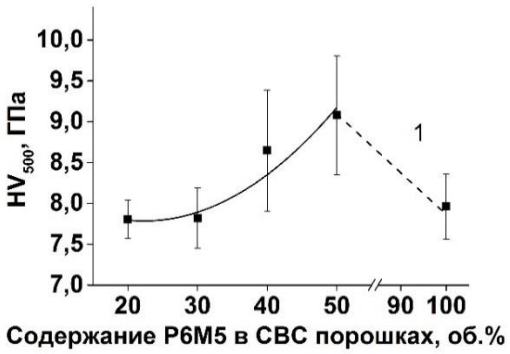
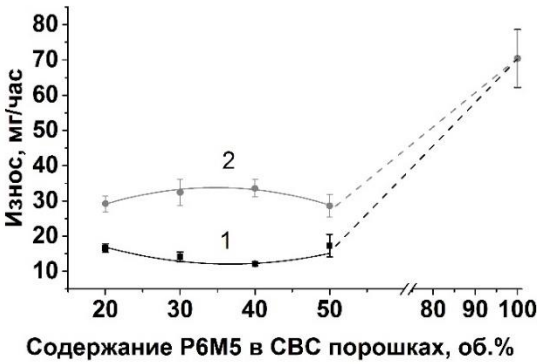


Рис. 1. Зависимость среднего размера гранул в наплавках композиционными порошками различной дисперсности от содержания стальной связки в гранулах. Исходный размер гранул композиционного порошка:
1: 125 – 200 мкм; 2: 200 – 315 мкм

Средняя твердость покрытий, наплавленных смесями с мелкими композиционными порошками, увеличивается с увеличением содержания связки в мелких гранулах композиционного порошка (рис. 2 а). Характерно, что твердость покрытия, наплавленного стальным порошком, находится примерно посередине интервала, в котором изменяется твердость покрытий, наплавленных композиционными порошками. Таким образом, из-за эффекта самозакалки стали Р6М5 введение карбида титана мало влияет на твердость композиционных покрытий, в отличие от его влияния на абразивную износостойкость (рис. 2 б). Износостойкость композиционных покрытий, наплавленных крупными порошками, выше износостойкости покрытий Р6М5 в 2,3 раза, а для покрытий, наплавленных мелкими порошками – примерно в 4,7 раз, что связано с микроструктурой композиционных наплавок.



а)



б)

Рис.2. Зависимость твердости (а) и скорости износа (б) наплавок порошком Р6М5 и порошковыми смесями от содержания стальной связки в СВС композиционных порошках. Интегральное содержание Р6М5 в наплавляемых порошковых смесях – 80 об %.
1: – наплавка порошками 125 – 200 мкм; 2: – наплавка порошками 200 – 315 мкм

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуревич Ю.Г., Нарва В.К., Фраге Н.В. Карбидостали. М.: Металлургия, 1988.
2. Прибытков Г.А., Коржова В.В., Барановский А.В., Криницын М.Г. Фазовый состав и структура СВС композиционных порошков «карбид титана – связка из стали Р6М5» // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия 2016. №2. С. 11-19.
3. Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г., Прибытков Г.А., Ремпе Н.Г. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий // Сварочное производство.2000. № 2. С 34-38.
4. Белюк С.И., Дураков В.Г. Способ электронно-лучевой наплавки. Патент РФ № 2156321. Приоритет от 32.12.1997г., Опубликовано 20.09.2000г.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С РЕГУЛЯТОРОМ

К.М. Бобобеков, Г.В. Трошина, А.А. Воевода
Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.А. Воевода
Новосибирский государственный технический университет,
Россия, г.Новосибирск, пр-т. К. Маркса, 20, 630073
E-mail: kurbon_111@mail.ru

В работе исследуется задача активной идентификации параметров регулятора охваченного обратной связью с неустойчивым объектом первого порядка. Соответствующая структурная схема системы автоматического управления изображена на рис. 1, где ν – задание, y – выходной сигнал системы, e – отклонение выходного сигнала от задающего сигнала, α и β параметры, подлежащие определению, k и τ – известные параметры объекта.

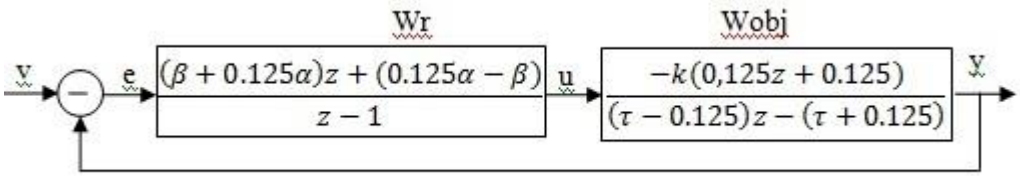


Рис. 1. Структурная схема системы

Задача активной идентификации параметров неустойчивого объекта рассмотрена в работах [1–8]. В этих работах в качестве тестовых сигналов использовались периодические сигналы типа меандра, двойного меандра или синусоиды. В данной работе используется синусоидальный сигнал для оценки параметров регулятора. Для выбора частоты тестового сигнала типа синусоиды построено семейство псевдо–годографов Найквиста (рис. 2).

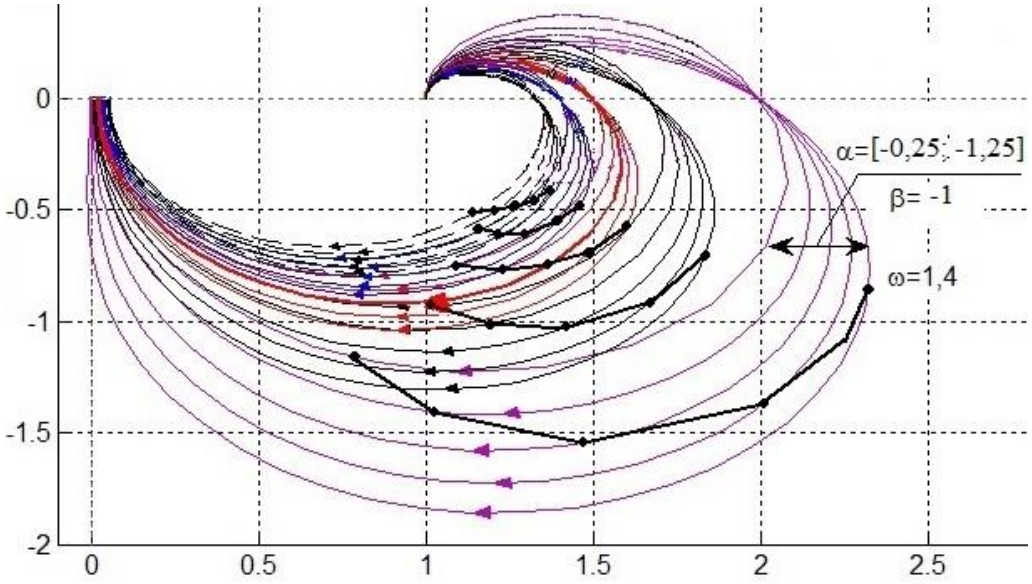


Рис. 2. Семейство псевдо – годографов Найквиста при $\alpha \in [-0{,}25; -1{,}25]$ и $\beta \in [-1; -2]$

В общем случае выбор амплитуды тестового сигнала зависит от уровня шумов. Предполагается, что шумы незначительные, поэтому принимаем амплитуду равной единице. Переходный процесс заканчивается примерно через 5 секунд (рис. 3). Проведен эксперимент, демонстрирующий процесс идентификации параметров регулятора при воздействии синусоидального входного сигнала на систему автоматического управления. Информация о параметрах регулятора может быть получена в результате измерения амплитуды и фазы выходного сигнала.

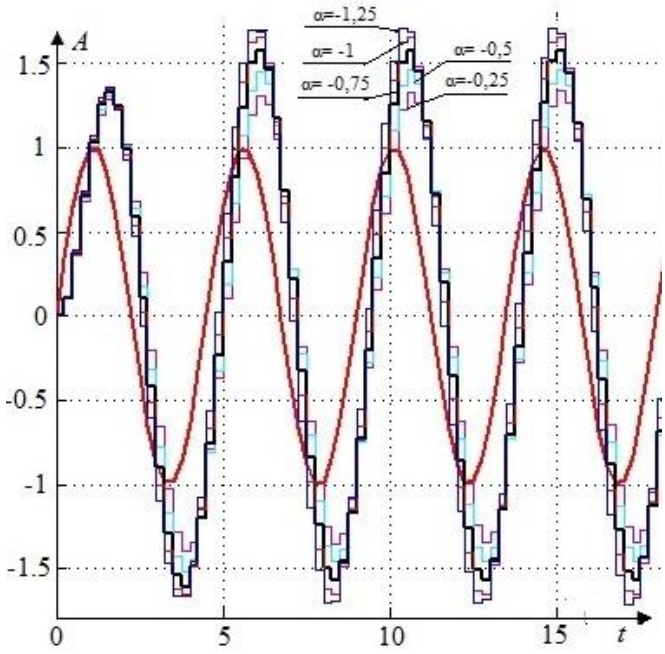


Рис. 3. Переходные процессы в системе при синусоидальном входном сигнале

Данный подход может быть обобщен для более сложных объектов, что, возможно, потребует подачи более сложного тестового сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Troshina G.V., Voevoda A.A., Bobobekov K.M. The active identification of parameters for the unstable object // 11 International forum on strategic technology (IFOST 2016) : proc., Novosibirsk, 1–3 June 2016. – Novosibirsk : NSTU, 2016. – Pt. 1. – P. 594-596.
2. Troshina G.V., Voevoda A.A., Bobobekov K.M. Unstable object parameters estimation with one Input and two outputs in automatic control system // 18th International Conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM 2017): proc., Altai, Erlagol, June 29 – July 3, 2017. – Novosibirsk: NSTU, 2017. – P. 138 –141.
3. Трошина Г. В. О комплексе программ для решения задачи идентификации линейных динамических дискретных стационарных объектов // Сб. науч. трудов НГТУ/ Новосиб. гос. техн. ун-т, 2008. – № 4(54). – С. 39-46.
4. Воевода А.А., Бобобеков К.М. Активная идентификация параметров модели перевернутого маятника по углу при подаче на вход синусоидальных сигналов // Сб. науч. трудов НГТУ/ Новосиб. гос. техн. ун-т, 2016. – № 2(84). – С. 21-37.
5. Troshina G.V., Voevoda A.A., Bobobekov K.M. The periodic signals application for the estimation of the unstable object parameters // Journal of Physics: Conference series. – 2017. – Vol. 803. – Art. 012166 (5 p.).
6. Troshina G.V., Voevoda A.A., Bobobekov K.M. The parameters determination of the inverted pendulum model in the automatic control system // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE 2016) : тр. 13 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 3–6 окт. 2016 г. : в 12 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. – Т. 1, ч. 3. – С. 180-182.
7. Трошина Г.В., Воевода А.А. Активная идентификация системы управления перевернутым маятником // 18 междунар. конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2015), Санкт-Петербург, 19-21 may 2015 : сб. докл. - Санкт-Петербург : Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2015. – Т. 1. – С. 153–156.
8. Воевода А.А., Бобобеков К.М. Расчет параметров регулятора для стабилизации перевернутого маятника по углу отклонения // Сб. науч. трудов НГТУ/ Новосиб. гос. техн. ун-т, 2016. – № 3(85). – С. 18-32.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СБОРКИ СТУПЕНИ ТУРБИНЫ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

М.А. Болотов, Н.В. Рузанов, И.А. Грачев, И.А. Щербаков
Научный руководитель: к.т.н. М.А. Болотов
Самарский университет,
Россия, г. Самара, Московское ш., 34, 443086
E-mail: maikl.bol@gmail.com

Одним из наиболее ответственных и важнейших этапов изготовления авиационных ГТД, является этап сборки. Названный этап в значительной степени влияет на качество и стоимость изделий. Трудоемкость узловой и общей сборки в серийном производстве авиационных двигателей составляет до 25% всей трудоёмкости изготовления изделий, а уровень автоматизации процесса сборки равен нулю. К выполнению сборочных работ привлекаются специалисты наивысшей квалификации, что определяет высокую стоимость работ. Требуемая точность наиболее значимых сборочных параметров достигается на условиях неполной взаимозаменяемости методами компенсации и пригонки. Перспективным направлением совершенствования технологии сборочных работ является использование технологии виртуальной сборки, основанной на компьютерном моделировании для прогнозирования собранного состояния изделий [1,2]. Трудоёмкость сборки ответственных сборочных единиц можно сократить до 50 % за счёт использования компьютерного моделирования взамен метода нецелесообразных проб и ошибок. Кроме того, использование компьютерного моделирования позволяет повысить точность сборочных параметров.

На результат сборки изделий влияют множество факторов, среди которых можно выделить несколько наиболее значимых:

- действительная геометрия узлов, используемых при сборке;
- погрешности взаимного расположения данных узлов перед началом сборки, а также погрешности самого процесса сборки.

Разработанная методика моделирования включает следующие основные этапы.

1. Измерение деталей, используемых при сборке ротора. Измерение производится на координатно – измерительной машине, результаты работы сохраняются в базу данных.
2. Создание 3D моделей деталей на основе их номинальной формы и результатов измерения. Данная операция выполняется в собственном программном обеспечении Solid Generator, позволяющем накладывать отклонение формы и расположения к номинальной модели.
3. Создание управляющего скрипта, для автоматического расчета процедуры сборки
4. Запуск программный комплекс конечно-элементного моделирования [3,4] ANSYS Workbench и выполняется моделирования соединений деталей сборочной единицы в соответствии с параметрами управляющего скрипта.
5. Экспорт и анализ результатов моделирования

Методика позволяет отказаться от множества повторных сборок и разборок сборочного узла при поиске оптимального углового положения деталей в собранном изделии. Данное обстоятельство существенно снижает трудоёмкость самой сборки и способствует повышению точности авиационных ГТД.

Объектом моделирования является турбина низкого давления, которая включает в себя трактовое кольцо, проставку, два диска с лопатками и вал турбины низкого давления. Соединение вала, проставки и диска [5] оказывает существенное влияние на величину радиального биения лопаточного венца относительно оси вращения турбины, так как в процессе сборки будет происходить деформация элементов, по сопрягаемым поверхностям, что повлияет на биение лопаточного венца. Внешний вид рабочего окна программы ANSYS, содержащий разработанную компьютерную модель сборки ротора турбины низкого давления (ТНД), приведен на рисунке 1.

При моделировании процесса сборки учитывались геометрические отклонения формы и расположения сопрягаемых поверхностей детали проставка. Величина и знак действительных отклонений были выявлены в ходе выполнения сбора и статистической обработки данных, полученных на основе производственной практики. В ходе моделирования оценивались торцевые и радиальные биения контрольной поверхности дисков третьей и четвёртой ступеней. Полученные в ходе

эксперементов торцевые и радиальные биения, позволяют спрогнозировать оптимальное положение ротора при сборке. Было проведенно два эксперимента, представленных в таблице 1.

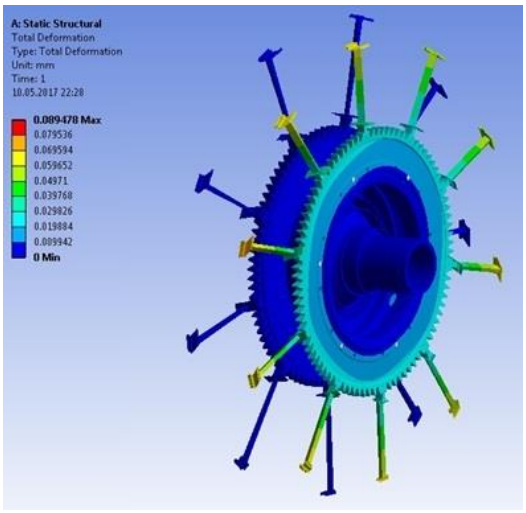


Рис. 1. Внешний вид результатов моделирования сборки ротора ТНД в программе ANSYS

Таблица 1 – Параметры проведения экспериментов и результаты исследований

Геометрические отклонения		Вариант модели	
		1	2
Закладываемые	Отклонение формы, мм	Овальность поверхность Д 0,01	Неплоскостность поверхности П 0,01
	Отклонение расположения, мм	-	Смещение по оси OY на 0,01 относительно поверхности Д
Расчётные	Торцевое биение по поверхности B, мм	0,03	0,037
	Радиальное биение по поверхности D, мм	0,016	0,024

Результаты экспериментов позволяют сделать вывод о значительном влиянии геометрических параметров отклонения формы и расположения на величину торцевые и радиальные биения контрольной поверхности дисков третьей и четвёртой ступеней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. B. Schleich, S. Wartzack. Approaches for the assembly simulation of skin model shapes, Computer-Aided Design. 65 (2015) 18–33.
2. L. Homri , E. Goka, G. Levasseur, J. -Y. Dantan. Tolerance analysis – Form defects modeling and simulation by modal decomposition and optimization, Computer-Aided Design. 91 (2017) 46–59.
3. N. Anwer, B. Schleich, L. Mathieu, S. Wartzack. From solid modelling to skin model shapes: Shifting paradigms in computer-aided tolerancing, CIRP Annals - Manufacturing Technology. 63 (2014) 137–140.
4. B. Schleich, N. Anwer, L. Mathieu, S. Wartzack. Status and Prospects of Skin Model Shapes for Geometric Variations Management, 14th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing (CAT). Procedia CIRP. 43 (2016) 154 – 159.
5. Болотов М.А, Печенин В.А., Рузанов Н.В., Грачев И.А., Щербаков И.В., Проничев Н.Д. Моделирование сопряжения деталей по плоско-цилиндрическим поверхностям. СТИН. №3 (2017) с 22-28.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕРНО-ТОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

М.А. Болотов, В.А. Печенин, Н.В. Рузанов
Научный руководитель: к.т.н. М.А. Болотов
Самарский университет,
Россия, г. Самара, Московское ш., 34, 443086
E-mail: v.a.pechenin@ssau.ru

Сложные промышленные и наукоёмкие изделия характеризуются высокими требованиями к геометрической точности деталей и сборочных единиц. Геометрическая точность изделий закладывается на этапе проектирования. Пути достижения размерной точности определяются на этапе технологической подготовки производства. В производстве и сборке выполняется обеспечение размерной точности. Решение указанных задач на каждом из этапов может быть упрощено за счёт наличия математических моделей и измерительных средств, позволяющих прогнозировать и определять действительное значение геометрических параметров [1,2], характеризующих достижимую точность.

Разработана математическая модель, позволяющая проводить оптимизацию допусков геометрических параметров деталей сборки с целью обеспечения требований к сборочным параметрам при условии минимизации производственной трудоемкости. Объектом применения разработанной модели выступает турбина ГТД, а именно сборка проставки и диска. В качестве критериев оптимальности выступают: допуски на геометрические параметры, нормируемые на деталях сборочного комплекта, в т.ч.: отклонения формы и величина натяга сопрягаемых поверхностей. Модель направлена на обеспечение требований к точности следующих сборочных параметров: радиального биения и параллельности диска. Изменяемыми параметрами выступают отклонения формы сопрягаемых поверхностей деталей и величина натяга, определяемого отклонениями размеров сопрягаемых отверстия и вала.

Выполнялось моделирование геометрических отклонений формы и расположения. На детали проставка геометрическими параметрами являются: линейный размер между торцами сопряжения с диском и валом с допуском -0,14 мм, перпендикулярность 0,03 мм цилиндрической поверхности сопряжения с валом Д относительно торца сопряжения с валом Ж, параллельность 0,03 мм торцевой сопрягаемой с диском поверхности относительно поверхности Ж и радиальное биение 0,03 мм сопрягаемого с диском отверстия относительно поверхности Д. На диске имеется сопрягаемая с проставкой цилиндрическая поверхность и торец, биение которого не должно превышать 0,02 мм. Помимо этого поверхности имеют нормирование по отклонению формы (отклонение от цилиндричности и плоскостности) в пределах 0,03 мм.

В общем виде контакт сопрягаемых соответственно пар поверхностей плоских и цилиндрических поверхностей происходит по конечному множеству точек. Такие задачи являются контактными. Известны аналитические решения контактных задач поверхностей, не имеющих отклонения формы. В работе для моделирования контактных задач поверхностей, имеющих отклонения формы, используется метод конечных элементов. Названный метод позволяет учесть особенности геометрии поверхностей, решать контактные и прочностные задачи.

Для моделирования сопряжений деталей разработана методика, включающая следующие этапы:

1. Создание действительных моделей деталей, формирование сборки. Действительные модели деталей представляют собой массивы точек их поверхностей.
2. Производится задание расчётной модели:
    a. Построение триангуляционных сеток на поверхностях деталей.
    b. Задание контактных пар поверхностей.
    c. Задание ограничений на смещение деталей.
    d. Задание внешних силовых факторов.
3. Выполнение расчета с использованием разработанной модели сопряжений поверхностей, описанной в работе [1] и основанной на использовании алгоритма ближайших точек [2,3], сохранение результатов.
4. Разработка модели обработки результатов расчёта, позволяющей определять сборочные

геометрические параметры на основании координат конечно элементной (триангуляционной) сетки и матриц перемещений, деформаций и напряжений.

5. Расчёт статистически показателей.

Выполнено шесть экспериментов с различными сочетаниями величин натяга и отклонений формы. В каждом из экспериментов проводился расчет сборочных параметров для 72 деталей с различными сочетаниями отклонений расположения и формы, изменяющихся в пределах предельных величин натяга и формы. В таблице 1 указаны предельные величины отклонений в каждом эксперименте.

Таблица 1 – Величины допусков изготовления диска и проставки

№ эксперимента	1	2	3	4	5	6
Предельное отклонение формы поверхностей, мм	0,03	0,01	0,03	0,003	0,003	0,003
Величина натяга в сопряжении отверстие-вал, мм	0,08	0,027	0	0	0,027	0,08

На рисунке 1 приведены значения математического ожидания μ и среднеквадратического отклонения σ сборочных параметров в каждом из экспериментов с доверительной вероятностью 99,73%.

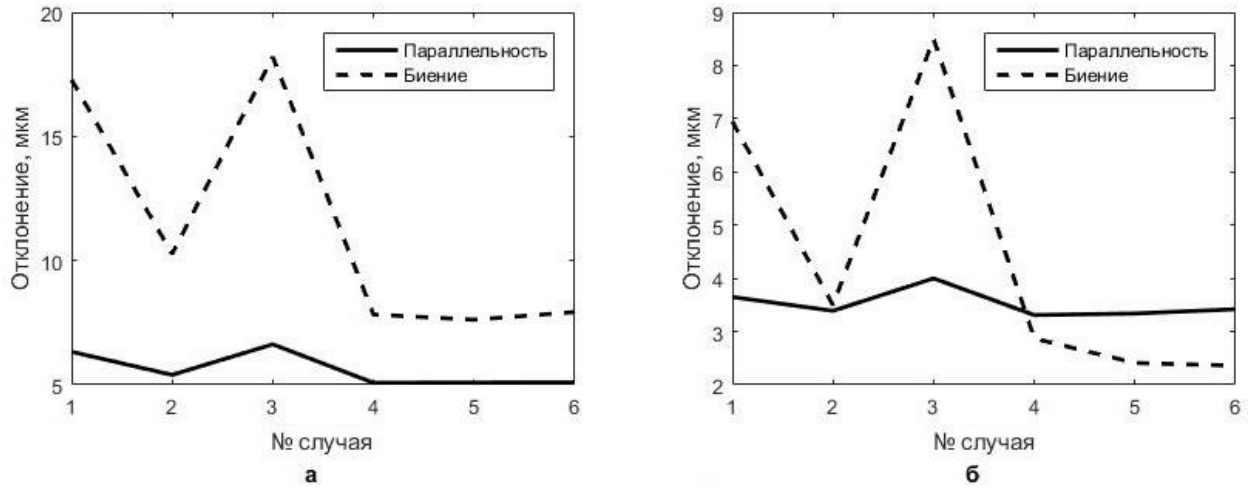


Рис. 1. Величины отклонений сборочных параметров в экспериментах: μ (а) и σ (б)

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод о том, что необходимо стремиться к минимизации отклонения формы. При этом за счет доработки формы будет происходить уменьшение фактического натяга в соединении, но как показали эксперименты, точность сборочных параметров от уменьшения натяга при существенном снижении отклонения формы повышается. Тем не менее, выходить за границы предусмотренной конструкторской документацией величины натяга так же нельзя, однако можно выдержать нижнюю его границу, которая близка к нулю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О. В. Захаров, А. В. Кочетков. Минимизация систематической погрешности при бесцентровом измерении круглости деталей // Метрология. – 2015. - №4. – С. 20-27.
2. Печенкин М.В., Абзалов А.Р., Шустов В.Э. К вопросу разработки методики измерения параметров зубчатых колес с гиперболоидной делительной поверхностью и назначения норм точности // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. – 2017. – Т. 20. – № 2. – С. 87-90.
3. Болотов М.А., Печенин В.А., Мурзин С.П. Метод оценки неопределённостей пространственного сопряжения высокоточных оптических и механических деталей // Компьютерная оптика. - 2016. - Т. 40. - № 3. – С. 360-369.
4. Besl P.J., Mckay N.D. A method for registration of 3-D shapes // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1992. – V.14. - № 2. – P. 239-256.
5. Tian H., Yang P., Su, C., Dong Z. ICP registration technology based on the coordinate system direction fit // International Journal of Security and its Applications. - 2015. - V. 9. - №. 12. - P. 47-56.

ПРИМЕНЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ АЛГОРИТМОВ В УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНЫХ ФОРМ

Д.О. Долматов
Научный руководитель: доцент, к.т.н. Д.Г. Демянюк
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: dolmatovdo@tpu.ru

Визуализация результатов ультразвукового контроля позволяет с высокой точностью интерпретировать его результаты. Для более точной оценки результатов ультразвукового контроля широко применяются методы визуализации, включающие в себя дефектоскопы с развертками B и C типа, а также системы ультразвуковой томографии. Системы ультразвуковой томографии применяются для получения изображений объектов контроля, по которым возможно определить наличие дефектов, их форму и реальные размеры. Для решения данной задачи применяются специальные алгоритмы обработки зарегистрированных ультразвуковых данных. Такие алгоритмы могут быть основаны на расчетах во временной или частотной областях. При этом методы, основанные на расчетах в частотной области, базируются на быстром преобразовании Фурье, что обеспечивает высокую скорость получения изображений дефектов в объекте контроля [1].

Ультразвуковая томография объектов сложных форм является сложной задачей, для решения которой необходимо либо применение специального оборудования, либо использование особых алгоритмов реконструкции. Специальное оборудование включает в себя роботизированные сканеры, а также гибкие фазированные антенные решетки [2,3]. В свою очередь, специальные алгоритмы должны учитывать сложный характер распространения ультразвуковых волн в объекте контроля с поверхностью сложной формы. При этом для возможности их использования в ультразвуковых томографах, работающих в режиме реального времени, они должны обладать высокой скоростью реконструкции.

В данной работе предложен алгоритм для ультразвуковой томографии, основанный на расчетах в частотной области. Возможности предложенного алгоритма исследованы на симуляционных данных, полученных с использованием программного пакета CIVA [4]. Кроме того, проводится сравнение предложенного алгоритма с существующими алгоритмами ультразвуковой томографии, основанными на расчетах во временной области [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бархатов В. А. Развитие методов ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений //Дефектоскопия. – 2003. – Т. 1. – С. 28-55.
2. Dolmatov D. et al. Advanced ultrasonic testing of complex shaped composite structures //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2016. – Т. 135. – №. 1. – С. 012010.
3. Hunter A. J., Drinkwater B. W., Wilcox P. D. Autofocusing ultrasonic imagery for non-destructive testing and evaluation of specimens with complicated geometries //NDT & E International. – 2010. – Т. 43. – №. 2. – С. 78-85.
4. Mahaut S. et al. Recent advances and current trends of ultrasonic modelling in CIVA //Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring. – 2009. – Т. 51. – №. 2. – С. 78-81.
5. Rougeron G. et al. Implementation of a GPU accelerated total focusing reconstruction method within CIVA software //AIP Conference Proceedings. – AIP, 2014. – Т. 1581. – №. 1. – С. 1983-1990.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОГРУЗОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОМБАЙНОВ «УРАЛ-20Р»

И.Е. Звонарев
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет» (Горный университет, СПГУ)
Россия, г. Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., 2, 199106
E-mail: ZVano@mail.ru

В настоящее время на калийных рудниках РФ наибольшее распространение получили проходческо-очистные комбайны типа «Урал-20Р», техническая производительность которых ограничена производительностью шнековых грузчиков и скребковых конвейеров-перегружателей. Совершенствование конструкции данных узлов является актуальной задачей.

Шнеки комбайнов «Урал-20Р» смонтированы на общем валу, кинематически связаны с бермовыми исполнительными органами. Вращающий момент на бермы и шнеки передаётся от двух электродвигателей суммарной мощностью 150 кВт. Установлено, что на отбойку руды резцами шнеков и бермовых фрез затрачивается мощность, не превышающая 70 кВт [1], следовательно, основная часть энергии затрачивается на погрузку горной массы, что свидетельствует о наличии значительных сопротивлений при перемещении отбитой руды.

Однозаходные шнеки комбайнов «Урал-20Р» обеспечивают подачу руды на конвейер порционно, дискретными объемами, что определяет значительные вибрации рамы при работе скребкового перегружателя и формирование динамических составляющих нагрузок на привод конвейера. Неравномерность распределения горной массы по длине шнека обусловлена увеличением количества выдаваемой руды по направлению к разгрузочному концу шнека и напорным действием лопасти, перед которой образуется движущийся вал перемещаемого материала. Производительность шнека по транспортирующей способности равна

$$Q_{ш} = \frac{\pi}{4}(D_{л}^2 - D_{с}^2)\omega K_{з}(S - \frac{\delta N_{з}}{\cos\beta})\gamma, \qquad (1)$$

где $Q_{ш}$ – производительность шнека по транспортирующей способности, т/мин; $D_{л}$ и $D_{с}$ – диаметр лопасти и ступицы шнека соответственно, м; ω – частота вращения шнека, об/мин; $K_{з}$ и S – коэффициент заполнения и шаг шнека; $N_{з}$ – число заходов шнека; δ – толщина лопасти шнека, м; β – угол подъема лопасти шнека, град; γ – плотность калийной руды в насыпке, т/м^3.

Из выражения (1) следует, что наибольшее влияние на погрузочную способность оказывают диаметры лопасти и ступицы шнекового органа, точнее отношение $D_{л}/D_{с}$. Для шнеков комбайнов «Урал-20Р» отношение $D_{л}/D_{с}$=1,7. Доказано, что при проектировании шнеков, осуществляющих погрузку горной массы, следует принимать $D_{л}/D_{с} > 2{,}5$. В меньшей степени на транспортирующую способность шнека влияет число заходов рабочей лопасти. Результаты экспериментальных исследований показывают, что влияние числа заходов $N_{з}$ на производительность $Q_{ш}$ больше проявляется при малых значениях коэффициента $K_{з}$, а при значительном заполнении шнека величиной $\delta N_{з}/\cos\beta$ можно пренебречь [2].

Рама скребкового конвейера комбайна «Урал-20Р» установлена под углом 18º к плоскости гусеничной ходовой тележки. Следует учитывать, что данные выемочные машины могут использоваться в выработках с углами наклона ±12º. Соответственно, угол наклона конвейера относительно горизонтальной плоскости α может составлять до 30º. Угол естественного откоса калийной руды, отделённой от массива и находящейся в состоянии покоя, составляет 35…40º. При работе комбайна, сопровождающейся значительными вибрациями рамы конвейера и неравномерностью движения цепи, угол естественного откоса перемещаемой руды ρ составляет 20…25º [3]. В зависимости от угла наклона α производительность конвейера рассчитывается

$$\begin{cases} \alpha<\rho; \\ Q_{к} = 60\gamma v_{ц} l_{ск}(h_{ск} + \dfrac{\sin(\rho+\alpha)\sin(\rho-\alpha)}{2\sin 2\rho} t_{ск}); \end{cases} \qquad (2)$$

$$\begin{cases} \alpha \geq \rho; \\ Q_{к} = 60\gamma v_{ц} l_{ск}(h_{ск} - \dfrac{\operatorname{tg}(\rho-\alpha)}{2} t_{ск}), \end{cases} \qquad (3)$$

где α – угол наклона рамы конвейера относительно горизонтальной плоскости, град; ρ – угол естественного откоса калийной руды, перемещаемой по решетаку конвейера, град; $Q_{к}$ – теоретическая

производительность конвейера, т/мин; $v_ц$ – скорость движения цепи конвейера, м/с; $l_{ск}$ – длина скребка, м; $h_{ск}$ – высота скребка, м; $t_{ск}$ – расстояние между скребками, м.

При расчете производительности конвейера зададим ρ=22º. Тогда условие α<ρ выполняется при движении комбайна вверх по выработке с углом наклона до 12º и при движении вниз по выработке с углом наклона до –4º. В указанной области применения комбайна, в соответствии с выражением (2), производительность конвейера пропорционально возрастает с увеличением скорости движения цепи и геометрических размеров скребка. Уменьшение расстояния между скребками приводит к снижению производительности перегружателя. Увеличение наклона выработки от –4 до –12º (α≥ρ) приводит к интенсивному снижению производительности конвейера. Значительно уменьшается объем руды, перемещаемый между скребками перегружателя комбайна. В соответствии с выражением (3), уменьшение шага расстановки скребков позволит повысить производительность конвейера. Графики изменения производительности конвейера в зависимости от угла наклона выработки приведены на рисунке 1. График *1* построен в соответствии с техническими характеристиками скребкового конвейера-перегружателя комбайна «Урал-20Р»: $v_ц$ =1,24 м/с; $l_{ск}$ =0,72 м; $h_{ск}$ =0,087 м; $t_{ск}$ =0,516 м; γ=1,3 т/м^3; ρ=22º. Полученный график показывает, что расчетная теоретическая производительность конвейера больше значения производительности, указанной в технической документации комбайна «Урал-20Р», при наклоне рамы конвейера относительно горизонтальной плоскости α<18º. При α=30º значение производительности конвейера $Q_к$ составляет 3,4 т/мин, что более чем в 2 раза меньше паспортной производительности комбайна.

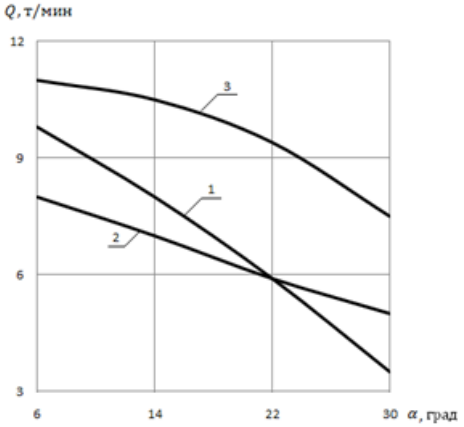


Рис. 1. Графики изменения производительности скребкового конвейера-перегружателя комбайна в зависимости от угла наклона выработки: *1* – конвейер комбайна «Урал-20Р»; *2* – шаг расстановки скребков уменьшен в 1,5 раза; *3* – высота скребков увеличена в 1,5 раза

Увеличение производительности скребкового шнеков и конвейера-перегружателя комбайна «Урал-20Р» возможно посредством использования следующих технических решений. Обеспечение отношения $D_л/D_с$>2,5 позволит повысить транспортирующую способность шнеков, а установка двухзаходных шнеков обусловит более равномерную погрузку руды из призабойного пространства на скребковый конвейер, что существенно снизит вибрации и динамические нагрузки приводов погрузочного оборудования комбайна «Урал-20Р».

Уменьшение шага расстановки и увеличение высоты скребков в 1,5 раза по сравнению с конвейером комбайна «Урал-20Р» позволит увеличить минимальную расчетную производительность скребкового перегружателя $Q_к$ в 1,5 и 2,25 раза соответственно. Для более эффективного использования проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» необходимо планировать очистные и подготовительные работы таким образом, чтобы проводимые выработки имели нулевые или положительные углы наклона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чекмасов Н.В., Шишлянников Д.И., Трифанов М.Г. Оценка эффективности процесса разрушения калийного массива резцами исполнительных органов комбайнов «Урал-20Р» // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2013. – № 6. – С. 103-107.
2. Миничев В.И. Угледобывающие комбайны. Конструирование и расчет. – М.: Машиностроение, 1976. – 248 с.
3. Кабиев С.К. и др. Комбайны для добычи калийных руд. – М.: Недра, 1990. – 200 с.

ЗАВИСИМОСТЬ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА ОТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

И.Е. Звонарев, С.Ю. Кувшинкин, П.В. Иванова
К.т.н. И.Е. Звонарев
К.т.н., доцент С.Ю. Кувшинкин
Аспирант П.В. Иванова
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет» (Горный университет, СПГУ)
Россия, г. Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., 2, 199106
E-mail: ZVano@mail.ru

Высокий уровень внеплановых простоев экскаваторов приводит к значительным материальным издержкам, как из-за снижения добычи полезного ископаемого, так и из-за большой стоимости ремонта крупногабаритных узлов и металлоконструкций.

Анализ вклада механической и электрической подсистем экскаваторов в общее количество отказов показывает, что в большинстве случаев отказы механического оборудования преобладают и составляют 50-70 % от их общего количества. [1]

На интенсивность потока отказов как механической, так и электрической подсистем экскаватора значительное влияние оказывает высокая динамическая составляющая внешней нагрузки, возникающая при взаимодействии ковша с забоем. Динамическая составляющая внешней нагрузки при прохождении по динамической системе рабочего оборудования трансформируется в результате возбуждения в последней собственных колебаний. Основными параметрами рабочего оборудования прямой механической лопаты, определяющей его массу и жесткость, и, следовательно, динамические свойства, являются длина стрелы и вместимость ковша.

В настоящей работе оценка влияния конструктивных параметров рабочего оборудования экскаватора на динамическую нагрузку приводов проводится на примере механизма подъема, как наиболее энергонагруженного (суммарная мощность двигателей привода подъема сравнима с мощностью всех остальных приводов экскаватора, вместе взятых).

Целью создания и анализа динамической модели является определение нагрузки на тихоходном валу редуктора механизма подъема – «выходе» динамической системы при известной нагрузке на ковше – «входе».

Для динамической эквивалентной схемы приняты следующие допущения.

1. Подвеску стрелы считаем абсолютно жесткой.
2. Диссипативными потерями в канатах и блоках пренебрегаем.
3. Связи считаем невесомыми.

В соответствии с принципом Д’Аламбера, воздействия на динамическую систему статической составляющей внешней нагрузки и гармоник динамической составляющей можно рассматривать независимо друг от друга. При этом нагрузка на «выходе» системы представляется как сумма результатов воздействия составляющих внешней нагрузки.

Динамическая составляющая внешней нагрузки при прохождении по динамической системе трансформируется в результате возбуждения в последней собственных колебаний. Для определения динамической составляющей усилия в подъемных канатах составим и решим дифференциальное уравнение движения системы под действием гармоники динамической составляющей внешней нагрузки.

Дифференциальное уравнение движения системы имеет вид:

$$m\ddot{x} + c_{\text{пр}}x = A\sin\omega t$$

Общее решение этого неоднородного линейного дифференциального уравнения второго порядка складывается из общего решения однородного и частного решения неоднородного.

$$x = x_0 + x_1,$$

где x_0, x_1 – соответственно свободные и вынужденные колебания системы.

Длина стрелы определяет главным образом жесткость системы, а вместимость ковша при постоянном значении коэффициента наполнения определяет величину приведенной массы. При анализе данных, собственная частота системы убывает с увеличением длины рабочего оборудования и вместимости ковша, при этом зона резонанса смещается в низкочастотную область. Низкочастотная случайная составляющая внешней нагрузки определяется вариацией толщины стружки в процессе копания, т.е. управляющим воздействием машиниста [2]. Следовательно, амплитуду этой составляющей можно уменьшить, например, автоматизировав процесс копания, при этом увеличение конструктивных параметров рабочего оборудования позволит избежать значительного всплеска нагрузки при резонансе.

Анализ данных показывает, что коэффициент усиления низкочастотной случайной составляющей внешней нагрузки практически не зависит от конструктивных параметров рабочего оборудования (с увеличением длины стрелы и вместимости ковша незначительно возрастает по зависимости, близкой к линейной). При этом коэффициент усиления высокочастотной составляющей резко убывает, асимптотически стремясь к нулю.

Из вышеизложенного следует, что для уменьшения динамических нагрузок механизма подъема карьерного экскаватора целесообразно увеличивать конструктивные параметры рабочего оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Москвичев В.В., Утехин С.А., Доронин С.В., Эбич В.Р. Анализ отказов механического оборудования и металлоконструкций экскаваторов. – Красноярск: ВЦ СО АН СССР, 1989. – 34 с.
2. Багин Б.П., Оленич В.И. Основы статистической динамики одноковшовых экскаваторов (обзор). М.: ЦНИИЭстроймаш, 1974. – 52 с.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ГАУССА

А.С. Золкин, И.В. Черепков
Научный руководитель к.ф.-м.н., доцент А.С. Золкин
Новосибирский национальный исследовательский государственный Университет
Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, 630090
E-mail: west_hammer@mail.ru

Электромагнитная пушка позволяет получить большой импульс на маленьком участке ускорения тела. Это может быть использовано для выполнения различных технологических операций. Например, ударное прессование, клеймение, разрушение строительных материалов при производстве монтажных работ[1,2]. Электромагнитные ускорители масс могут быть использованы для исследования прочностных характеристик материалов, в решении задач аэродинамики тел различной формы. Есть перспектива использования электромагнитной пушки в качестве травматического оружия с набором свойств, которых невозможно достичь другими методами.

Объект исследования – электромагнитная пушка, которая состоит из трёх частей: ствол с катушками индуктивности, конденсаторная батарея и источник постоянного тока с напряжением более 500 вольт. Источником питания конденсаторы заряжаются до необходимого напряжения, затем через тиристор замыкаются на катушку индуктивности, и в ней создаётся магнитное поле, которое и ускоряет ферромагнитный сердечник, пока его центр не долетит до середины катушки. Если пуля перелетает середину катушки до того как закончится импульс тока, то на неё начинает действовать тормозящая сила, понижающая КПД устройства. Следовательно, важно найти оптимальное начальное положение пули.

Основные характеристики пушки гаусса - скорость вылета, масса, импульс, энергия пули и общий КПД системы. Эти характеристики зависят от электрических и геометрических параметров устройства. Важную роль играет геометрия и материал катушек индуктивности, геометрия сердечника, электроёмкость конденсатора, рабочее напряжение, начальная скорость пули.

Как правило, магнитные ускорители масс имеют КПД не более 1%. Поэтому достаточной для использования в качестве оружия (с энергией порядка 300 джоулей) обладают только большие стационарные пушки, общей массой от 50 килограмм, что делает их несостоятельными в качестве ручного вооружения [5].

Цель работы разработать лёгкую и эффективную пушку гаусса с высоким КПД. Техническим результатом является увеличение эффективности преобразования подведенной электромагнитной энергии в кинетическую.

В рамках обозначенной цели решены следующие задачи: создана конструкция из трёх катушек с общим КПД ствола более 10% и оптической синхронизацией, исследованы параметры алюминиевых индуктивностей. В результате разработана методика настройки пушки гаусса.

Данная работа имеет следующие признаки новизны, отличающие её от известных [3,4]: 1 - определён диаметр провода, для обмотки 1.4мм. Это решение позволяет получить короткий импульс за счёт уменьшения индуктивности и активного сопротивления; 2 - в качестве материала обмотки выбран алюминий. Это уменьшает вес катушки более чем в 3 раза, увеличивая электрическое сопротивление всего в 1.5 раза. 3- особенность новой конструкции в том, что в ней используются тяжелые снаряды (пули) массой до 47 граммов. В результате, импульс выстрела 1.5 Н*м/сек сравним с импульсом лёгкого стрелкового огнестрельного оружия (Пистолет Макарова).

Интересно, что КПД выстрела зависит ещё и от температуры сердечника (пули) что показано в Таблице 1. В последней строке приведены результаты выстрела пулей охлаждённой жидким азотом.

В результате проведённого исследования разработаны двухступенчатая и трёхступенчатая пушки Гаусса с оптической синхронизацией. Исследовано влияние расстояния между сердечником и катушкой, длинны сердечника, напряжения на скорость и определён КПД системы. Проведены расчёты для крупных катушек, с напряжением конденсатора до 400 вольт. Зависимость КПД от расстояния описывается кривыми похожими на кривую из Рис. 1.



Рис.1. Зависимость КПД 1 секции алюминиевой катушки от начального положения снаряда относительно катушки

Из Рис. 1 видно, как важно правильно подобрать начальное положение пули, без такой предварительной настройки пуля может полететь даже в обратном направлении.

Таблица 1 - Желтый пункт(предпоследний) – оптимальный выстрел при комнатной температуре. Синий пункт(последний) – выстрел охлаждённой пулей, x – начальное положение пули относительно катушки

x, мм	V, м/с	σV	η, %	ση
23	0		0%	
18	14,8	0,7	3,9%	0,01%
13	14,8	0,7	3,8%	0,01%
8	3,4	0,2	0,2%	0,01%
16	15,6	0,8	4,3%	0,02%
16	***16,9***	***0,8***	***4,8%***	***0,02%***

Выводы. Найдены оптимальные электрические ёмкости и длина снаряда (пули). Скорость пули и КПД ствола с тремя секциями составили 32,5м/с и 11% соответственно. Дульная энергия такой пушки более 24 джоулей.

Работа выполнена по Проекту «Развитие учебно-научного практикума «Лаборатория экспериментальной физики ФФ НГУ» в рамках Программы САЕ НГУ-2017: «Нелинейная фотоника и квантовые технологии».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электромагнитный пробойник. Патент России: su 20001262
2. https://edrid.ru/rid/216.012.a901.html
3. Патент России №2267074. Электромагнитный ускоритель метаемого тела. МПК: F41B 6/00.
4. Патент России №2258885. Электромагнитный ускоритель с вращением снаряда. МПК: F41B 6/00.
5. http://gauss2k.narod.ru/weapon1.html

ГРАНИЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ КОНЕЧНЫХ СОСТАВНЫХ ПОРОВЯЗКОУПРУГИХ ТЕЛ

А.А. Ипатов, Л.А. Игумнов, В.Ф. Овчинников, А.Н. Супрун
Научно-исследовательский институт механики Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, Россия, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23, корпус 6, 603950
E-mail: ipatov@mech.unn.ru

Ставится начально-краевая задача линейной трехмерной динамической теории поровязкоупругости, рассматриваются кусочно-однородные тела. Используется модель на основе пороупругой модели Био [1]. Записывается система дифференциальных уравнений трехмерной теории пороупругости в изображениях по Лапласу [2]. Вязкоупругими свойствами обладает скелет материала. Решение строится на основе принципа соответствия упругости и вязкоупругости. Для описания вязкоупругих свойств материала применяется модель стандартного вязкоупругого тела. Одномерное аналитическое решение для однородного стержня в случае динамической поровязкоупругости представлено M. Schanz и Cheng [3]. Так же гранично-элементное исследование динамики поровязкоупругих тел опубликовано в работе [4].

К исследованию краевой задачи применяется метод граничных интегральных уравнений (ГИУ), а для поиска их решений – метод граничных элементов (МГЭ) для получения численных решений [5]. В методе граничных элементов ключевую роль играют фундаментальные и сингулярные решения, выражения которых в случае пороупругости известны только в пространстве преобразований Лапласа. Решение исходной задачи строится в пространстве преобразований Лапласа, с последующим применением алгоритма численного обращения интегрального преобразования. Численная схема основана на использовании формулы Грина-Бетти-Сомильяны. Чтобы ввести ГЭ-дискретизацию, рассматривается регуляризованное гранично-интегральное уравнение. В качестве функций формы при описании границы тела выбраны биквадратичные полиномы интерполяции. Неизвестные граничные поля интегрируются через узловые значения в интерполяционных узлах. Гранично-элементные схемы созданы на основе согласованной аппроксимации граничных функций. При поэлементном численном интегрировании используется метод Гаусса и иерархический алгоритм интегрирования. Применяется метод коллокации. Решения в явном времени строятся с использованием модифицированного алгоритма Дурбина численного обращения преобразования Лапласа.

В качестве базового пористого материала рассматриваются скальная порода (песчаник Berea) и водонасыщенный песок. Построены гранично-элементные решения для перемещений, порового давления и напряжений. Проведено сравнение решений при различных значениях параметров среды и продемонстрировано влияние вязкости на динамические отклики перемещений и порового давления.

Поровязкоупругое решение рассчитываются из пороупругого решения с помощью применения принципа соответствия упругой и вязкоупругой реакции. Комплексные модули $\overline{K}(s)$ и $\overline{G}(s)$ в пространстве преобразований Лапласа для модели стандартного вязкоупругого тела имеют вид:

$$\overline{K}(s) = K^{\infty} \cdot \left[(\beta - 1) \frac{s}{s+\gamma} + 1 \right], \ \overline{G}(s) = G^{\infty} \cdot \left[(\beta - 1) \frac{s}{s+\gamma} + 1 \right], \beta = K^0 / K^{\infty} = G^0 / G^{\infty}$$

где K^0, G^0 – мгновенные модули, K^{∞}, G^{∞} – длительные модули γ – величина обратная харрактерному времени релаксации.

Численные результаты

Рассматривается задача о составной поровязкоупругой призматической консоли жестко закрепленной с одного торца и действующей осевой силы в виде функции Хэвисайда с другого.

Длинна консоли 3м. Пороупругие параметры песчаника Berea: $K = 8 \cdot 10^9 \, Н/м^2$, $G = 6 \cdot 10^9 \, Н/м^2$, $\rho = 2458 кг/м^3$, $\phi = 0.66$, $K_s = 3.6 \cdot 10^{10} \, Н/м^2$, $\rho_f = 1000 кг/м^3$, $K_f = 3.3 \cdot 10^9 \, Н/м^2$, $k = 1.9 \cdot 10^{-10} \, м^4/(Н \cdot с)$

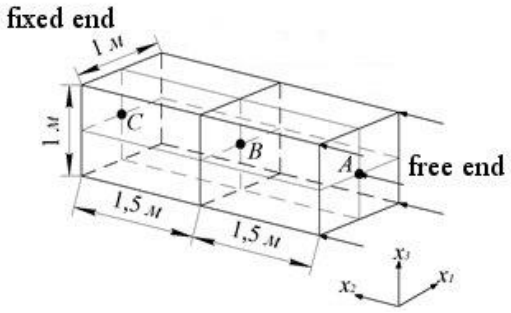


Рис. 1.

Исследуются перемещения в точке B (рис.1). Параметры вязкости: $\beta = 4$, γ_1 и γ_2 – характерные времена релаксации для подобластей.

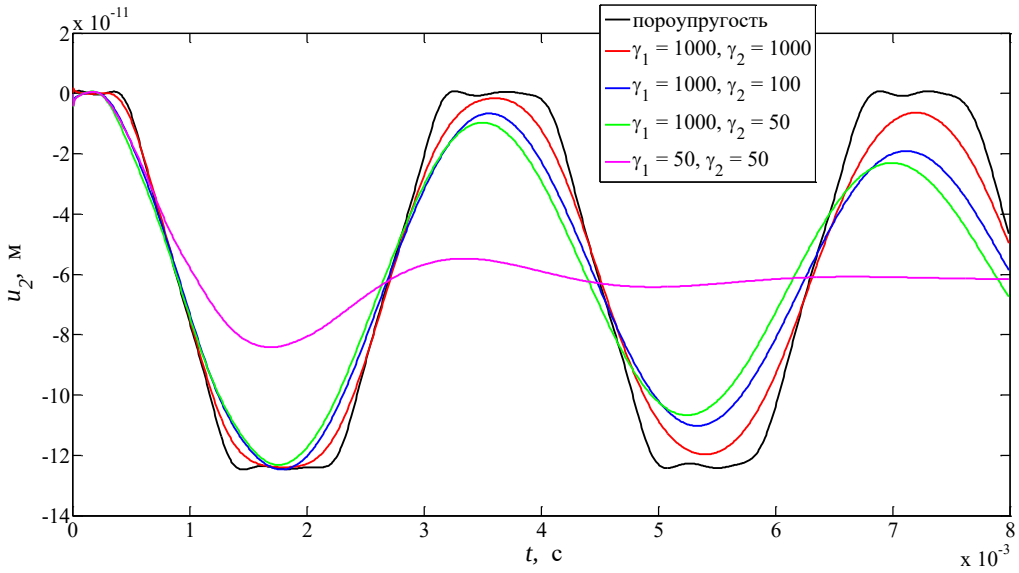


Рис. 2. Перемещения u_2 в точке B

На рис. 2. изображены перемещения u_2 в точке B при различных значениях параметра вязкости у подобластей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Biot M.A. General theory of three-dimensional consolidation // J. Appl. Phys. – 1941. – Vol. 12(2), – pp.155-164.
2. Schanz M. Wave Propagation in Viscoelastic and Poroelastic Continua. Berlin Springer, – 2001. –170 p.
3. Schanz M., and Cheng A. H.-D. Dynamic Analysis of a One-Dimensional Poroviscoelastic Column // J. Appl. Mech. – 2001. – Vol. 68, – pp.192-198.
4. Ипатов А.А., Белов А.А., Литвинчук С.Ю. Исследование динамики трехмерных поровязкоупругих тел методом граничных элементов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2016. № 4. – С. 248-262.
5. Баженов В.Г., Игумнов Л.А. Методы граничных интегральных уравнений и граничных элементов в решении задач трехмерной динамической теории упругости с сопряженными полями. – М.: Физматлит, – 2008. – 352с.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО КОНТАКТА ЗУБНОЙ ПАРЫ ЧЕРЕЗ ТРЕХСЛОЙНУЮ ПРОТЕТИЧЕСКУЮ КОНСТРУКЦИЮ

А.А. Каменских, Ю.И. Лесникова
Научный руководитель: к.т.н. А.А. Каменских
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, 614000
E-mail: anna_kamenskih@mail.ru

В настоящее время все большую актуальность приобретает повышение качества жизни спортсменов и людей, вовлеченных в работу промышленных предприятий с повышенным уровнем нагрузки, путем использования индивидуальных средств защиты. К таким конструкциям относятся защитные зубные шины. Использования зубных шин с целью профилактики травматизма зубочелюстной системы получило широкое распространение и выявило необходимость в компьютерном моделировании биомеханического поведения, как самих конструкций, так и материалов из которых они изготовлены [1]. Численное моделирование поведения материалов и конструкций зубных капп не возможно без физико-механических, эксплуатационных, прочностных, фрикционных свойств материалов. Для построения модели поведения материалов протетических конструкций этиленвинилацетата и винилполисилоксана была проведена серия натурных экспериментов [2]. В результате установлено, что винилполисилоксан является упругим материалом с модулем Юнга $E_v = 0,3$ МПа, в качестве модели поведения этиленвинилацетата выбрана деформационная теория упругопластичности с модулем Юнга $E_e = 17,3$ МПа, коэффициенты Пуассона материалов равны $\nu_e = 0,46$ и $\nu_v = 0,49$ соответственно. Задача реализуется в рамках механики контактного взаимодействия в частном случае осесимметричного напряженно-деформированного состояния при наличии трения по сопрягаемым поверхностям с постоянным коэффициентом трения 0,3. Математическая постановка задачи контактного взаимодействия включает уравнения равновесия, геометрические и физические соотношения, а так же контактные граничные условия, ранее рассмотренные в [3].

Рассматривается контакт зубов без учета защитной шины и через трехслойную каппу в упрощенной постановке (рис. 1). Зуб-штамп индентируется постоянной силой F от 10 до 50 Н, высота и ширина зуба составляют $h_zub = 6 \cdot 10^{-3}$ м и $b_zub = 5 \cdot 10^{-3}$ м соответственно, скругление галтели у зуба зависит от ширины и составляет $scr_zub = 0,1 \cdot b_zub$. Материал зуба рассматривается как упругий $E = 80,4 \cdot 10^3$ МПа и $\nu = 0,3$, что соответствует свойствам зубной эмали. Толщина слоя этиленвинилацетата и винилполисилоксана одинаковая и равна $h_e = h_v = 2 \cdot 10^{-3}$ м.

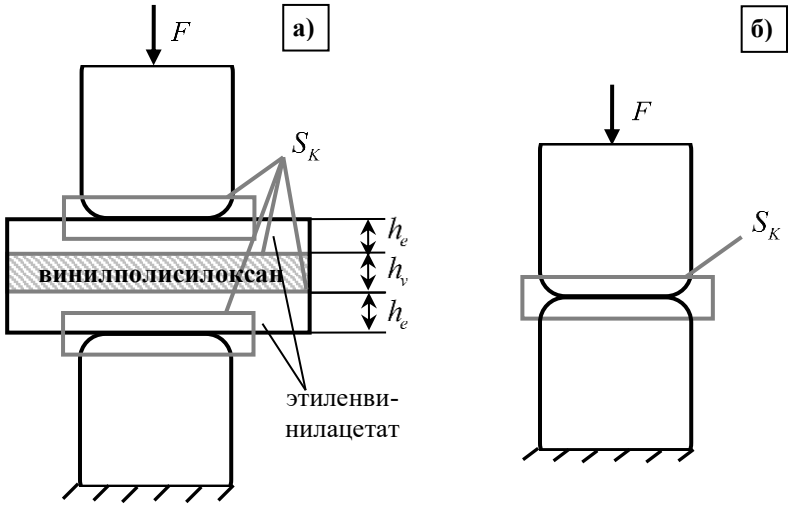


Рис. 1. Модель контакта через трехслойную каппу (а) и без учета защитной шины (б)

На рис. 2 показано распределение интенсивности напряжения в модель контакта зубов-инденторов через трехслойную каппу (а) и без учета защитной шины (б).

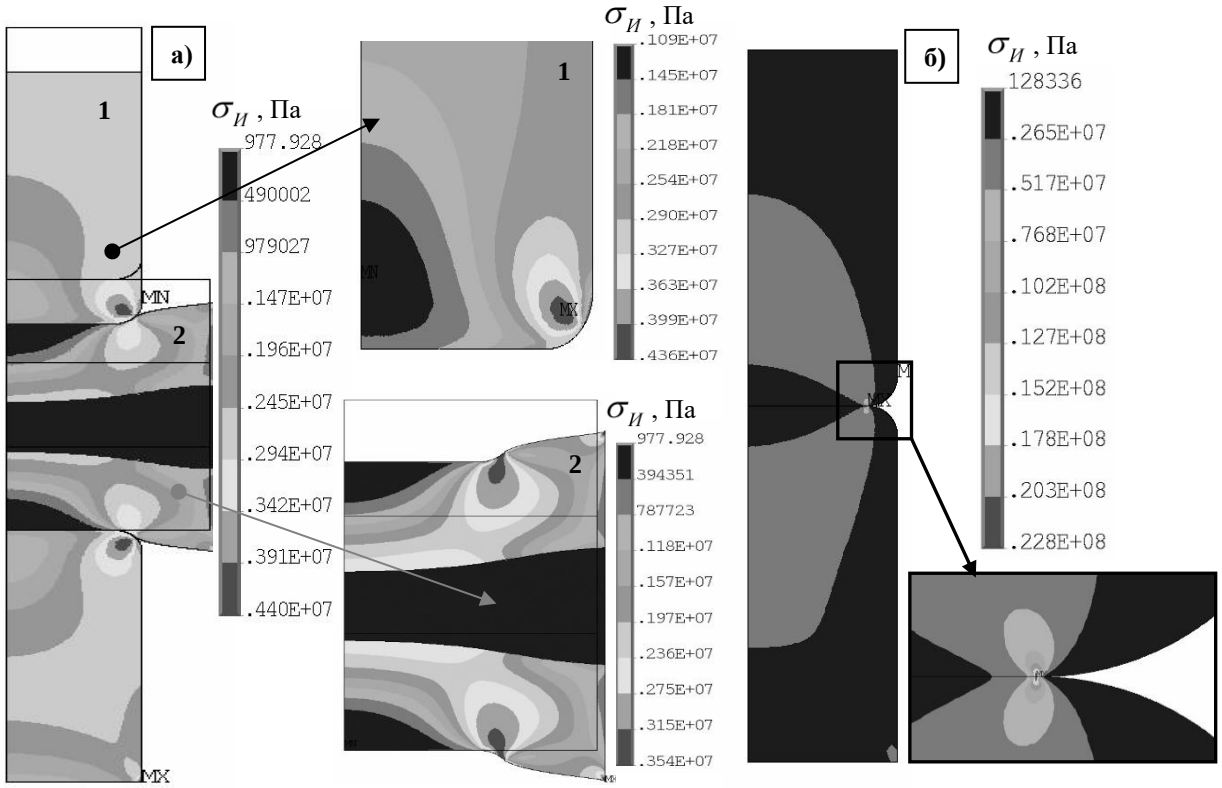


Рис. 2. Интенсивность напряжения в модели контакта зубов через трехслойную каппу (а) и без (б)

На рис. 2 можно наблюдать картину деформирования моделей контакта зубов и поля распределения интенсивности напряжения. Максимальные значения интенсивности напряжения наблюдаются в зоне концентратора напряжения в виде галтели в зубе-инденторе, максимальное значение интенсивности напряжений увеличивается менее чем в 2 раза при увеличении силы индентирования в 5 раз: $F = 10$ Н максимальное напряжение в зубе-инденторе составляет 2,37 МПа, при $F = 50$ Н – 4,36 МПа. Максимальное значение интенсивности напряжения при контакте зубов-индентров без учета трехслойной каппы при $F = 50$ Н составляет 22,8 МПа. Установлено, что при контакте зубов-инденторов через трехслойную каппу максимальная интенсивность напряжений меньше в более чем 5 раз, чем при контакте без каппы. При этом максимальное напряжение распространено на большей поверхности зуба и не носит локальный сосредоточенный характер.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект № 17-48-590411 р_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лохов В.А., Асташина Н.Б., Сергеева Е.С., Мерзляков А.Ф., Байдаров А.А. Сравнительная оценка уровня функциональных нагружений, развивающихся в эмали зубов при использовании различных типов спортивных зубных шин // Российский журнал биомеханики. – 2017. – Т. 21. – № 2. – С. 211-218.
2. Лохов В.А., Кучумов А.Г., Мерзляков А.Ф., Асташина Н.Б., Ожгихина Е.С., Тропин В.А. Экспериментальное исследование материалов новой конструкции спортивной зубной шины // Российский журнал биомеханики. – 2015. – Т. 19. – № 4. – С. 409-420.
3. Kamenskih A. A., Trufanov N. A. Regularities Interaction of Elements Contact Spherical Unit with the Antifrictional Polymeric Interlayer // Friction and Wear. – 2015. – Т. 36. – № 2. – Pp. 170-176.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ УПРОЧНЁННЫХ ДЕТАЛЕЙ С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Киселев П.Е., Шляпников П.А., Сургутанов Н.А., Швецова А.А.
Научный руководитель: д.т.н., профессор, зав. кафедрой сопротивления материалов В.Ф. Павлов
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва
Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34а, 443086
E-mail: dogg199191@mail.ru

Для прогнозирования предела выносливости σ_{-1} поверхностно упрочнённых деталей существует два критерия: критерий $\sigma_z^{пов}$, учитывающий влияние остаточных напряжений на поверхности упрочнённой детали, и критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\overline{\sigma}_{ост}$ по толщине упрочнённого слоя [1]. В работе [2] было установлено, что использование первого критерия не является целесообразным из-за большого рассеивания соответствующего коэффициента влияния ψ_σ. Поэтому прогнозирование предела выносливости в данном исследовании будет осуществлялось с использованием второго критерия, для чего, помимо остаточных напряжений, необходимо знать две величины: критическую глубину нераспространяющейся трещины усталости $t_{кр}$ и коэффициент $\overline{\psi}_\sigma$ влияния поверхностного упрочнения по критерию $\overline{\sigma}_{ост}$. Значение $t_{кр}$ определяется только размерами поперечного сечения детали [2] и вычисляется по формуле:

$$t_{кр} = 0{,}0216D, \qquad (1)$$

где D – диаметр опасного поперечного сечения детали.

Коэффициент $\overline{\psi}_\sigma$ влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости, полученный экспериментальным путём, в общем виде описывается следующим выражением [2]:

$$\overline{\psi}_\sigma = 0{,}612 - 0{,}081\alpha_\sigma, \qquad (2)$$

где α_σ – теоретический коэффициент концентрации напряжений.

Далее рассмотрим влияние некоторых эксплуатационных факторов на работу детали в течение всего жизненного цикла.

1. Тип деформации

В работе [2] было показано, что при $\alpha_\sigma = 2{,}5-3$ в случае изгиба коэффициент $\overline{\psi}_\sigma$ можно принять равным $\overline{\psi}_\sigma \cong 0{,}36$. Было рассмотрено влияние остаточных напряжений на предел выносливости при растяжении-сжатии. Для чего изготавливались образцы диаметром 10 мм из тех же материалов, что и при кручении, половина из них подвергалась ГДО. Затем, на упрочнённые и неупрчоненные образцы наносились надрезы полукруглого профиля радиусом ρ_0 = 0,3 мм.

Испытания доказали, что прогнозирование предела выносливости с использованием критерия среднеинтегральных остаточных напряжений $\overline{\sigma}_{ост}$ для упрочнённых образцов с одинаковой степенью концентрации напряжений приводит к таким же результатам, как и при изгибе, что подтвеждается приблизательным равенством коэффициентов влияния поверхностного упрочнения $\overline{\psi}_\sigma$ по данному критерию.

Для большой группы авиационных деталей (валы, рессоры, торсионы) характерной деформацией является переменное кручение. Для исследования влияния остаточных напряжений на предел вынсоливости при кручении были изготовлены образцы из сталей 30ХГСА, ЭИ961 и алюминиевого сплава В95 [3]. Часть из них подвергалась гидродробеструйной обработке (ГДО). На упрочнённые и неупрочнённые гладкие образцы диаметром D = 12 мм из стали ЭИ961 и сплава В95 безнаклёпным способом наносились круговые надрезы полукруглого профиля с ρ_0 = 0,3 мм, из стали 30ХГСА – с ρ_0 = 0,35 мм.

Проведенные испытания показали, что коэффициент $\overline{\psi}_\tau$ влияния упрочнения на предел выносливости при кручении имеет небольшой разброс и составляет в среднем 0,181, что вдвое меньше значения аналогичного коэффициента $\overline{\psi}_\sigma$ при изгибе и растяжении-сжатии.

2. Рабочая температура

Для учёта влияния рабочей температуры на предел выносливости деталей были проведены испытания на усталость образцов диаметром 7,5 мм после алмазного выглаживания из стали ЭИ961 и диаметром 10 мм из алюминиевого сплава В95 после упрочнения дробью. Далее стальные образцы выдерживались в печи при температуре 400°С, алюминиевые – при температуре 125°С в течение 100 часов. На упрочнённые и неупрочнённые образцы наносились надрезы полукруглого профиля с ρ_0 = 0,3 мм. Затем определялись остаточные напряжения и проводились испытания на усталость при изгибе в случае симметричного цикла. После обработки результатов испытаний было выявлено, что после термоэкспозиции остаточные напряжения релаксируют. Коэффициент $\overline{\psi}_\sigma$, учитывающий влияние поверхностного упрочнения по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений как для стальных, так и для алюминиевых образцов достаточно близок к значению $\overline{\psi}_\sigma$ = 0,36.

3. Асимметрия цикла нагружения

Многие детали в машиностроении работают в условиях несимметричного цикла нагружения. В связи с этим возникает интерес о применимости критерия $\overline{\sigma}_{ост}$ для прогнозирования предела выносливости изделий, работающих в условиях асимметрии цикла нагружения.

Для выяснения данного обстоятельства были проведены испытания образцов из стали 45, как упрочнённых, так и неупрочненных, при растяжении-сжатии со средним напряжением цикла σ_m Проведённые испытания показали, что с увеличением средних напряжений предельная амплитуда цикла σ_{Ra} уменьшается, как для упрочнённых, так и для неупрочнённых образцов. Также уменьшается коэффициент $\overline{\psi}_\sigma$, равный 0,36 только при нулевом среднем напряжении. Данные результаты говорят о невозможности напрямую применить критерий $\overline{\sigma}_{ост}$ в случае асимметрии цикла нагружения.

Однако, если использовать диаграмму Ганна, то можно вывести формулу для коэффициента влияния $\overline{\psi}_\sigma^{(m)}$ через сопротивления разрыву детали с концентратором S_k:

$$\overline{\psi}_\sigma^{(m)} = \overline{\psi}_\sigma - \frac{\sigma_{-1p}(\sigma_m - \sigma_m^T)}{S_k \overline{\sigma}_{ост}}, \qquad (3)$$

где σ_m^T – среднее напряжение, при котором в концентраторе без остаточных напряжений появляются первые пластические деформации. Используя зависимость (3) можно вычислить предел выносливости по критерию креднеингральных остаточных напряжений, что говорит о его применимости при несимметрично действующих напряжениях.

Таким образом, обобщая проведенные исследования вляиния различных эксплуатационных факторов, действующих на детали на протяжении всего их жизненного цикла в пределах назначенного ресурса, можно утверждать, что прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочненных деталей следует вести по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.Ф. Павлов О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.
2. Павлов В. Ф., Кирпичёв В.А., Вакулюк В.С. Прогнозирование сопротивления усталости упрочнённых деталей по остаточным напряжениям. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.
3. Павлов В.Ф., Прохоров А.А. Связь остаточных напряжений и предела выносливости при кручении в условиях концентрации напряжений //Проблемы прочности.–1991. – №5. – С. 43-46.

ПРОЧНОСТЬ РЕЖУЩЕГО КЛИНА ПРИ ВРЕЗАНИИ

В.Н. Козлов, Ц. Чжан, И. Го, А.В. Герасимов
Научный руководитель: доцент, к.т.н. В.Н. Козлов
Национальный исследовательский Томский политехнический институт
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: 965075948@qq.com

В начальный момент контакта резца с заготовкой происходит трение только по задней поверхности резца без образования стружки, но затем начинают действовать силы на округлённой части главной режущей кромки с радиусом ρ (рис. 1), который сопоставим с размерами зёрен инструментального материала даже при желании заточить режущий клин на остро [1].

Наши исследования показали, что в период врезания составляющие силы резания резко увеличиваются, а после появления стружки резко уменьшаются до величины, характерной для установившегося резания. В период врезания составляющие силы резания P_z, P_y и P_x существенно больше, чем при установившемся резании, к тому же часть этих сил сосредоточена на небольшом участке передней поверхности $c_{вр}$ (рис. 1), гораздо меньшей, чем длина контакта стружки с передней поверхностью c. Это приводит к увеличению контактных напряжений и, как следствие, к выкрашиванию режущей кромки.

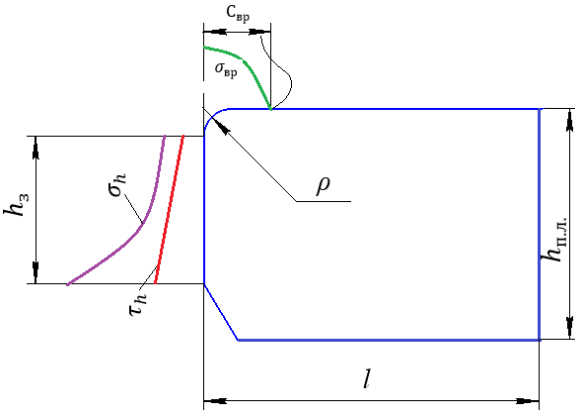


Рис. 1. Модель режущего клина и его нагружение контактными напряжениями при врезании

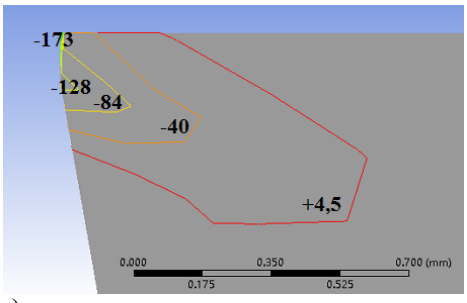
Для исследования изменения сил резания в период врезания было рассмотрено врезание токарного резца с главным углом в плане φ=45°, главным передним углом γ=0°, главным задним углом α=12 °, вспомогательным углом в плане φ_1=45 °, углом наклона главной режущей кромки λ=0 °, радиусом при вершине r=0,02 мм при продольной подаче. На задней поверхности затачивалась искусственная фаска различной длиной $h_з$ с постоянным задним углом α_h=0 °, имитирующая износ по задней поверхности (рис. 1). Радиус округления режущей кромки был равен минимально возможным при заточке на остро (ρ=0,003 мм). Врезание происходило в заготовку из стали 40Х в состоянии поставки, имеющую коническую поверхность, оставшуюся после отключения подачи в предыдущем эксперименте (предыдущая поверхность резания) с углом в плане φ=45°, что обеспечивало контакт резца сразу по всей длине режущей кромки в начальный момент её касания. Исследования выполнялись с постоянной скоростью резания v = 2 м/с, обеспечивающей отсутствие нароста на передней поверхности, и различными подачей s = 0,07-0,52 мм/об и глубиной резания t = 1-4 мм.

Измерения составляющих сил резания выполнялись с помощью токарного динамометра Kistler (Швеция). При точении измерялась средняя температура резания с помощью инфракрасного термометра MS-5630 (t °C) и контролировалась термо-ЭДС (μA) с помощью естественной термопары.

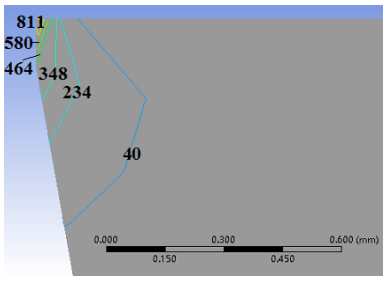
В период врезания основная часть нагрузки приходится на фаску задней поверхности, но часть силы воспринимается на радиусном участке режущей кромки и небольшим участком передней поверхности (рис. 1). Методом экстраполяции на нулевую фаску задней поверхности были выделены составляющие силы резания $P_{z\,п\,вр}$, $P_{x\,п\,вр}$ и $P_{y\,п\,вр}$, действующие на этом участке, который, по нашим расчётам и исследованиям других авторов [2, 3], имеет протяжённость $c_{вр} \approx \rho + 0{,}1 \cdot a$, где a – толщина среза (мм).

Наши эксперименты показали, что на этом участке передней поверхности практически отсутствуют касательные силы, поэтому при расчёте методом конечных элементов участок $c_{вр}$ нагружаем только нормальными к передней поверхности контактными напряжениями $\sigma_{вр} = N_{вр}/(c_{вр} \cdot b)$, где $N_{вр}$ – нормальная к передней поверхности сила на участке длиной $c_{вр}$; b – длина контакта резца с заготовкой по режущей кромки ($b = t/\sin\varphi$) (ширина участка контакта резца с заготовкой при врезании и установившемся резании). При переднем угле γ=0° и угле наклона главной режущей кромки λ=0° $N_{вр} = P_{z\,п\,вр}$.

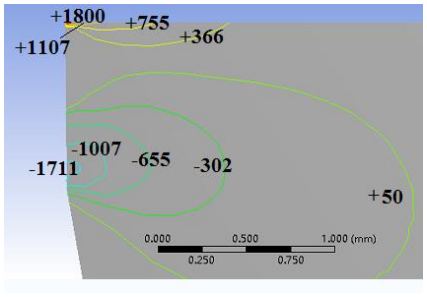
Расчёт напряжений в режущем клине резца методом конечных элементов с использованием программы ANSYS12 показал, что при малых подачах и длины фаски задней поверхности $h_з$ в режущем клине возникают напряжения сжатия (σ_x = -173 МПа) (рис. 2 а). При этом наибольшие эквивалентные напряжения ($\sigma_{экв}$ = 811 МПа) (рис. 2 б), в 5 раз меньше предельно допустимых, однако при увеличении подачи у передней поверхности появляются напряжения растяжения (σ_x = +1800 МПа) (рис. 2 в), что приводит к увеличению вероятности выкрашивания режущей кромки.



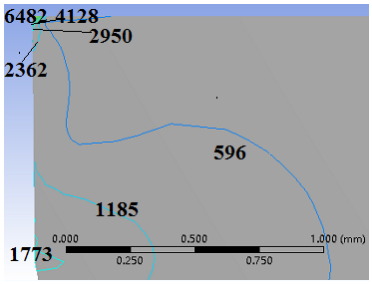
а) распределение нормального напряжения σ_x, МПа. $h_з$ = 0,13 мм, s = 0,07 мм/об



б) распределение эквивалентного напряжения $\sigma_{экв}$, МПа. $h_з$ = 0,13 мм, s = 0,07 мм/об



в) распределение нормального напряжения σ_x, МПа. $h_з$ = 0,95 мм, s = 0,52 мм/об



г) распределение эквивалентного напряжения $\sigma_{экв}$, МПа. $h_з$ = 0,95 мм, s = 0,52 мм/об

Рис. 2. Распределение напряжений в режущем клине резца при врезании, МПа.
Сталь 40Х- Т15К6; t = 2 мм; v = 2 м/с

При врезании в стальную заготовку изношенным по задней поверхности резцом напряжения в режущем клине становятся сопоставимыми с напряжениями при обработке труднообрабатываемого титанового сплава [4].

Список литературы

1. Kirsanov S. V., Babaev A. S. Study of Accuracy and Surface Roughness of Holes in Comparative Testing of Small Diameters Gun Drills // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2014. – V. 66. – I. 1. – P. 1-5.
2. Полетика М.Ф., Собанин А.Л., Кужларов В.Н. Силы и деформации на различных участках задней поверхности резца // Вопросы оптимального резания металлов. – Уфа, Изд-во УФАИ, 1976. – С. 76-78.
3. Бутенко В.А. Исследование контактных нагрузок на передней поверхности инструмента в процессе врезания // Исследования процесса резания и режущих инструментов. Межвузовский научно-технический сборник. – Томск, Изд-во ТПИ, 1984. – С. 48-61.
4. Kozlov V., Zhang J., Cui J., Letshiner E., Zhao W. Influence of Cutting Tool Wear on Contact Stresses and Temperature Distribution in Titanium Alloy Machining // Key Engineering Materials. Trans Tech Publications, Switzerland. – 2017. – Vol. 743. – P. 252-257.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ НАГРУЗОК ПРИ ВРЕЗАНИИ

В.Н. Козлов, Ц. Чжан, И. Го, С.К. Сабават
Научный руководитель: доцент, к.т.н. В.Н. Козлов
Национальный исследовательский Томский политехнический институт
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: 965075948@qq.com

При встречном фрезеровании зуб фрезы входит в контакт с обрабатываемой поверхностью с нулевой толщиной среза. В начальный момент происходит трение только по задней поверхности резца без образования стружки, т.е. силы на передней поверхности отсутствуют. При появлении фаски на задней поверхности в процессе износа силы при врезании существенно увеличиваются и могут привести к разрушению инструмента. Износ режущего клина происходит и на передней поверхности с образованием лунки длиной c_c и глубиной h_c, и на режущей кромке в виде радиуса ρ округления режущей кромки, но наиболее интенсивно он развивается на задней поверхности в виде образования фаски длиной h_f с углом наклона α_h (рис. 1). При длине фаски менее 1,5 мм в большинстве случаев α_h=0 °.

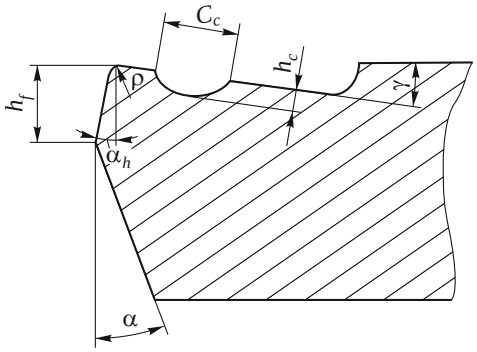


Рис. 1. Износ режущего клина

Исследование физических составляющих силы резания, действующих на зуб фрезы, для его расчёта на прочность затруднено из-за поворота зуба фрезы относительно динамометра. Поэтому было решено моделировать начальный момент резания при торцовом фрезеровании с углом φ=45 ° продольным точением заготовки токарным резцом с главным углом в плане φ=45°. Врезание выполнялось в заготовку, имеющую коническую поверхность, оставшуюся после отключения подачи в предыдущем эксперименте с углом в плане φ=45°, что обеспечивало контакт резца сразу по всей длине режущей кромки в начальный момент её касания, как при торцовом фрезеровании. Исследования выполнялись при обработке стали 40Х в состоянии поставки с постоянной скоростью резания v = 2 м/с, обеспечивающей отсутствие нароста на передней поверхности, и различными подачей s = 0,07-0,52 мм/об и глубиной резания t = 1-4 мм.

Точение осуществлялось резцом, имеющего главный передний угол γ=0 °, главный задний угол α=12 °, вспомогательный угол в плане φ_1=45 °, угол наклона главной режущей кромки λ=0 °, радиус при вершине r=0,02 мм. На задней поверхности затачивалась искусственная фаска различной длиной $h_з$ с постоянным задним углом α_h=0 °, имитирующая износ по задней поверхности (рис. 1). Радиус округления режущей кромки был равен минимально возможным при заточке на остро (ρ≈0,003 мм).

Составляющие силы резания на передней поверхности $P_{z\,п}$, $P_{x\,п}$ и $P_{y\,п}$ выделялись из общих технологических составляющих P_z, P_x и P_y силы резания экстраполяцией на нулевую фаску задней поверхности [1]. При γ=0 ° на передней поверхности нормальная сила $N = P_{z\,п}$, касательная сила $F = P_{xy\,п} = (P_{x\,п}^2 + P_{y\,п}^2)^{1/2}$. При α_h=0 нормальная сила на фаске задней поверхности рассчитывалась как $N_h = P_{xy\,h} = P_{xy} - P_{xy\,п}$, касательная сила $F_h = P_{z\,h} = P_z – P_{z\,п}$.

Измерения составляющих силы резания выполнялись с помощью токарного динамометра Kistler (Швеция). При точении измерялась средняя температура резания с помощью инфракрасного термометра MS-5630 (t °C) и контролировалась термо-ЭДС (μА) с помощью естественной термопары.

Эксперименты показали, что в период врезания происходит увеличение составляющих сил резания P_z, P_y и P_x, которые затем быстро уменьшаются с образованием стружки (рис. 2). Наибольшие величины составляющих силы резания при врезании обозначены символами $P_{z\,max}$, $P_{y\,max}$ и $P_{x\,max}$. Составляющие силы резания в период установившегося резания обозначены символами P_z, P_y и P_x.

При увеличении подачи соотношение между наибольшей силой при врезании и установившемся резании уменьшается (т.е. пика сил нет) (рис. 3), что связано, на наш взгляд, с прогибом поверхности резания под действием радиальной составляющей силы на радиусном участке режущей кромки [2]. Эта гипотеза подтверждается и результатами исследований распределения контактных напряжений на фаске задней поверхности (рис. 4).

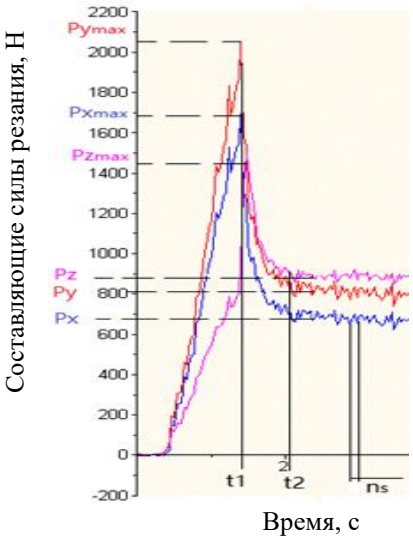


Рис. 2. Изменение составляющих силы резания (Н) при врезании. Сталь 40Х – Т15К6. *s* = 0,07 мм/об, *v* = 120 м/мин, *t* = 1,8 мм. Ордината – составляющие силы резания, Н; абсцисса – время обработки, с

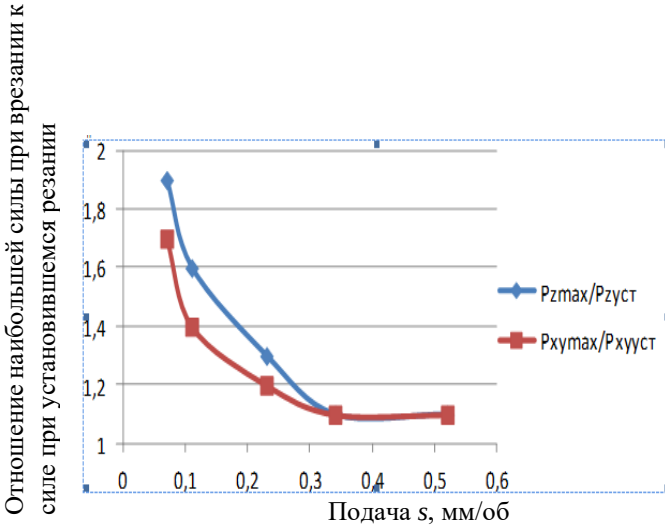
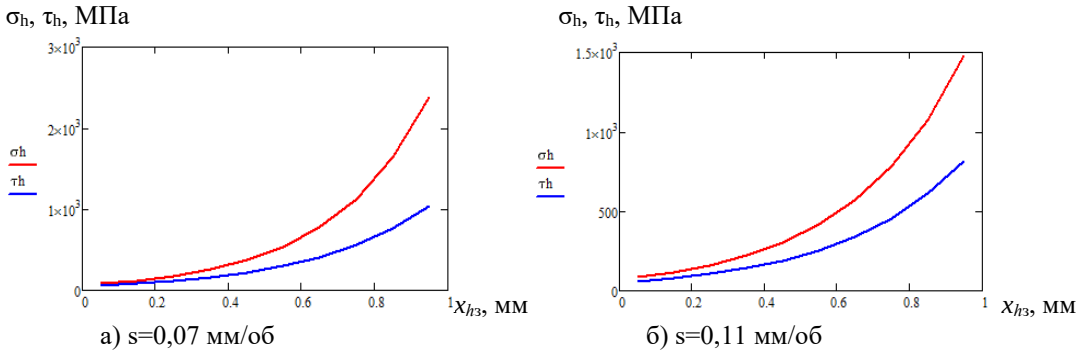


Рис. 3. Влияние подачи s (мм/об) на отношение наибольшей силы при врезании ($P_{z\,max}$ и $P_{xy\,max}$) к силе при установившемся резании ($P_{z\,уст}$ и $P_{xy\,уст}$). Сталь 40Х–Т15К6, *t*=1,8 мм, *v* = 120м/мин Ордината – соотношение сил резания; абсцисса – подача *s* (мм/об)



а) s=0,07 мм/об б) s=0,11 мм/об

Рис. 4. Распределение контактных напряжений на фаске задней поверхности (МПа) при врезании при силовом взаимодействии на радиусном участке режущей кромки. Сталь 40Х - Т15К6, *t*= 2 мм, *v*= 120 м/мин. Ордината – нормальные σ_h (МПа) и касательные τ_h (МПа) контактные напряжения на фаске задней поверхности; абсцисса – расстояние от режущей кромки вдоль фаски износа по задней поверхности x_{h3}, мм

С помощью программы MathCAD были получены уравнения эпюр контактных напряжений на фаске задней поверхности при врезании при обработке стали 40Х. Для *t*=2 мм *s*=0,07 мм/об: $\sigma_h = 213{,}791 \cdot 7{,}98^{xh}$ (МПа), $\tau_h = 52{,}353 \cdot 41{,}43^{xh}$ (МПа). Для *s*=0,07 мм/об: $\sigma_h = 213{,}791 \cdot 7{,}98^{xh}$ (МПа), $\tau_h = 52{,}353 \cdot 41{,}43^{xh}$ (МПа).

Список литературы

1. Kozlov V., Zhang J., Cui J., Bogolyubova M. Split Cutter Method for Contact Stresses Research over Flank Surface of a Cutter // Key Engineering Materials. Trans Tech Publications, Switzerland. – 2017. – Vol. 743. – pp. 258-263.
2. Kozlov V.N. Flank Contact Load Distribution at Cutting Tool Wear // Proceedings 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012. – 2012. – Article number 6357713.

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СКОЛЬЗЯЩИМ ИНДЕНТОРОМ С РАЗЛИЧНЫМИ СХЕМАМИ ДВИЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА НА ОБРАБАТЫВАЮЩЕМ ЦЕНТРЕ

В.П. Кузнецов, В.В. Воропаев
Научный руководитель: профессор, д.т.н В.П. Кузнецов
Уральский Федеральный университет
Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, 620002
E-mail: sen_vvv@mail.ru

Фрикционное упрочнение поверхностного слоя является перспективным термомеханическим методом обработки металлов интенсивной локализованной пластической деформацией. Формирования поверхностного слоя со стабильной твердостью после нескольких проходов инструмента является проблемой, решение которой требует обоснования схемы движения инструмента и выбора соотношения скорости вращения к скорости подачи [1].

Цель работы состоит в установлении закономерностей изменения твердости формируемого поверхностного слоя стали 20Х13 после фрикционного упрочнения при различных схемах движения вращающегося инструмента из твердого сплава IC903(фирмы Iskar) с плоским торцом.

В работе [2] проведено исследование изменения твердости и микротвердости поверхностного слоя стали 20Х13 после фрикционного упрочнения вращающимся инструментом (рис. 1), при единичных проходах с соотношением скорости вращения к скорости подачи инструмента K = 2,82*10^2…4,23*10^2, получена твердость 50 HRC и микротвердость 900 $HV_{0,025}$. Выявлено, что оптимальным является режим обработки со скоростью вращения инструмента V = 56,52 м/мин и подачей 0,15 м/мин.

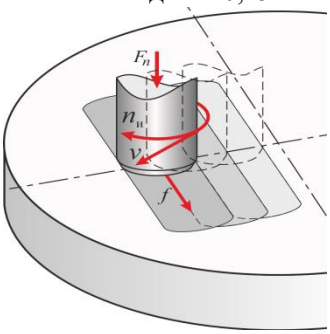


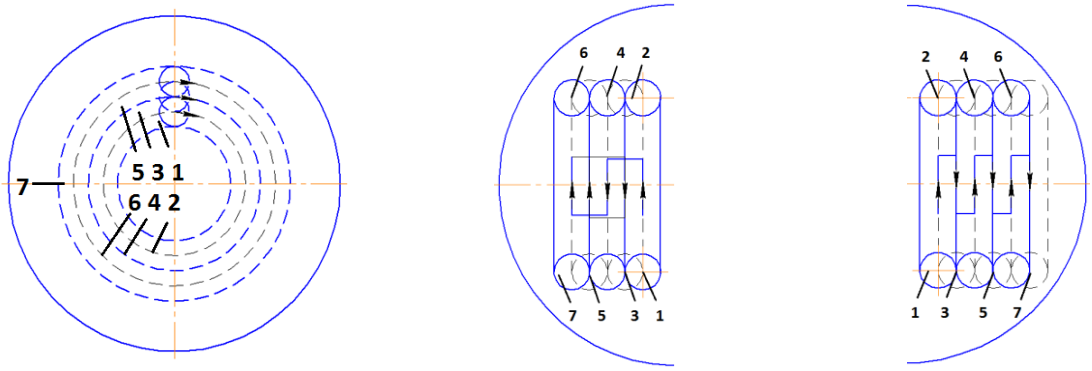
Рис. 1. Кинематическая схемы фрикционного упрочнения плоской поверхности

Для выбора схемы движения инструмента важно учитывать величину перекрытия следов инструмента для получения равномерно упрочненного поверхностного, а также направление перекрытия предыдущего следа [3].

Экспериментальное исследование фрикционного упрочнения проводилось при три схемах движения с перекрытием на половину диаметра инструмента (рис. 2), позволяющих выполнять обработку поверхности без отрыва от нее инструмента.

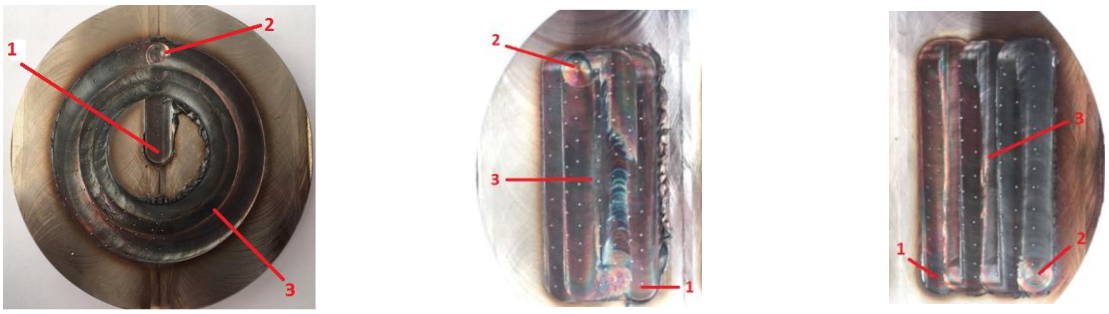
Фрикционная упрочняющая обработка была проведена на фрезерном обрабатывающем центре МА-600/Okuma на образцах толщиной 12мм и диаметром 100 мм из стали 20Х13 с исходной твердостью 160–170 НВ, с оптимальным режимом обработки (рис. 3). Упрочнение обеспечивалось трением инструмента из твердого сплава IC903 с плоским торцом, диаметром рабочей части d=9 мм и фаской 0,5х45°. После обработки были произведены измерения твердости (рис. 4), начиная от середины первого прохода с шагом равным ½ ширины дорожки в сторону направления обработки по всей длине прохода.

Установлено, что возрастание твердости происходит к концу зоны обработки. Это обуславливается более быстрым охлаждением данных участков. Схема обработки №1 показала более стабильную твердость, что обусловлено большей длинной траектории обработки и соответственно более быстрым охлаждением. При обработке по схеме №2 на одном из проходов наблюдалось уменьшение пятна контакта, и соответственно снижение твердости на данном участке. Это обусловлено схемой движения и перемещением материала на правый край следа в сторону вращения инструмента.



а б в

Рис. 2. Схемы движения инструмента и точки контроля твердости: *а* – с односторонним перекрытием (№1); б– смешанное перекрытие (№2); в – с встречным перекрытием (№3); 1…7 – точки контроля



а б в

Рис. 3. Фотографическое изображение поверхностей обработанных фрикционным упрочнением с различными схемами движения(1- место входа инструмента; 2- место выхода инструмента; 3- обработанная поверхность)

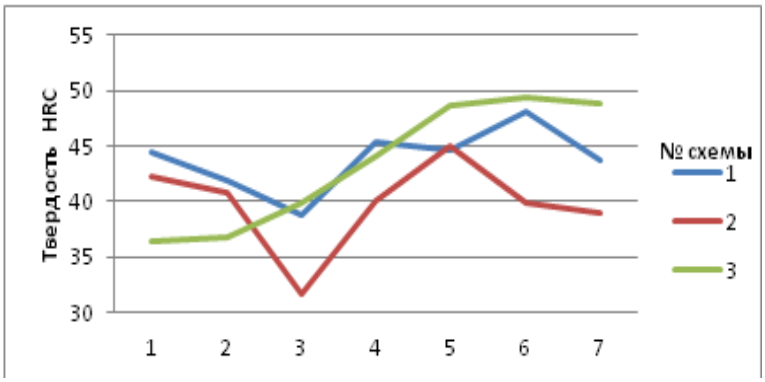


Рис. 4. Распределение средних значений твердости по обработанной поверхности

Установлено, что наиболее стабильная твердость при фрикционной обработке обеспечивается при реализации схемы №1 и составляет 38…48 HRC. Для повышения стабильности упрочнения необходимо управлять скоростью охлаждения поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mishra R. S. Friction stir welding and processing / R. S. Mishra, Z. Y. Ma// Materials Science and Engineering R 50 – 2005. – с. 1 – 78. doi:10.1016/j.mser.2005.07.001.
2. Воропаев В.В. Финишная технология обработки плоской поверхности фрикционным упрочнением и тонким фрезерованием на обрабатывающем центре / В.В. Воропаев, В.П. Кузнецов, А.А. Попов // ВЕСТНИК РГАТУ имени П. А. СОЛОВЬЕВА № 2 (41) с. 165–169, г. Рыбинск – 2017.
3. Miranda R. M. Surface Modification by Friction Based Processes / R. M. Miranda, J. Gandra and P. Vilaça // Additional information is available at the end of the chapter, http://dx.doi.org/10.5772/55986.

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ПРОУШИН ШАРНИРОВ МАНИПУЛЯТОРОВ МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

И.А. Лагерев
Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.Ф. Ковальский
Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского,
Россия, г. Брянск, ул. Бежицкая, 14, 241036
E-mail: lagerev-bgu@yandex.ru

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-10274).

Гидравлические манипуляторы с многозвенными стрелами получили широкое распространение в качестве исполнительных органов мобильных транспортно-технологических машин (МТТМ) [1]. Слабым местом манипуляторов МТТМ являются шарнирные соединения. При наработке до 3000 моточасов они выходят из строя, несмотря на то, что их расчетный ресурс составляет 6000…8000 моточасов [2, 3]. Это вызвано как фрикционным износом, так и воздействием повышенных ударных нагрузок, появление которых обусловлено люфтом (повышенным зазором) изношенного шарнира [3]. Таким образом, повышение надежности шарнирных соединений манипуляторов МТТМ является важной научно-технической задачей.

Существует два направления повышения ресурса проушин манипуляторов МТТМ при наличии зазоров в шарнирном соединении. Первый подход предполагает повышение их износостойкости за счет внедрения новых конструкционных решений (изменения конструкции проушин) [3, 4]. Причем, конструкционные решения, разработанные для манипуляторов промышленных роботов, не подходят для манипуляторов МТТМ в силу особенностей управления, точности изготовления, масштабного фактора [3]. Большое количество исследований также связано с разработкой технологических мероприятий по повышению механических характеристик материала проушин (закалка, цементация и т.д.) [2, 3]. Эти мероприятия в большей степени направлены на снижение интенсивности фрикционного износа, а не на противодействие ударным нагрузкам при работе шарнира с люфтом. Второй подход заключается в снижении или полном исключении ударных нагрузок, возникающих в шарнирном соединении из-за наличия люфта [3].

Предложена конструкция проушины шарнирного соединения манипулятора МТТМ (рис. 1), защищенная патентами RU №153946 и RU №160562 на полезную модель.

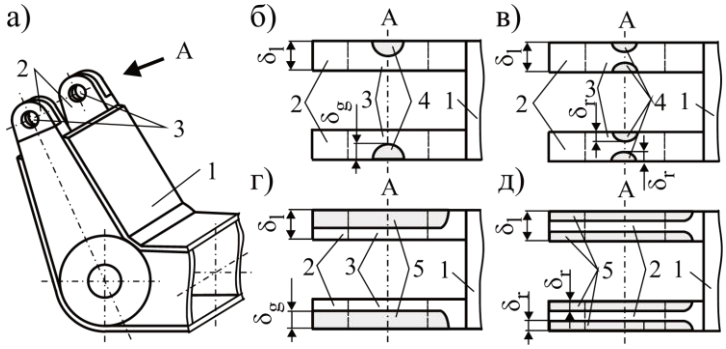


Рис. 1. Усовершенствованная проушина: а – звено МС; б, г – пазы со стороны одной боковой плоскости; в, д – пазы со стороны обеих боковых плоскостей; 1 – звено МС; 2 – проушина; 3 – отверстие в проушине; 4 – паз с наплавленным материалом; 5 – слой наплавленного материала

Суть способа заключается в том, что перемычки проушин (рис. 1) в зонах, прилегающих к отверстиям, утоняются не менее, чем на $\delta_g=(2/3…3/4)\delta_l$ или $2\delta_r=(2/3…3/4)\delta_l$ (где δ_l – номинальная толщина проушины), а затем наплавляются до номинальной толщины материалом, имеющим коэффициент ударной вязкости выше, чем коэффициент ударной вязкости основного материала. Уменьшение скорости роста усталостных трещин достигается путем создания плоского напряженного состояния вблизи их вершин.

Было предложено выражение для подбора марки наплавляемого материала, позволяющий повысить ресурс проушин (до 50%):

$$K_{1c} = K_{Ic}\sqrt{1+\frac{\varepsilon_f E K_{Ic}^2}{72(1-\varphi_p)\delta_l \sigma_T^3}},$$

где K_{Ic} – критический коэффициент интенсивности напряжений материала при плоской деформации; ε_f – истинная деформация разрушения материала; σ_T, E – предел текучести и модуль упругости материала; φ_p – коэффициент глубины пазов: φ_p=(2/3…3/4)δ_l.

Предложены конструкции демпфирующих устройств (ДУ) шарнирного соединения манипулятора МТТМ, позволяющие снизить (вплоть до полного исключения) ударные нагрузки, вызванные люфтом шарнирного соединения. Они представляют собой упругие или упруго-диссипативные элементы, соединяющие смежные звеня манипулятора.

Величины ударных нагрузок зависят от величины зазора в шарнире δ_w. При превышении зазором предельного зазора $[\delta_w]$ динамические нагрузки резко снижаются и стремятся к нулю. Дальнейшие исследования этого явления показали, что в зависимости от выбранных значений коэффициентов жесткости и вязкости ДУ возможны два режима их работы – ударный режим, при котором происходит ударное соприкосновение шарнирного пальца с поверхностью проушин, и безударный режим, при котором отсутствует ударное соприкосновение и прекращается дальнейшее изнашивание шарнира. ДУ оказывает положительное влияние на нагруженность манипулятора при зазоре, превышающем пороговое значение δ_{th}. Для обеспечения безударного режима необходимо выполнение условия δ_w>$[\delta_w]$. Значение $[\delta_w]$ увеличивается с ростом массы груза и снижается с увеличением жесткости и вязкости. Получены зависимости, позволяющие рационально назначать параметры ДУ при проектировании (рис. 2).

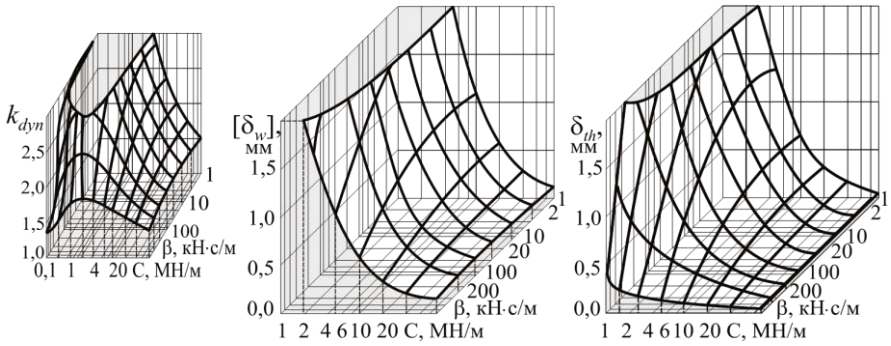


Рис. 2. Влияние жесткости C и вязкости β ДУ на динамику манипулятора: а – коэффициент динамичности ; б – предельный зазор; в – пороговый зазор

Таким образом, предложенные научный и технические решения позволяют повысить надежность шарнирных соединений манипуляторов МТТМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новоселов, В.В. Время перемен. Российский рынок гидроманипуляторов // Строительная техника и технологии. – 2013. – № 4. – С. 98-110.
2. Шевченко В.П. Восстановление шарнирных соединений лесосечных машин электродуговой металлизацией: Автореф. дисс. … канд. техн. наук. – Химки, 1986. – 20 с.
3. Лагерев И.А. Моделирование рабочих процессов манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов: монография. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 371 с.
4. Серебрянский А.И., Гудков А.Ю., Свиридов В.Г. Преобразование реверсивного трения в одностороннее в шарнирах манипуляторов // Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика: Материалы международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж, 2013. – №. 2-2. – С. 326-330.

ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИАЛЬНОГО ПОДХОДА ПРИ ОЦЕНКЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ШТАМПОВОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА

С.А. Малаканов, В.А. Арзамасцева
Научный руководитель: к.т.н., С.А. Малаканов
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
Россия, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, 455000
E-mail: samalakanov@mail.ru

При массовом производстве крепежных изделий наибольшее распространение получили методы холодной штамповки с использованием многопозиционных кузнечно-прессовых автоматов, на которых штамповка изделий осуществляется за четыре перехода с последующей накаткой резьбы на стержне [1-4].

Штамповочный инструмент (матрицы, пуансоны и др.) работает в условиях интенсивного абразивного истирания рабочих поверхностей. Его износ зависит от многих факторов: усилий, действующих на инструмент со стороны заготовки, температуры металла, скорости деформирования, марки стали, наличия смазочного материала и др.

Разработка критерия оценки износостойкости штамповочного инструмента позволяет определять его ресурс и необходимость своевременной замены с целью исключения брака.

Проблемам повышения износостойкости деталей и инструмента из различных материалов посвящены работы И.В. Крагельского [5], Д.Н. Гаркунова [6], В.Н. Виноградова [7], М.М. Хрущева [8] и др. Многообразие критериев оценки износостойкости свидетельствует о существенно различных подходах исследователей к объяснению и описанию механизмов изнашивания материалов.

В данной работе в основу методики прогнозирования износостойкости резьбонакатного инструмента положена энергетическая теория изнашивания твердых тел [5,6], согласно которой объемный износ ΔW пропорционален работе сил на преодоление трения $A_{тр}$ в зоне контакта:

$$\Delta W = J_{\omega} \cdot A_{тр} \,, \qquad (1)$$

где J_{ω} (м^3/Дж) – показателя энергетической интенсивности изнашивания (ПЭИИ), который определяется на основании экспериментальных исследований с использованием специального оборудования (машины трения).

В общем случае согласно закону Кулона-Амонтона:

$$A_{тр} = F_{тр} \cdot s = \mu \cdot F_{норм} \cdot s \,,$$

где $A_{тр}$ - работа сил трения, Дж; $F_{тр}$ - сила трения, Н; μ - коэффициент трения; $F_{норм}$- сила нормального давления, Н; s - перемещение инструмента, м.

В случае объемной постановки задачи:

$$A_{тр} = \mu \cdot N \cdot S \cdot s \,,$$

где N – нормальное давление, Па; S – площадь контакта заготовки инструмента, мм^2.

Выражение для определения критерия износостойкости:

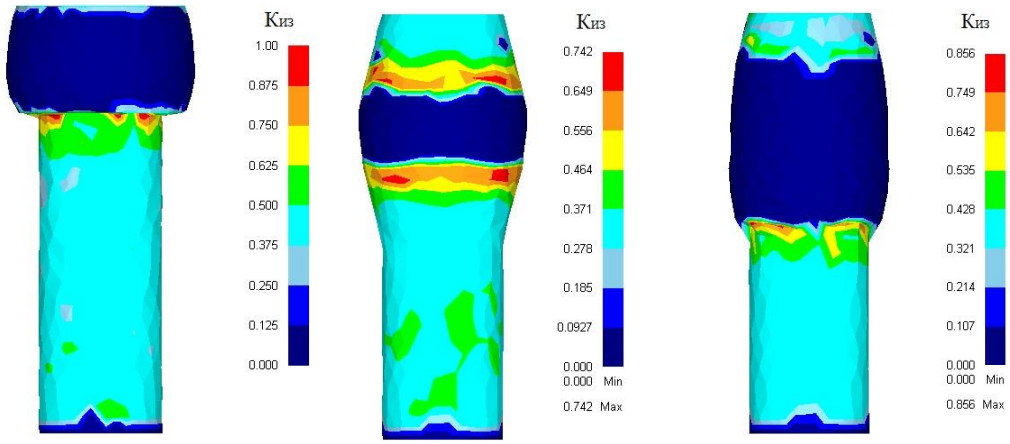
$$K_{ИС} = J_{\omega} \cdot A_{тр} = J_{\omega} \cdot \mu \cdot N \cdot S \cdot s \,.$$

Таким образом, зная величину удельного нормального давления, можно приближенно оценить износ инструмента при соблюдении равных условий контакта заготовки инструмента при осуществлении процесса штамповки.

Величину нормального давления предложено определять с помощью моделирования процесса штамповки с использованием метода конечных элементов [9], например, в программном комплексе «Deform-3D».

Рассмотрен процесс высадки черновой головки болта с применением пуансонов различной формы: а) высадка головки плоским пуансоном; б) высадка «двойным» конусом; в) высадка «прямым» конусом. За «базовый» вариант принят процесс высадки головки плоским пуансоном, значение критерия износостойкости $K_{ИС}$ для которого принимается равным единице.

На рис.1 показано относительное распределение критерия $K_{ИС}$ при черновой высадке головки с применением инструмента различной формы.



а) б) в)

Рис. 1. Критериальная оценка износостойкости инструмента (матрицы) при черновой высадке головки: а) высадка головки плоским пуансоном («базовый» вариант); б) высадка «двойным» конусом; в) высадка «прямым» конусом

Из рис.1 видно, что наименьшую износостойкость инструмента (матрицы)при прочих равных условиях имеет вариант высадки головки плоским пуансоном, наибольшую – высадка головки «двойным» конусом. Используя выражение (1), определяется объемный износ ΔW наиболее нагруженного участка инструмента, возникающий при штамповке изделия и суммарный объемный износ.

Таким образом, становится возможным рассчитать количество изделий до момента образования брака, например, по причине несоответствия внутреннего диаметра стержня под головкой болта вследствие износа требованиям нормативно-технической документации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00026 мол_а

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мокринский В.И. Производство болтов холодной объемной штамповкой. – М.: Металлургия, 1978. С. 78.
2. Мокринский В.И. Новые прогрессивные виды и технологические процессы изготовления крепежных изделий/ В.И. Мокринский, О.С. Железков // Сер. Метизное производство. Вып. 2. - М.: Ин-т Черметинформация, 1990. С. 22.
3. Железков О.С. Малоотходные технологии изготовления крепежных изделий с головками/ О.С. Железков, Н.П. Морозов, В.В. Семашко // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением. сб. науч. тр. - Магнитогорск, изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та. им. Г.И. Носова. 2011. с.135-139.
4. Железков О.С., Разработка малоотходных способов изготовления стержневых крепежных изделий/ О.С. Железков, Н.П. Морозов, В.В. Семашко // Тезисы доклада международного форума «реконструкция промышленных предприятий – прорывные технологии в металлургии и машиностроении» – Челябинск: изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та. им. Г.И. Носова, 2011. с.54-56.
5. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. 480 с.
6. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безизносность) - М.: «Изд-во МСХА», 2001. С. 616.
7. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М. Механическое изнашивание сталей и сплавов. – М.: Недра, 1996. – 364 с.
8. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. – М.: Наука, 1970. – 251 с.
9. Kobayashi, S.; Oh, S.-I.; Altan, T., 1989, "Metal Forming and the Finite Element Method", 1st ed., vol. 1. (Series Eds.: Crookall, J.R., Shaw, M.C.) Oxford University Press, Oxford, 377 p.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТПУСКА НА ХАРАКТЕР МАГНИТОУПРУГОЙ РЕЛАКСАЦИИ СТАЛИ 30Х13

К.Р. Муратов, Р.А. Соколов., В.В. Проботюк
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.Ф. Новиков
Тюменский индустриальный университет,
Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, 625000
E-mail: muratows@mail.ru

В работе [1] было обнаружено что под действием циклических механических одноосных нагружений остаточно намагниченного стального образца его намагниченность h_p (в относительных единицах), соответствующая амплитудным и нулевым нагрузкам, убывает с ростом номера цикла N согласно степенному закону.

$$h_{p\sigma_{max}} = h_{\sigma_{max}} + \Delta h_{\sigma_{max}} \cdot N^{-\alpha_{\sigma_{max}}} \quad \text{и} \quad h_{p\sigma_{min}} = h_{\sigma_{min}} + \Delta h_{\sigma_{min}} \cdot N^{-\alpha_{\sigma_{min}}} \qquad (1)$$

Здесь, величины $h_{\sigma_{max}}$ и $h_{\sigma_{min}}$ отражают устойчивое состояние магнетика с нагрузкой и без нее при $N \to \infty$; $\Delta h_{\sigma_{max}}$, $\Delta h_{\sigma_{min}}$ – величины сползания. Показатели степени $\alpha_{\sigma_{max}}$, $\alpha_{\sigma\,min}$ отвечают за быстроту необратимого размагничивания с ростом номера цикла. Индексы σ_{max} и σ_{min} соответствуют амплитудной нагрузке в серии испытаний и разгруженному состоянию, соответственно.

В работе выполнен анализ влияния амплитуды нагружения на коэффициенты аппроксимации степенной функцией. Обращено внимание, что произведение $\Delta h_\sigma \cdot \alpha_\sigma$ и величина $\delta h = \Delta h_{\sigma_{min}} / \Delta h_{\sigma_{max}}$ в некоторой степени отражают характерные для материала значения механических напряжений. Коэффициенты аппроксимирующей функции определялись методом наименьших квадратов.

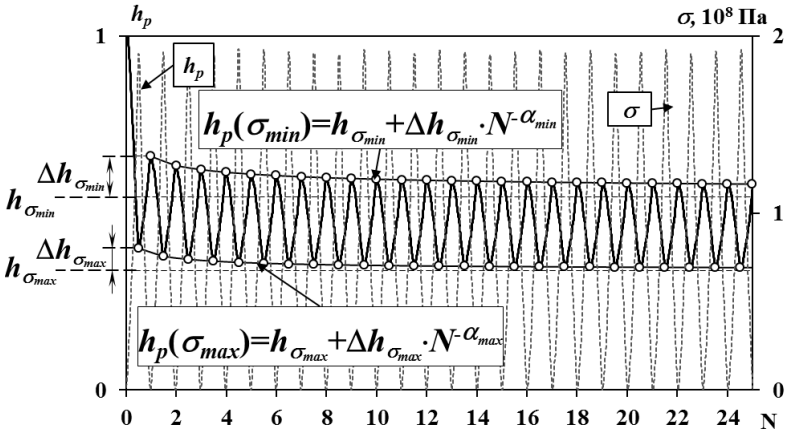


Рис. 1. Магнитоупругая циклограмма образца №1 при амплитуде нагружения 190 МПа [1]

В настоящей работе были исследованы образцы стали 30Х13, подвергнутые закалке и отпуску при различных температурах. Целью работы явились, во-первых, проверка выполнимости степенной магнитоупругой релаксации на других сталях и во-вторых установление влияния режима термообработки на ее характер.

Эксперименты показали, что для стали 30Х13 аналогично [1] наблюдается степенной характер релаксации, причем достоверность аппроксимации оказалась выше, что говорит, видимо, об универсальности такого свойства. Можем видеть (рис. 2), что при температурах отпуска 200÷500 °С характер параметра $\Delta h_{\sigma\,min} \cdot \alpha_{\sigma\,min}$ практически одинаковый. Затем происходит изменение поведения кривых, что связано с интенсивными структурными изменениями – распад мартенсита. Можно предположить, что линейное поведение отражает механизмы релаксации при отсутствии микропластических деформаций, а изменение линейного поведения связано с их появлением. Действительно, как известно мартенситная структура является достаточно прочной, тогда как перлитная менее. Тогда характерные изломы зависимости можно предположить связанными с началом микропластики. На такую мысль наталкивает также характер поведения параметра δh (рис. 3), который для температур отпуска начиная с 600 °С начинает резко возрастать при значениях нагрузок 650 МПа (600 °С) и 400 МПа (700 °С). Также можем видеть, что и при 550 °С параметр δh имеет тенденцию к росту по сравнению с меньшими температурами.

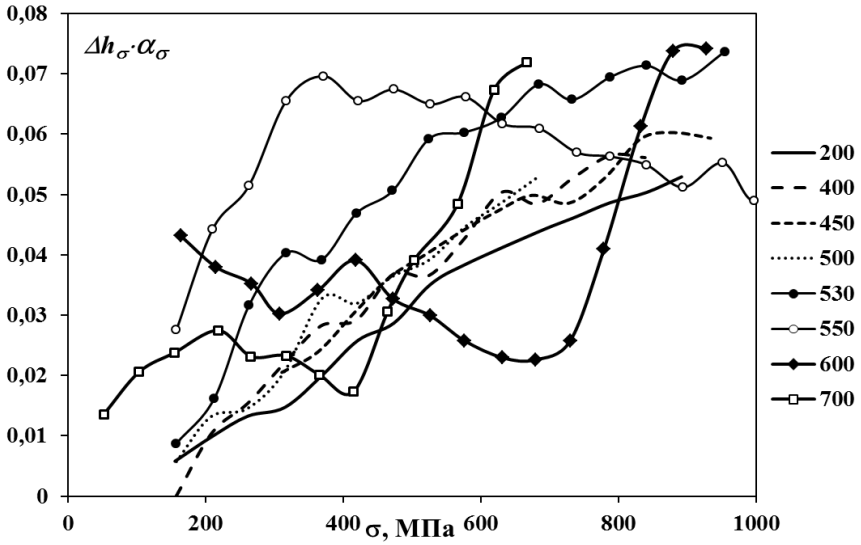


Рис. 2. Зависимость произведения коэффициентов $\Delta h_{\sigma\,min} \cdot \alpha_{\sigma\,min}$ от амплитуды нагружения для различных температур отпуска стали 30Х13

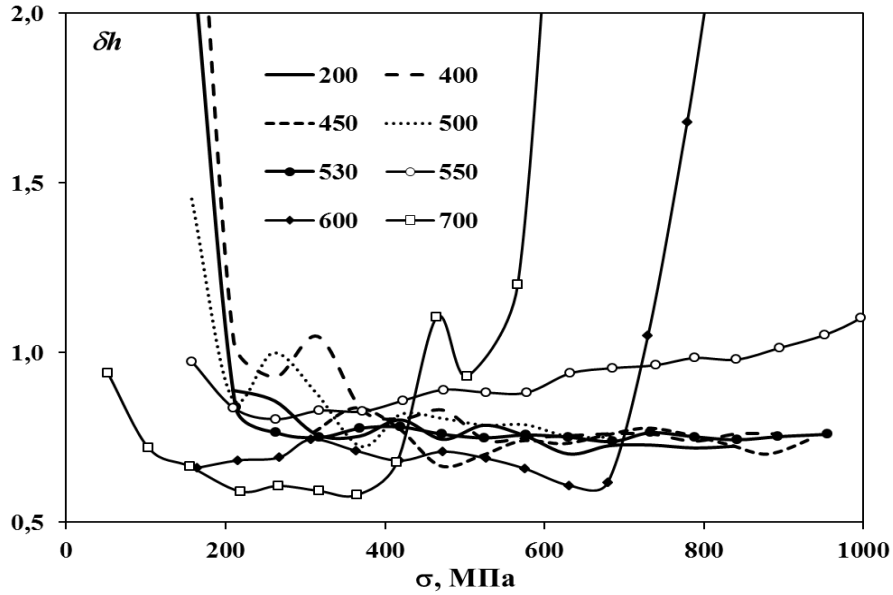


Рис. 3. Зависимость параметра δh от амплитуды нагружения для различных температур отпуска стали 30Х13

В работе [1] излагается гипотеза о возможности предсказания усталостных характеристик ферромагнитных материалов по анализу их магнитоупругих релаксационных параметров, что требует гораздо меньшее время по сравнению с классическими усталостными испытаниями. В силу отсутствия информации о пределе выносливости стали 30Х13 при различных температурах отпуска, к сожалению, мы не можем сопоставить наблюдаемые характерные механические напряжения с пределом выносливости. Поэтому к предлагаемой гипотезе необходимо относиться с осторожностью. И ответить на нее утвердительно можно выполнив дополнительный комплекс исследований. Однако мы не умаляем результат и считаем его ценным, поскольку само по себе рассмотренное свойство степенной магнитоупругой релаксации является не изученным и не объясненным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муратов К.Р., Новиков В.Ф., Нерадовский Д.Ф. Магнитоупругое размагничивание углеродистой стали под действием циклического нагружения // X Международная конференция «Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций» Екатеринбург, 16–20 мая 2016г.: сб. материалов. – Екатеринбург: ИМАШ УрО РАН, 2016., С. 330-332.

К ВОПРОСУ О ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ГАЗОПРОВОДАХ В СЕТЯХ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Назарова М.Н., Давыденко М.И., Ярославова Ю.Э.
Научный руководитель: доцент, к.т.н. Назарова М.Н.
Санкт-Петербургский горный университет,
Россия, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2
E-mail: mishelloooh@yandex.ru

Основное направление развития газовой отрасли – применение инновационных материалов в строительстве газотранспортных сетей газораспределения и газопотребления, таких как полиэтилен (ПЭ) при изготовлении труб в системе транспорта газа. В настоящее время остро встает вопрос о достоверном и качественном состоянии материала ПЭ труб в процессе эксплуатации.

Цель исследования – проведение анализа статистических данных возникновения различных дефектов в процессе эксплуатации полиэтиленовых газопроводов в условиях их подземной прокладки, а также ранжирования их по степени опасности.

Основными признаками, показывающими слабые места газопровода при его эксплуатации, являются дефекты и повреждения, обнаруживаемые на внутренней и внешней стороне трубы. В первую очередь рассмотрим дефекты геометрии стенки ПЭ труб - вмятина, гофр, овальность.

Как правило, основной причиной возникновения вмятин на поверхности трубы является контакт объекта с внешним телом твердой основы без острых углов и кромок. Воздействие может быть как динамическим, так и статическим. В результате возникновения вмятины на поверхности трубы в зоне повреждения не образуются высокие напряжения, однако искривление поля напряжения происходит. Происходит образование остаточных изгибных (по толщины стенки трубы) пластических деформаций, возникающих как в продольном, так и в поперечном сечениях вмятины и имеющих максимальные значения в поперечном направлении. Как правило, в процессе эксплуатации вмятины образуются на нижней поверхности трубопровода. В случае полиэтиленовых газопроводов вероятность возникновения вмятин достаточно велика, ввиду прокладки ниток трубопроводов подземным образом и геологической активности грунта, в результате чего возникает контакт нижней поверхности трубы с подпирающим горизонтом пород. Кроме того, достаточно велика возможность возникновения вмятин на верхней поверхности в результате потери прочности материала трубопровода под действием статической нагрузки от веса вышележащего грунта [2]. Гофры представляют собой складки поверхности газопровода, где причина возникновения гофр – холодный изгиб труб, формирующийся в процессе эксплуатации в местах изгиба газовой трассы. Исходя из свойств материала ПЭ труб, вероятность возникновения гофр на полиэтиленовых газопроводах больше чем на стальных, что объясняется меньшей устойчивостью стенки ПЭ трубы к пластическим деформациям при воздействии грунтов. Овальность трубопровода возникает в результате механического изменения сечения трубы за счет радиального давления на поверхность объекта.

Дефекты геометрии стенки ПЭ трубы в основном вызываются либо воздействием грунта на газопровод, либо условиями подземной прокладки в неустойчивых грунтах. Наличие такого рода дефектов значительно увеличивает возможность развития более серьезных дефектов трубопровода, появление трещин с последующим разрушением. Однако, существует также вероятность возникновения дефектов механического воздействия таких как линейно-протяженных дефектов, характеризующихся значительной протяженностью – царапины, задиры [3], что вызывает возникновение значительного искривления поля напряжений в сечении трубопровода, с образованием концентрации напряжений в месте наличия дефекта.

Следующим распространенным видом дефектов ПЭ труб являются осевые отклонения, например, всплывшие участки трубопроводов.

На основании данных о зарегистрированных дефектах из информационных бюллетеней [4] была построена гистограмма распределения количества зарегистрированных дефектов по годам. Также была построена линия тренда, описывающая изменения количества зарегистрированных дефектов на рис. 1.



Рис. 1. Гистограмма распределения числа зарегистрированных дефектов по годам

По углу наклона линии тренда можно судить об отрицательной тенденции возникновения дефектов на полиэтиленовых газопроводах, а коэффициент корреляции равный 0,8 говорит о достоверности полученной линии тренда для описания изменения количества возникающих дефектов при эксплуатации полиэтиленовых газопроводов.

На основании анализа статистических данных была построена диаграмма соотношения (%) эксплуатационных дефектов разного типа, возникающих на ПЭ газопроводах рис. 2.

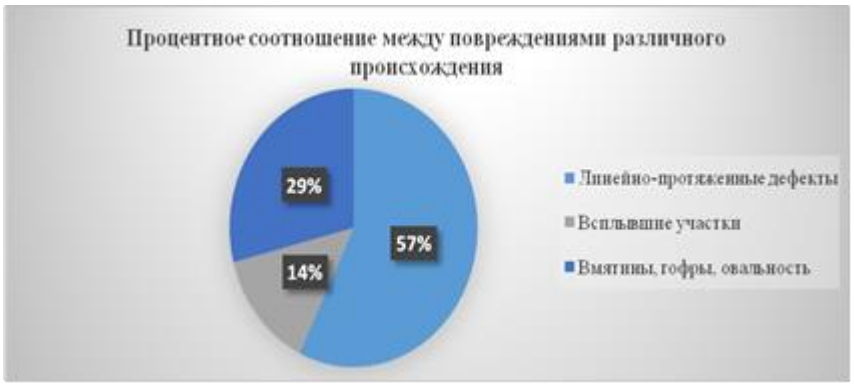


Рис. 2. Круговая диаграмма соотношения различных эксплуатационных дефектов

Согласно графику наибольший процент эксплуатационных дефектов относится к категории линейно-протяженных дефектов. Наличие таких дефектов значительно влияет на напряженно-деформированное состояние газопровода в процессе эксплуатации, что впоследствии может спровоцировать аварийное разрушение. Следующим по ранжированию является дефект геометрии стенки ПЭ трубы (29%) -для рассмотренного периода % дефектов геометрии от общего числа обнаруженных эксплуатационных дефектов лежит в промежутке от 14 до 50%. Как было сказано ранее, они не оказывают существенного влияния на поле напряжений в сечении трубопровода, однако ведет за собой возникновение необратимых пластических деформаций, которые в свою очередь ведут к потере прочности и устойчивости материала, и как следствие, также к разрушению газопровода.

Таким образом на основании собранной информации можно сделать вывод о том, что наиболее вероятным видом эксплуатационных дефектов является линейно-протяженные дефекты (царапины и задиры), оказывающие значительно влияние на поле напряжений трубопровода и влияющие на его безопасную эксплуатацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПАО «Газпром»: «Инструкция по оценке дефектов труб и соединительных деталей при ремонте и диагностировании магистральных газопроводов».
2. СП 42-103-2003Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов.
3. СТО 45167708-01-2007 Проектирование и строительство полиэтиленовых газопроводов давлением до 1,2 МПа и реконструкция изношенных газопроводов.
4. Интернет ресурс - https://ib.safety.ru («Архив информационных бюллетеней»).

РАЗРАБОТКА КОНТАКТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГТД

Н.В. Рузанов, М.А. Болотов, В.А. Печенин, Е. Р. Матэк
Научный руководитель: к.т.н. М.А. Болотов
Самарский университет,
Россия, г. Самара, Московское ш., 34, 443086
E-mail: n.v.ruzanov@ssau.ru

Лопатки компрессора являются наиболее массовой деталью газотурбинного двигателя. От точности их изготовления зависит надежность и экономичность всего двигателя, поэтому данные детали требуют особого контроля своих геометрических параметров[1]. Форма ключевых поверхностей лопатки компрессора позволяет отказаться от использования сложных универсальных измерительных машин и разработать специализированный прибор, предназначенный для измерения данных поверхностей, что позволит снизить стоимость процедуры контроля данных деталей[2]. Измерительные машины состоят из множества компонент, в данной работе рассматривается разработка одного из ключевых узлов измерительной машины – измерительного датчика. Разрабатываемый датчик планируется использовать в составе специализированного прибора для измерения геометрических параметров лопаток компрессора газотурбинного двигателя.

Для измерения формы поверхности лопатки широко используется контактный метод измерения. Данный метод основан на определении координат точки касания измеряемой поверхности и измерительного щупа, входящего в измерительный датчик. Вследствие давления со стороны измеряемой поверхности измерительный щуп отклоняется от своего начального положения. Задача измерительного датчика заключается в определении величины данного отклонения, что в дальнейшем позволяет определить указанную точку касания.

Основным измерительным элементом разрабатываемого измерительного датчика был взят тензорезистор. Устройство имеет малые геометрические размеры и обладает узким диапазоном допустимого изменения своих размеров[3], поэтому для увеличения диапазона допустимых отклонений измерительного щупа от положения покоя тензорезистор был наклеен на углепластиковую пластину. Измерительный щуп также находится на углепластиковой пластине, поэтому при возникновении давления на щуп происходит отгиб указанной пластины. Одновременно с деформацией пластины происходит изменение размеров тензорезистора, наклеенного на её участок. Сопротивление тензорезистора постоянно измеряется аналого-цифровым преобразователем и передается для дальнейшей обработки на персональном компьютере. Внешний вид разрабатываемого измерительного датчика представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид измерительного датчика

В ходе работы в системе ANSYS было создано несколько моделей измерительного датчика, проведено имитационное моделирование силового воздействия на измерительный щуп и проведен анализ возникающих деформаций углепластиковой пластины. На основе полученных результатов была выбрана модель измерительного датчика, позволяющая достичь наибольшей чувствительности устройства.

В результате тестирования датчика, созданного по полученной модели, было отмечено высокое влияние температуры окружающей среды на результаты измерения. Данное явление связано с высокой чувствительностью тензорезистора к температурному расширению. Для компенсации температурного воздействия был принят ряд мер:

1. Произведена замена кремниевого тензорезистора на тензорезистор на базе сульфида самария, обладающего меньшей зависимостью от температуры окружающей среды.
2. Изменена конструкция датчика - расположение основной конструкции датчика в пластиковом корпусе, защищающего её от колебаний воздуха.

Указанные меры позволили сделать изменение температуры датчика более плавным, что в свою очередь улучшило качество температурной компенсации результатов измерения, реализованной в программном обеспечении управления измерительным датчиком.

Также в ходе экспериментов было выявлено значительное влияние на результаты измерения вибраций площадки, на которой находится измерительный датчик. Для подвода площадки с измерительным датчиком к измеряемой поверхности используется шаговый двигатель. Дискретность вращения двигателя приводит к возникновению вибраций площадки в моменты её движения. Указанную зависимость в некоторой степени удалось компенсировать за счет добавления демпферного элемента из силикона и изменения алгоритма обработки данных.

Задачей измерительного датчика является определение величины смещения измерительного щупа. Для решения данной задачи на основе практических экспериментов была построена зависимость величины отклонения щупа от величины сопротивления тензорезистора (рис. 2). После получения указанной зависимости был изготовлен плоский эталонный элемент с углублениями заданной глубины, проведено измерение сопротивления тензорезистора в различных точках эталонного элемента и определено смещение измерительного щупа в измеренных точках (рис. 3).

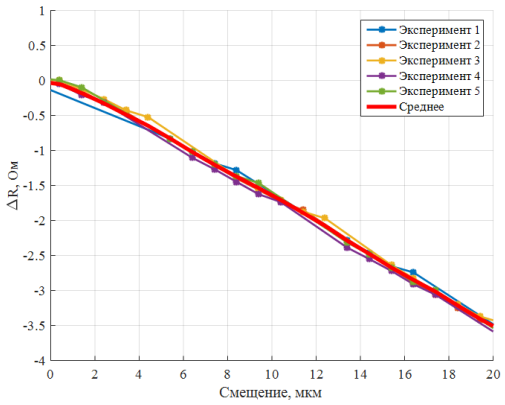


Рис. 2. Зависимость сопротивления тензорезистора от величины смещения измерительного щупа

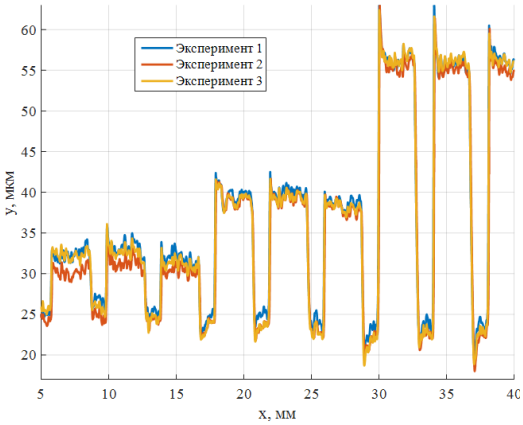


Рис. 3. Участок эталонного элемента с углублениями 8, 16 и 32 мкм

Анализ результатов измерения показал, что точность измерения параметров эталонного элемента составляет порядка 3-4 микрон, что сопоставимо с точностью других измерительных датчиков. Также высокая частота аналого-цифрового преобразователя сделала возможным достижение значительной скорости измерения, что позволяет построить модель измеряемой поверхности с большой точностью. Результаты работы показывают перспективность дальнейшей разработки измерительного датчика на основе тензорезистора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ermakov A.I., Shklovets A.O, Popov G.M., Kolmakova D.A. Investigation of the effect of the gas turbine compressor supports on gas flow circumferential nonuniformity // Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – V.9. – № 10. – PP. 684-690.
2. Bolotov M.A., Kapenkina E.A., Rusanov N.V., Pechenin V.A. Choice of production measuring instruments based on techno-economic analysis, taking into account the type I error and type II error // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2014. – V.9. – № 10. – PP. 1834-1841.
3. Park, J.-J., Kwon, K., Cho, N. Development of a coordinate measuring machine (CMM) touch probe using a multi-axis force sensor // Measurement Science and Technology. – 2006. – V. 17. –№ 9. – PP. 2380-2386

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА РОТОРНЫХ ДРОБИЛОК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЩЕБНЯ

к.т.н. З.М. Сатторов
Ташкентский архитектурно строительный институт, Республика Узбекистан

В дробилках ударного действия измельчение материала происходит при соударении кусков с рабочими органами (молотками, билами), а также с ограждающими элементами (отражательными плитами, колосниковыми решетками). Рабочий процесс дробилок ударного действия происходит следующим образом. Материал, подлежащий измельчению, загружается в дробилку сверху и, падая вниз, попадает под действие быстро вращающихся бил или молотков. В результате соударения куски разрушаются, разлетаясь в разные стороны, попадают на ограждающие элементы – колосники, отбойные плиты, где дополнительно измельчаются. Отражаясь от граждающих элементов, куски вновь попадают под действие рабочих органов. Такой процесс происходит многократно, пока измельченный куски не пройдут сквозь колосниковую решетку или разгрузочную щель. Разрушению при эксцентричном соударении куска с рабочим органом, благодаря чему в нем возникают растягивающие напряжения ($\sigma_p \approx 10$ *МПа*), превышающие предел прочности материала на растяжение.

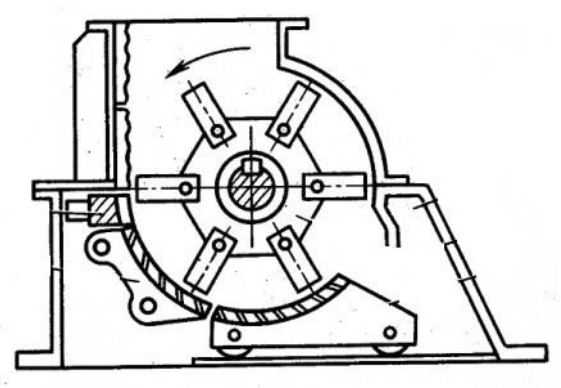


Рис. 1. Молотковая одноротерная дробилка СМ-170В

Современная молотковая одноротерная дробилка *СМ-170В* размером *1300×1600 мм*. Главное предназначение роторной дробилки, дробление хрупких материалов, прочность которых не превышает *120 МПа* (*рис. 1*). Возможно дробление влажных пород, при условии, что не будет замазывания колосниковых решеток. Положение колосниковых решеток и отбойной плиты можно регулировать.

При ударе била о кусок материала играет роль только относительная скорость обоих тел, поэтому мы можем рассматривать одно из тел как бы находящимся в покое и наблюдать движение только второго ударяющего тела. В момент касания обоих тел можно в точке соприкосновения их провести плоскость, касательную к обоим телам.

Прямая, перпендикулярная к этой плоскости и проходящая через точку соприкосновения тел, называется линией, или нормалью, удара. Если линия удара проходит через центр тяжести обоих тел, то удар называется центральным, в каждом другом случае – внецентренным.

При ударе двух тел нельзя тела считать абсолютно твердыми. При ударе различают два период. Первый период начинается с момент касания тел; происходит сплющивание касающихся поверхностей. К концу первого период сплющивание тел, следовательно, и сближение их достигает максимума, точки соприкосновения тел имеют одинаковую скорость. С этого момент начинается второй период, во время которого сплющивание исчезает или полностью, или частично. Этот период длится до момента расхождения тел.

Сила удара P действует в очень короткое время и возрастает до максимума в течение первого периода и падает до нуля во время второго периода.

Действия мгновенной силы измеряются ее импульсом:

$$I = \int_0^t P\,dt \ , \quad (1)$$

где t – время удара.

Обозначая скорости тел перед началом удара через υ_1 и υ_2 ,массы тел через m_1 и m_2, скорость тела в момент наибольшего взаимного давления через υ и, наконей, скорости к концу удара через υ'_1 и υ'_2 получим по закону количество движения

$$m_1 \upsilon_1 + m_2 \upsilon_2 = (m_1 + m_2)\,\upsilon = m_1 \upsilon_1 + m_2 \upsilon_2 \ . \quad (2)$$

В первый период удара $I_1 = m_1 (\upsilon_1 - \upsilon) = m_2(\upsilon - \upsilon_2)$ (3)

Во второй период удара $I_2 = m_1 (\upsilon - \upsilon_1) = m_2(\upsilon_2 - \upsilon)$ (4)

Частное $k_y = I_2 / I_1$ называется коэффициентом удара; его величина зависит от свойств тел. Предельные значения коэффициента удара: для совершенно неупругих тел $k_y = 0$ и для удара вполне упругог $k_y = 1$. Полный импульс за все время удара равен $I = m_1 m_2 \cdot(\upsilon_1 - \upsilon_2)\cdot(1+k_y) / m_1 + m_2$ (5)

Потерянная при ударе кинетическая энергия, равная величине удара, определяется по формуле

$T_1 - T_2 = m_1 m_2 \cdot(\upsilon_1 - \upsilon_2)^2 \cdot (1+k^2_y) / 2(m_1 + m_2)$ (6)

Потерянная ударяющим телом кинетическая энергия расходуется на разрушение куска материала. Принимая, что работа разрушения равна $A_{разр.} = \sigma^2 V / 2E$, (6)

получим, что для разрушения куска материала должно быть соблюдено условие

$$T_1 - T_2 \geq \sigma^2 V / 2E \, . \quad (7)$$

Скорость, при которой начинается разрушение, может быть определена следующим образом.

Кинетическая энергия удара должна быть больше энергии, затрачиваемой на измельчение материала, а именно, $G / g \cdot \upsilon^2_{разр.} / 2 \cdot(1-\xi^2) \geq \sigma^2 V / 2E$, (8)

где G – сила тяжести разрушаемой частицы, *н*; g – ускорение силы тяжести, *м/сек*^{2}; $\upsilon_{разр.}$ – скорость разрушения, *м/сек*; ξ – коэффициент восстановления; V – объем частицы, *м*^{3}. $\upsilon_{р.} \leq \sigma \sqrt{g V / E G (1-\xi^2)}$ *м/сек*^{2} , (9)

Так, для разрушения куска материала с условным диаметром *1,3 м* при $\sigma = 250 \cdot 10^6$ *н/м*^{2}, $E = 6{,}9 \cdot 10^{10}$ *н/м*^{2}, и $\xi = 0{,}5$; $G = V / \rho$ (ρ – объемная масса материала); $\upsilon_{р.} \geq 6{,}9$ *м/сек*.

Обычно окружная скорость молотка принимается в зависимости от производительности в пределах *20-70 м/сек.* Производительность дробилок по готовому продукту зависит от того, как происходит питание дробилки материалом. По мере увеличения подаваемого в дробилку материала все большее количество его задерживается у поверхности, образуемой движущими билами ротора, и, наконец, над поверхностью ротора образуется скопление материала с плотностью, близкой к насыпной объемной массе. Этот материал под действием сил тяжести проникает в зону действия бил на некоторую глубину h, срезается билами и измельчается.

Каждое било выносит из зоны порцию материала объемом $V = ABh$, (10)

где A – горизонтальная проекция рабочей дуги ротора; B – длина ротора.

В общем виде максимальная производительность дробилки определяется по формуле $Q_{мак.} = k_{пр.} ABhnz$ *м*^{3}*/сек,* (11)

где $k_{пр}$ – коэффициент пропорциональности, зависящий от прочности материала, разрыхления материала в объеме ABh, ширины выходной щели, крупности поступающих в дробилку кусков материала, положения отбойной плиты, формы и размера бил; n – число оборотов ротора, *сек*; z – число бил.

В качестве вывода можно сказать, что при производстве щебня требуется расчеты основные показатели роторных дробилок, как определение производительности, действия мгновенной силы, скорости тел и кинетическая энергия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Недорезов И.А., Савельев А.Г. Машины строительного производства. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана Н.Э., 2010. – 119 с.
2. Борщевский А.А., Ильин А.С. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий. – М.: Высшая школа, 1987. – 366 с.

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КОНСТРУИРОВАНИЯ МАЛЫХ СПУТНИКОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И МЕТОДОВ ИХ УПРАВЛЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЦЕЛЕВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

С. Л. Сафронов, И. С. Ткаченко, С. С. Волгин
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
E-mail: saf_kos@mail.ru

В связи с усложнением задач, решаемых малыми космическими аппаратами (МКА), и увеличением требуемых сроков их активного существования, возникают проблемы обеспечения надежности безотказной работы аппаратуры в частности и всего изделия в целом. Для решения указанных проблем требуется развитие технологий проектирования, конструирования и управления.

Развитие технологий проектирования и конструирования возможно по различным направлениям. В основе одного из направлений лежит принцип комплексирования, который заключается в объединении элементов (конструктивных, электротехнических) в систему для получения более высоких (чем у отдельных элементов) показателей производительности и надёжности. В рамках данного направления в работе созданы модели разных технических аспектов, каждая из которых содержит параметры всех участвующих составных частей спутника: модель силового нагружения, теплового баланса, технологической схемы и монтажа, целевого функционала и модели формирования и выполнения проектно-конструкторских требований.

Разработаны и развиваются алгоритмы функционирования бортовых систем, параллельно работающие в автоматизированном режиме на создаваемом имитационном комплексе. Например, силовая модель спутника содержит не только параметры всех корпусов приборов и кабельной сети, но и учитывает теплофизические процессы и динамику движения подвижных частей на всех этапах жизненного цикла (в том числе при выполнении целевых маневров съемки), является частью технологической и функциональной модели. При этом, практически каждый прибор становится элементом, без которого невозможно выполнение требований ни по одному из вышеуказанных аспектов.

Внедрение разрабатываемых методов позволяет снизить массу конструкции МКА на 11…23 % (в зависимости от бортового состава) за счет комплексирования бортовой аппаратуры в конструктивно-силовую схему МКА, повысить точность определения плановых координат объектов (за счет стабильности мест установки чувствительных элементов системы управления движения не хуже 5″), снизить энергопотребление системы электропитания (на 14…19 %), системы терморегулирования (на 50…70 %) и системы управления движением (на 10…12 %). При этом, надежность выполнения целевой задачи зондирования также повышается за счет оптимизации температурных условий работы модулей бортовой обеспечивающей и оптико-электронной целевой аппаратуры, что подтверждено моделированием.

Создание бортового программного обеспечения по комплексированию функций приборов и систем позволяет повысить живучесть и продлить срок активного существования МКА путем перераспределения функций между исправными приборами и реализации новой логики работы:

- передача функций решателя из процессора бортового комплекса управления (БКУ) элементам управления служебными системами – при отказе БКУ;
- использование канала целевой информации для передачи в наземный комплекс управления служебной информации – при отказе канала командной радиолинии «борт-Земля»;
- определение ориентации с использованием значений токов с панелей солнечных батарей – при отказе солнечного датчика;
- использование энергетических возможностей двигательной установки малой тяги для перевода МКА на рабочую орбиту – при отказе маршевой двигательной установки;
- и др.

При любом из возможных случаев перераспределения функций, эффективность работы прибора, получившего дополнительную функцию, либо другой системы, находящегося в одном

информационном контуре с данным прибором, падает, однако выполнение целевой задачи продолжается.

В работе также рассмотрено другое направление, связанное с повышением живучести МКА.

Опыт показывает, что в процессе эксплуатации на борту МКА возникают разнообразные нештатные ситуации. Для их устранения необходимо предусматривать комплекс специальных систем и мероприятий, которые в совокупности образуют систему управления живучестью МКА. В свою очередь обеспечение живучести связывается с повышением надежности работы систем.

Регулярно проводимый анализ работоспособности бортовой аппаратуры (БА) МКА «АИСТ» позволяет проводить уточнение и дополнение методик выхода из аномальных ситуаций (АС), созданных разработчиком БА. Примером такого уточнения является доработанный алгоритм действий оператора НКУ при возникновении отказа модуля работы с цифровыми телеметрическими датчиками, представленный на рисунке 1.

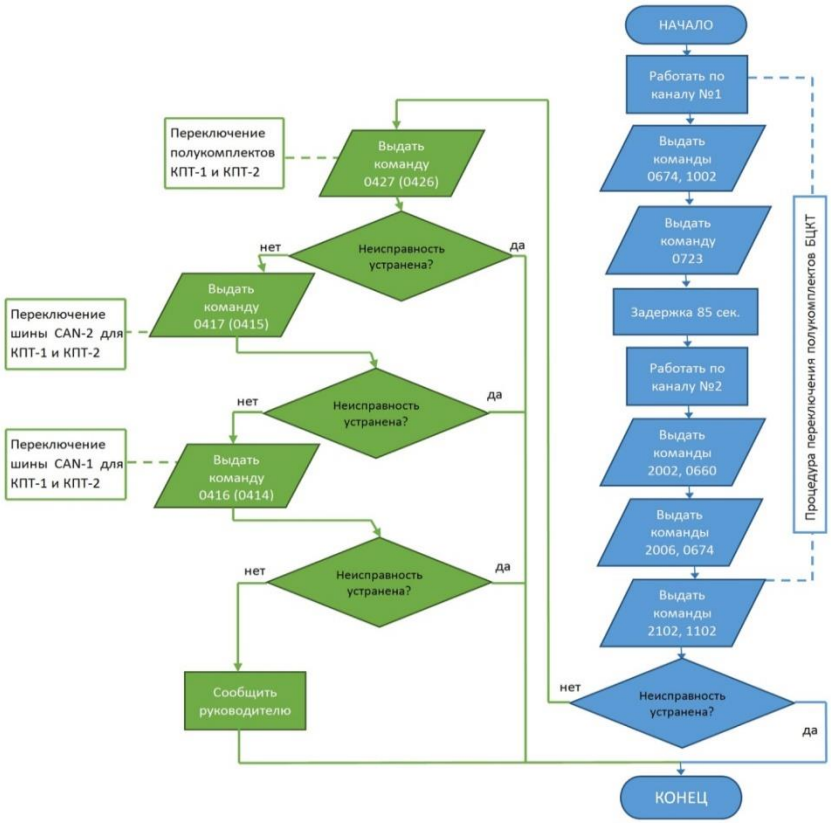


Рис. 1. Уточненный алгоритм парирования АС

В работе разработаны деревья отказов, уточнены штатные алгоритмы парирования АС, позволившие повысить срок активного существования работающих МКА, как одного из целевые показателей эффективности, а также составлены рекомендации по улучшению бортовой аппаратуры МКА «АИСТ-2Д».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛА В МЕТАЛЛИЗАЦИИ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ

Р.В. Тарновский, А.А. Дитц
Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.М. Погребенков
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: tarnovskiy@tpu.ru

Введение

Одним из перспективных направлений в электронике и электротехнике является производство высокотеплопроводных материалов и изделий на основе нитрида алюминия. Нитрид алюминия обладает рядом уникальных свойств по сравнению с другими материалами, применяемыми в микроэлектронике [1]. Применение нитрида алюминия в качестве основы при изготовлении мощных светодиодов требует нанесение на него токопроводящих паст. Разработанные в большом количестве проводниковые низкотемпературные серебросодержащие пасты рассчитаны на оксидные материалы, и поэтому имеют низкую адгезию к нитриду. Увеличить адгезию металлизационных паст к нитриду алюминия можно за счет введения в их состав стеклосвязки [2], которая бы хорошо смачивала нитрид алюминия при низких температурах.

Цель данной работы: разработать состав стеклосвязки, смачивающий нитрид алюминия при температурах до 1000 °С.

Эксперимент

В работе были использованы образцы в виде дисков из нитрида алюминия, подверженные шлифованию и очистке. Для определения угла смачивания была собрана установка, принципиальная схема которой представлена на рис. 1.

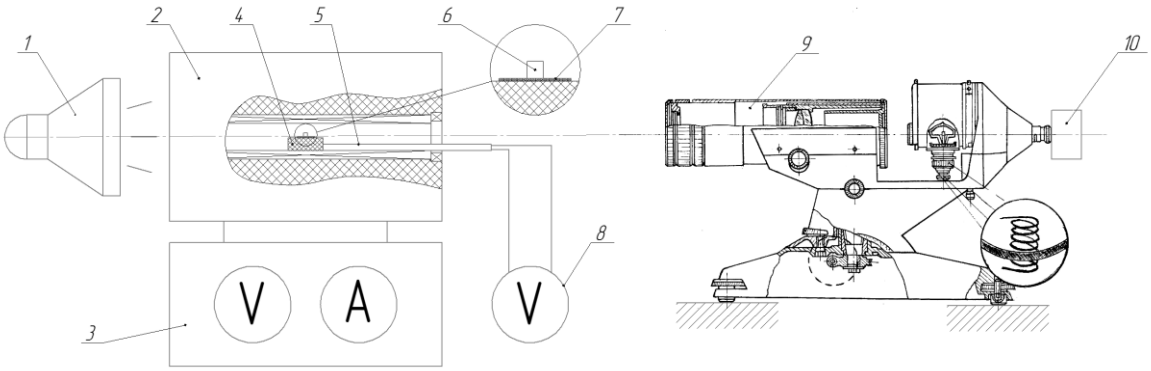


Рис. 1. Принципиальная схема установки

Установка состоит из: 1 осветительной системы; 2 – трубчатой печи с регулируемой скоростью нагрева; 3 – системы контроля и управления нагревом; 4 – подставки для образцов; 5, 8 – термопары для контроля температуры образца; 6 – образца стекла; 7 – подложки (диска) из AlN; 9 – оптической системы; 10 – цифровой камеры с выводом изображения на дисплей компьютера.

Для работы были выбраны составы стёкол в системе B_2O_3-SiO_2-Na_2O, обеспечивающие низкие температуры варки и размягчения.

Стёкла выбранных составов варились, измельчались и прессовались в виде цилиндров диаметром 3 мм, высотой 5-6 мм. После установки образца в печи ее начинали греть со скоростью от 7 до 10 °С/мин. При достижении температуры 600 °С образец начинали фотографировать через каждые 10 °С. Обработку снимков вели в программном обеспечении поставляемом с цифровой камерой «Микро-Анализ Pro».

На рисунках 2 представлены фотографии образца при разной температуре.

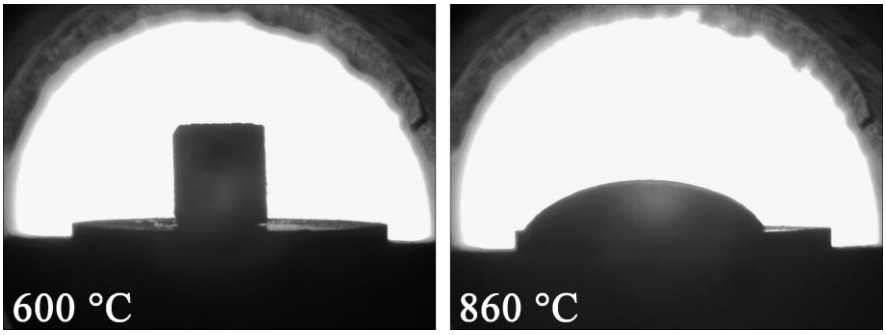


Рис. 2. Фотографии образцов стекла состава «г» при температурах 600 и 860 °C

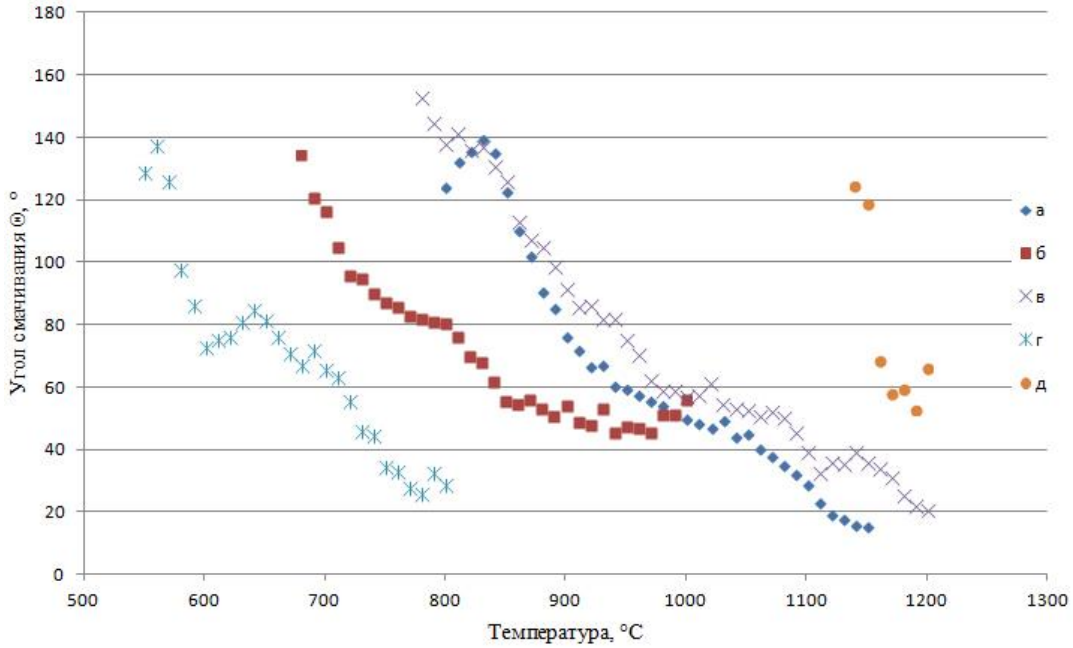


Рис. 3. Зависимость угла смачивания нитрида алюминия от температуры

На рис. 3 представлены графики зависимостей угла смачивания шлифованных образцов нитрида алюминия от температуры.

Выводы

Как видно из опытных данных, представленных на рис. 3, при наименьших температурах нитрид алюминия начинают смачивать стёкла составов «г» и «б», содержащие свинец и ванадий соответственно. Эти стёкла могут подойти для металлизационных паст на основе серебра, вжигаемых при температурах 800-920 °C. Стекло состава «д», начинает смачивать нитрид алюминия лишь при температурах порядка 1150 °C и в перспективе, возможно, может быть использовано в молибден-марганцевых металлизационных пастах, вжигаемых при температурах 1200-1300 °C.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косолапов А.А., Дитц А.А., Ревва И.Б., В.М. Погребенков В.М. Высокотеплопроводные материалы полученные методом прессования. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 5 с.
2. Макаров Н.А. Металлизация керамики: Учебное пособие. М. РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2004. – 76 с.
3. Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. М «Химия», 1976. – 232 с.

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ БИНАРНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗНОЙ МАТРИЦЫ

А.В. Филонович, И.В. Ворначева, Е.А. Филатов, И.А. Макарова
Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.Н. Гадалов
Юго-Западный государственный университет,
Россия, г. Курск, ул. 50 лет октября, д.94, 305040
E-mail: vornairina2008@yandex.ru

Представлены исследования повышения износостойкости электролитических бинарных сплавов на основе железной матрицы.

Широкое применение различных методов нанесения покрытий на металлические поверхности, наблюдаемое в последнее время, революционизирует различные отрасли машиностроения и другие области техники.

Для легирования электролитического железа применяются различные добавки. Многочисленные исследования [1] указывают на то, что при легировании Mo, W и P [2-4] электролитического железа получаются сплавы с высокими физико-механическими свойствами. Детальное решение вопроса повышения износостойкости будет способствовать получению электролитических покрытий высокого качества для упрочнения и восстановления деталей машин.

Исследование физико-механических свойств и процесса получения электроосажденных сплавов проводилось по методике поэтапного определения оптимальных параметров. Современное состояние теории трения и износа позволяет при испытаниях прогнозировать износостойкость покрытий, исходя из их физико-механических свойств.

Для определения условий электролиза, обеспечивающих получение износостойких железо-молибденовых и железо-вольфрамовых покрытий, применялась методика планирования экспериментов. Обработка результатов экспериментов производилась путем группировки данных по значениям каждого фактора.

На основе результатов исследования процесса получения сплавов установлено следующее. Износ электролитических железо-молибденовых покрытий находится в сложной функциональной зависимости между условиями и режимами электролиза (1):

$$И = f(\beta, Д_к, C_{л.к.}, C_л, pH, t), \quad (1)$$

где β – показатель асимметрии; $Д_к$ – плотность тока, А/дм^2; $C_{л.с.}$ – концентрация легирующей соли, кг/м^3; $C_л$ – концентрация лимонной кислоты, кг/м^3; pH – кислотность электролита; t – температура электролита, ^{0}С.

В результате обработки которых была получена формула для определения величины износа легированных покрытий (2):

$$\varepsilon = \frac{C_л \cdot t \cdot pH}{C_л \cdot t \cdot pH \cdot (4{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot t^2) + pH \cdot (1{,}29 C_л + pH^2) + 3{,}9 t \cdot C_л} \times$$

$$\times \frac{12{,}76 \beta \cdot Д_к \cdot C_0}{10^{-8} \cdot (327 + \beta^3) \cdot (1{,}35 \cdot 10^5 + Д_к^3) \cdot (1{,}41 + C_{Mo}^3)}. \quad (2)$$

Основное влияние на износ покрытий оказывает содержание молибдена в покрытии. Увеличение содержания молибдена до (1,0…1,5) % позволило уменьшить износ образцов почти в три раза. При содержании Mo выше оптимальных значений износ покрытий увеличивается.

Наиболее износостойкие железо-молибденовые покрытия получены при следующих условиях электроосаждения: показатель асимметрии – 6, катодная плотность тока – 40 А/дм^2, температура электролита – 40 ^{0}С, кислотность электролита pH – (0,8…1,0), концентрация лимонной кислоты – 4,5 кг/м^3; концентрация молибдата аммония – (0,6…1,0) кг/м^3; концентрация хлорида железа (350…400) кг/м^3 [3].

Оптимальные условия для железо-вольфрамовых покрытий следующие: хлорид железа – 300 кг/м^3; натрий вольфрамово-кислый – 4 кг/м^3; лимонная кислота – 8 кг/м^3, температура электролита – 40 ^{0}С, кислотность электролита pH – 1,0, плотность тока 30 А/дм^2 [4].

Результаты сравнительных испытаний на износ показали, что износостойкость железо-молибденовых покрытий к стали 45 составила 176 % при трении в паре с чугуном и 194 % – с бронзой.

Износостойкость железо-вольфрамовых покрытий на 72% выше износостойкости закаленной стали 45 при трении с чугуном и на 85% – при трении с бронзой.

При трении без смазки железо-молибденовые и железо-вольфрамовые покрытия превосходят износостойкость железных покрытий в (1,87…1,95) раза.

Металлографические исследования показали, что электролитические железо-молибденовые и железо-вольфрамовые покрытия имеют ярко выраженную слоистую структуру. Толщина слоя достигает нескольких десятков и даже сотен микрометров.

Причиной образования слоистой структуры покрытий, по-видимому, является периодическое защелачивание прикатодного пространства и, соответственно, периодическая кристаллизация гидрооксида железа.

Термообработка сплавов до температуры 673 К приводит к практическому исчезновению слоистости, но на микротвердость покрытий заметного влияния не оказывает.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гадалов, В.Н. Химико-термическая, электрофизическая обработка металлов, сплавов и гальванических покрытий [Текст] / В.Н. Гадалов, В.Р. Петренко, В.В. Пешков, С.Ф. Сафонов // М.: АРГАМАК-МЕДИА. 2013. 320 с. – (Научное сообщество).
2. Способ электролитического осаждения сплава железо-фосфор / В.И. Серебровский, Л.Н. Серебровская, Н.В. Коняев [и др.] // Патент на изобретение № 2164560, 2001. 6 с.
3. Способ электролитического осаждения сплава железо-молибден / В.И. Серебровский и др. // Патент на изобретение № 2174163, 2001. 6 с.
4. Способ электролитического осаждения сплава железо-вольфрам / В.И. Серебровский и др. // Патент на изобретение № 2192509. 2002. 6 с.

ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ ГЛУБИННО-НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ СКВАЖИНЕ

Д.А. Фомин, А.Е. Антипов, Д.Г. Лапин
Научный руководитель: профессор, д.т.н. Н.Г. Квеско
Сибирский Федеральный Университет,
Россия, г. Красноярск
E-mail: fomindanila1992@gmail.com

Важность борьбы с коррозией подтверждается колоссальными убытками, которые несут предприятия за счет стоимости изделий и необходимости осуществления восстановительных мероприятий. Если говорить о добычи нефти, то сюда же можно отнести повреждения механизмов ЭЦН, вынужденные простои скважин, потери добычи, а также сбои системы разработки месторождений.

В данной работе проведен анализ коррозийного фонда нефтегазового месторождения и рассмотрен применяемый метод защиты от коррозии оборудования в скважинах. Выявлен эффективный метод расчета для защиты от коррозии глубинно-насосного оборудования скважины.

Наиболее приемлемым и экономически оправданным способом защиты является химический метод – ингибиторная защита. Достоинствами метода являются достаточно высокая эффективность, возможность применения без изменения технологии процессов добычи, сбора, транспорта и подготовки нефти, простое аппаратурное обеспечение.

В ходе анализа было выявлено, рационализация ресурсов ингибиторной защиты скважинного оборудования на нефтегазовом месторождении заключается в подборе дозировок закачки ингибиторов коррозии. По результатам ОПИ это приведет к снижению отказов, увеличению НнО, МРП, экономическим результатам.

На исследуемом месторождении применяется гравиметрический метод мониторинга коррозии. Для прогнозирования технического состояния ГНО, ЭЦН, НКТ на разных стадиях их эксплуатации и обеспечения оптимального управления надежностью, в скважины, с высокой обводненностью и степенью минерализации скважинной продукции, большим дебитом, содержанием агрессивных компонентов, применяют опытные образцы и эталон (специально изготовленные пластины из материала аналогичного материалу трубы НКТ, спущенной в скважину). По истечении месячной или квартальной экспозиции в эксплуатируемой скважине испытуемый образец извлекают и сравнивают (визуальное, физическое) состояние опытного образца с эталоном. На основании результатов полученных после процедур очистки и взвешивания испытуемого образца судят о скорости коррозии и влиянии скважинных условий на подземное оборудование.

Нами разработан зонд, адаптированный для установки на фонтанной арматуре. Использование зонда позволяет устанавливать и извлекать УКК без остановки УЭЦН.

На рисунке 1 изображена конструкция зонда ОСК.

В ходе проведения ОПИ на нефтегазовом месторождении, с использованием ОСК, в средах добываемой жидкости пластов была разработана формула оптимальной дозировки ингибитора коррозии, закачиваемого в скважину насосами УДР и БДР:

$$Qик = Qж \times d \times T/1000$$

где Qик – кол-во ингибитора для закачки, кг/сут, Qж – дебит скважин м3/сут, d – дозировка ингибитора, г/м3, T – периодичность закачки, сут.

Проведенные исследования имеют практическую значимость. Применение зонда позволяет корректировать дозировку и усиливать защиту ГНО скважин и целостность нефтепровода от коррозии.

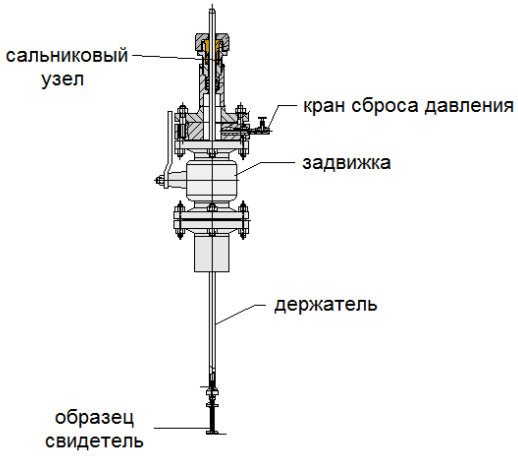


Рис. 1. Зонд ОСК

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розенфельд И.Л. Ингибиторы коррозии – М.: Химия, 1977. – 352 с.
2. Латыпов О.Р., Бугай Д.Е. Ингибиторы коррозии в нефтегазовой промышленности – Уфа: Издательство УГНТУ, 2013. – 74 с.
3. Хадерсбах Р. Защита от коррозии и металловедение оборудования для добычи нефти и газа – СПб: Профессия, 2015 – 416 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПАДА АУСТЕНИТА В ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЯХ

Ю.В. Якубович, Р.Н. Фисенко
Научный руководитель: старший преподаватель, к.т.н. Н.В. Визгавлюст
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: yakubovich.yuliya@yandex.ru

Введение. Стали аустенитного класса находят широкое применение в энергетике [1]. Считается, что они не обладают и не должны обладать магнитными свойствами [2]. Часто их называют «нержавеющими» [3]. Однако эксплуатация изделий из этих сталей показывает, что они разрушаются в основном из-за коррозионных процессов [2−5]. Таким образом, представляется достаточно актуальным изучение процессов, протекающих в этих материалах.

Цель работы. Поиск возможных причин коррозионных разрушений аустенитных сталей в процессе эксплуатации являлся целью данной работы.

Задача работы. Цель работы определила ее задачу – изучение влияния долговременного естественного старения исследуемых материалов на их фазовый состав, магнитные свойства и перераспределение легирующих компонентов по объему изделий.

Подготовка образцов. Для исследований были выбраны различные неэксплуатировшиеся изделия, выполненные из аустенитных сталей и имеющие разный возраст (таблица 1). Предполагаемая марка стали (таблица 1) определялась с помощью [1] и рентгенофлюоресцентного анализатора SKYRAY EDX 2800.

Таблица 1. Краткая характеристика исследуемых образцов

№ образца	Предполагаемый возраст, лет (условная возрастная характеристика)	Изделие, из которого вырезан образец	Предполагаемая марка стали (в скобках возможные дополнительные варианты марок стали)
1	25-45 (старый)	Пластина (толщина 15 мм)	12Х18Н9Т
2	30-50 (старый)	Труба (∅ 45×2 мм)	12Х18Н9Т (12Х18Н10Т)
3	30-50 (старый)	Труба (∅ 45×4 мм)	12Х18Н9Т (12Х18Н10Т)
4	30-50 (старый)	Труба (∅ 60×7 мм)	12Х18Н9Т (12Х18Н10Т)
5	2-3 (молодой)	Труба (∅ 32×5 мм)	12Х18Н9Т
6	30-50 (старый)	Труба (∅ 50×2,5 мм)	12Х18Н9Т
7	40-50 (старый)	Пруток (∅ 8 мм)	12Х18Н9Т
8	35-50 (старый)	Труба (∅ 34×5 мм)	12Х18Н9Т (12Х18Н10Т)
9	3-5 (молодой)	Пластина (толщина 4 мм)	08Х18Н10Т (12Х18Н9)
10	1-3 (молодой)	Пластина (толщина 3,9 мм)	12Х18Н9Т
11	35-50 (старый)	Труба (∅ 32×3 мм)	12Х18Н10Т (08Х18Н10Т)
12	35-50 (старый)	Труба (∅ 18×2 мм)	12Х18Н10Т (08Х18Н10Т)
13	35-50 (старый)	Пруток (∅ 8 мм)	12Х18Н9Т

Методика эксперимента. Рентгенофазовый анализ проводился с помощью рентгеновского дифрактометра ((λCuKα; $\lambda_{ср}$ = 1,54178 Å), элементный анализ − на приборе SKYRAY EDX 2800) в нескольких точках (4-х или 6-ти) на каждом образце. Концентрация фаз (в случае, когда обнаруживалось, что их несколько) в составе исследованных образцов (C, %) оценивалась по интенсивности дифракционных максимумов.

Для определения магнитных свойств использовались ферритовый (относительно слабый) и редкоземельный (неодим-железо-бор; сильный) постоянные магниты.

Экспериментальные данные. При проведении элементного анализа обнаружена весьма существенная неоднородность элементного состава. Результаты РФА и экспериментов с магнитами представлены в таблице 2.

Таблица 2. Экспериментальные результаты

№ образца	Оценочное значение концентраций фаз *C*, %		Магнитные свойства	
	γ-Fe	α-Fe	Ферритовый магнит	Редкоземельный магнит
1	39,49	60,51	сильные	очень сильные
2	41,29	58,71	почти не проявляются	слабые
3	33,72	66,28	почти не проявляются	слабые
4	18,38	81,62	слабые	сильные
5	69,49	30,51	сильные	очень сильные
6	46,77	53,23	слабые	сильные
7	31,03	68,97	очень слабые	сильные
8	68,2	31,8	почти не проявляются	сильные
9	39,09	60,91	слабые	сильные
10	100	0	слабые	сильные
11	100	0	почти не проявляются	слабые
12	64,39	35,61	очень слабые	слабые
13	47,01	52,99	слабые	сильные

Выводы. По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Можно предположить, что обнаруженная существенная неоднородность элементного состава должна сказываться негативно на эксплуатационной надежности исследуемых изделий.
2. Абсолютно все образцы обладают магнитными свойствами (в т. ч. однофазные).
3. В большинстве исследуемых образцов обнаружена двухфазная (γ-Fe + α-Fe) структура (при этом степь распада аустенита различная), которая предположительно определяет склонность исследуемых сталей к межкристаллитной коррозии.
4. Распад аустенита (γ-Fe) при естественном старении может быть спровоцирован растягивающими напряжениями, которые в результате этого распада могут уменьшаться, так как атомы в решетке α-Fe занимают больший объем (при этом распад γ-Fe должен замедлиться или прекратиться (таблица 2) до появления новых напряжений). Создание сжимающих напряжений в исследуемых материалах может способствовать значительному снижению их склонности к межкристаллитному растрескиванию [4, 6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Масленков С.Б., Масленкова Е.А. Стали и сплавы для высоких температур: Справ.изд. В 2-х кн. Кн. 1. – М.: Металлургия, 1991. – 383 с.
2. Сталь 08Х18Н10Т. Характеристики и применение. [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://specural.com. – 18.04.17
3. Филякин Г.В., Шамардин В.К., Гончаренко Ю.Д. Коррозионное повреждение стали Х18Н9Т после 25 лет эксплуатации в пароводяной среде кипящего реактора ВК-50 // Атомная энергия. – 2006. − Т. 100. − Вып. 1. − С. 31–35.
4. Карзов Г.П. Проблемы и перспективы применения конструкционных материалов для горизонтальных парогенераторов // Теплоэнергетика. − 2011. – № 3. – С. 22–26.
5. Резинских В.Ф., Школьникова Б.Э. Перспективные стали для пароперегревателей котлов СКД // Теплоэнергетика. − 2000. – № 10. – С. 39–43.
6. Карась В.П. Внедрение новой техники и технологий при ремонте оборудования и трубопроводов АЭС // Росэнергоатом. − 2010. – № 8. – С. 26–29.

СЕКЦИЯ 6

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

А.В. Агаповичев, А.Г. Князева, В.Г. Смелов
Научный руководитель: доцент, к.т.н. В.Г. Смелов
Самарский университет,
Россия, г. Самара, Московское шоссе 34, 443086
E-mail: agapovichev5@mail.ru

Для экономии материальных и временных ресурсов на проектирование, освоение и изготовление изделий перспективным является использование новых технологических процессов как в заготовительном, так и в основном производстве [1].

Технология селективного лазерного сплавления (СЛС) позволяет изготавливать детали из металлических порошков нержавеющих сталей, инструментальных сталей, алюминиевых и титановых сплавов, инконелей, кобальт-хрома и др. В технологии СЛС используется лазер высокой мощности для расплавления тонкого слоя порошка в соответствии с 3D моделью [2]. Метод СЛС является перспективным методом для изготовления деталей из материалов, обработка которых традиционными методами сложна и очень затратна. В настоящее время СЛС является уникальной технологий для изготовления объектов сложной формы в том числе и сетчатой структуры [3].

Основными технологическими параметрами технологии СЛС, определяющими качество сплавляемого материала, являются гранулометрический и химический состав исходных металлических порошков, а также параметры лазерной обработки материала (мощность лазерного излучения, скорость сканирования, диметр лазерного пятна и т.д.). От правильного выбора параметров лазерной обработки зависят механические и прочностные свойства получаемых изделий. Использование оптимальных параметров лазерной обработки позволяет изготавливать детали с заданными механическими и повышенными прочностными свойствами.

Так, например, при использовании режимов с высокой мощностью лазерного излучения и низкой скоростью сканирования, на материал будет подаваться избыточное количество теплоты, и плавление материала будет происходить в режиме, который называется «замочной скважиной». При этом режиме, который используется при лазерной сварки, лазерный луч локально создает температуру достаточную для испарения материала. Давление испарения, создаваемое в материале, создает капилляр с диаметром примерно в 1.5 раза больше, чем фокус лазерного луча. Расплавленный металл протекает вокруг парового капилляра и застывает на обратной стороне. Такой тип расплавленного бассейна очень неустойчив и может разрушаться сам по себе, часто захватывая газ внутрь бассейна расплава. Образовавшиеся поры залегают на столько глубоко, что сплавление следующего слоя или даже повторная переплавка текущего не сможет удалить эти поры [4].

Использование низкой мощности лазерного излучения совместно с высокой скоростью сканирования может не обеспечить достаточной энергии для полного расплавления порошка. Когда мощность лазерного излучения в высокоскоростном режиме достаточно высока чтобы полностью расплавить металлический порошок, существует вероятность того, что сильно вытянутый бассейн расплава будет разбит на более мелкие бассейны расплава.

Путем определения оптимального сочетания значений скорости сканирования и мощности лазерного излучения можно получить стабильный бассейн расплава. Стабильный бассейн расплава может быть достигнут при различных сочетаниях мощности лазерного излучения и скорости сканирования.

На сегодняшний день определение оптимальных параметров обработки осуществляется экспериментально, путем изготовления специальных образцов, проведением механических испытаний и исследованием структуры полученного материала. Проведение экспериментальных исследований в области селективного лазерного сплавления требует больших материальных и временных затрат,

поэтому для решения задач выбора и назначения необходимых параметров лазерной обработки большое значение приобретает математическое моделирование.

Математическое моделирование позволяет осуществить правильный выбор параметров лазерной обработки. Однако моделирование процесса селективного лазерного сплавления порошков металлов представляет серьезные трудности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Agapovichev A.V., Balaykin A.V. and Smelov V.G. Production technology of the internal combustion engine crankcase using additive technologies // Modern Applied Science. – 2015. – T. 9.– C. 335–343.
2. Gu D.D., Meiners W., Wissenbach,K. and Poprawe R. Laser additive manufacturing of metallic components: Materials, processes and mechanisms // International Materials Reviews. – 2012. – T. 57. – № 3. – C. 133–164.
3. Simchi A. Direct laser sintering of metal powders: Mechanism, kinetics and microstructural features // Materials Science and Engineering: A. – 2006. – T. 428. – C. 148–158.
4. Qiu C., Adkins N. J. E., Hassanin H., Attallah M. M. and Essa K. In-situ shelling via selective laser melting: Modelling and microstructural characterisation // Materials & Design. – 2015. – T. 87. – C. 845–853.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ТОЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

М.Н. Боголюбова, А.И. Афонасов, Д.Э. Шавдуров, В.Н. Козлов
Научный руководитель: доцент, к.т.н. Боголюбова М.Н.
Национальный исследовательский Томский политехнический институт
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: shavdurov@yandex.ru

Жаропрочные сплавы на никелевой основе такие, как ЭИ 698 широко применяются при изготовлении деталей машин и приборов, работающих при высоких температурах порядка 700-950 °С. Сплав ЭИ 698 обладает высокой удельной прочностью, антикоррозионной стойкостью, малой пластичностью, малой теплопроводностью, склонностью к налипанию и наклепу и др., что обуславливает повышенную трудоемкость и специфику его обработки.

Вместе с тем, проведенные испытания показывают, что характеристики стойкости инструмента не удовлетворяют современным требованиям назначения режимов резания при производстве деталей из жаропрочных сплавов и приводят к необходимости более тщательного изучения этого вопроса [1,2].

Задачей исследования является определение параметров режимов резания, оптимизирующих значения определенных критериев эффективности таких, как производительность, себестоимость, стойкость инструмента при различных вариантах исходных технологических параметров.

Методика исследования заключаются в математическом моделировании, разработке программно-математического обеспечения ЭВМ, использовании численных методов решения задачи оптимизации процесса обработки деталей из жаропрочных сплавов типа ЭИ 698 и экспериментальной проверке с целью идентификации полученных результатов исследования в производственных условиях.

На Рис. 1 приведены графические зависимости влияния скорости резания V на основные характеристики процесса резания P=f(v), T=f(v), C= f(v).

Анализ показал, что в широком диапазоне изменения скорости резания V существуют экстремальные значения – минимум себестоимости (C) и максимум производительности (P). При этом влияние скорости резания на эти показатели неоднозначно. Скорость V существенно отличается для их экстремальных значений Cmin и Pmax. Для оптимизации режима резания необходимо исследовать интервал изменения скорости резания в пределах от Vc_{min} до Vp_{max}.

Была разработана математическая модель и алгоритм оптимизации, отражающие взаимосвязь параметров режимов резания с такими критериями качества, как производительность, себестоимость и др.; формализованное представление исходной и выходной информации с визуальным отображением результатов исследования; программное обеспечение в среде Delphi для решения поставленных задач [4]. Для получения оптимальных значений критериев эффективности P, T, C используется «метод координатного спуска».

Математическая модель оптимизации включает следующие компоненты: информационная модель; входные, выходные, внутренние параметры; варьируемые переменные, которые выделяются из числа внутренних параметров; критерии оптимизации; целевая функция; система ограничений.

Выходные данные включают: результаты расчета критериев P, T, C, таблицы зависимостей P=f(v), T=f(v), C= f(v), графические зависимости в соответствии с расчетными данным таблицы.

Исследуемые математические модели представлены в виде набора многопараметрических нелинейных зависимостей и функций. Эти функции хранятся в базе данных и используются для формирования модели оптимизации и представления их в требуемом формате. Для нахождения оптимального значения критериев эффективности используется «метод координатного спуска» для многомерных функций и эвристические алгоритмы. Ограничениями являются допустимые значения параметров.

Оптимизация осуществляется за счет варьирования этих параметров в заданных граничных диапазонах. Оптимальное решение выдается в виде уточненных значений параметров, при которых целевая функция принимает экстремальное значение Fmin (или Fmax) для заданного критерия эффективности. Зависимости критериев P, T, C от параметров режимов резания рассчитаны по формулам Макарова А.Д. [3].

V	P	T	C
m/min	m^3/min	min	₽
12	0,52	50	160
14	0,55	60	148
6	0,6	42	145
20	0,68	20	140
22	0,7	14	142
25	0,71	9	146
30	0,67	5	160
35	0,62	3	200
40	0,55	2	250

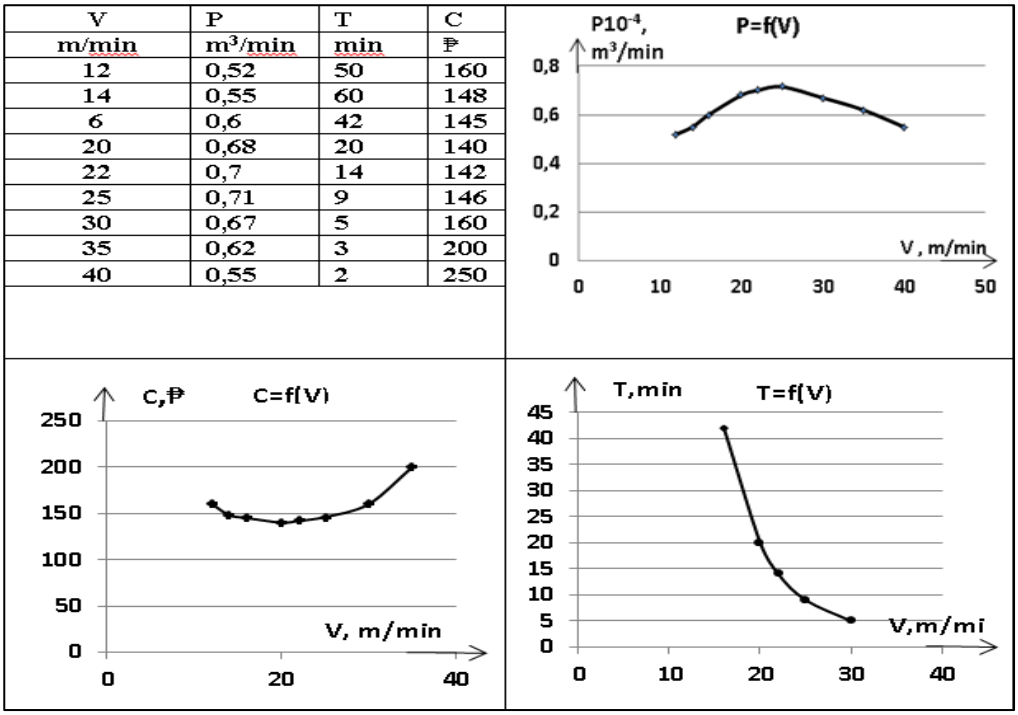


Рис.1. Влияние скорости резания на основные характеристики процесса резания при точении деталей из сплава ЭИ 698 при s = 0.26 мм/об.

В данной работе проведено исследование влияния механических свойств жаропрочного сплава ЭИ 698 на характеристики режима токарной обработки. С целью снижения трудоемкости и сокращения дорогостоящих натурных испытаний выполнено прогнозирование с помощью математического моделирования и ЭВМ процесса резания с последующей верификацией в виде эксперимента в лабораторных и производственных условиях.

Разработан графический интерфейс численного моделирования оптимизации параметров процесса резания токарной обработки, который позволяет на основе определенного диапазона исходных параметров прогнозировать режимы резания в соответствии с заданными критериями эффективности.

Данная модель может быть применена для других видов обработки: фрезерования, сверления и пр. с некоторыми изменениями и дополнениями, обусловленными спецификой вида обработки.

На основании проведенных исследований выработаны рекомендации по оптимизации процесса резания с учетом ограничений, накладываемых на параметры системы резания в соответствии с определенными критериями эффективности.

Список литературы

1. Верещака А.С., Аникеев А.И., Дачева А.В. Повышение эффективности резания труднообрабатываемых материалов // Технология машиностроения. – 2010 – № 3. – С. 17-22.
2. Afonasov A.I., Lasukov A.A. Elementary Chip in Metal Cutting // Vestnik Mashinostrjeniya. – 2013. – № 12. – P. 69-72.
3. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания DJVU. – М.: Машиностроение, 2011. – 278 с.
4. Bogoljubova M. N., Sumtsova O. V., Doschinsky D. V. Development of Graphical Interface for Determination of Optimal Cutting Parameters in Turning Operations // Key Engineering Materials: Scientific Journal. – 2016. – Vol. 685.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУМЕРНОЙ СОПРЯЖЕННОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В СИСТЕМЕ ПАССИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ С ИЗМЕНЯЕМЫМ ФАЗОВЫМ СОСТОЯНИЕМ

Н.С. Бондарева, М.А. Шеремет
Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. М.А. Шеремет
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: r0dniki@mail.ru

Современные способы терморегулирования энергетических и электронных систем включают в себя использование металлических профилей, радиаторов, различных жидкостей и материалов с изменяемым фазовым состоянием. Так в охлаждении электронных устройств активно развивается использование различных восков, парафинов и других материалов с невысокой температурой плавления (20 – 70°C). Численные и экспериментальные исследования, посвященные охлаждению радиоэлектронной аппаратуры с использованием материалов с фазовыми переходами [1–4] показывают, что использование парафинов позволяет поддерживать температуру в системе на определенном уровне в течение более длительного времени и значительно продлить время работы устройства.

Данная работа посвящена численному исследованию двумерных процессов тепломассопереноса внутри системы, содержащей источник постоянного объемного тепловыделения, металлический теплорассеивающий интерфейс и область, заполненную парафином (рис. 1). Профиль представлял собой металлическую пластину с равноудаленными друг от друга прямоугольными ребрами одинаковой высоты. Боковые и нижние грани системы теплоизолированы на верхней границе происходил теплообмен с окружающей средой. В начальный момент времени температура всей системы была равна температуре окружающей среды, что ниже температуры плавления парафина. С начального момента времени источник начинает работать и при достижении температуры плавления на границе металлического профиля и парафина, образуется область расплава. Расплав считается вязкой, несжимаемой жидкостью, удовлетворяющей условию Буссинеска, течение – ламинарным.

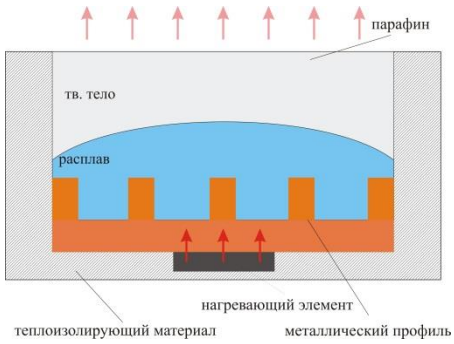


Рис. 1. Схема рассматриваемой системы

Уравнения переноса массы, импульса и энергии для данной постановки задачи были описаны в безразмерных переменных «функция тока – завихренность - температура» и решены с использованием методов конечных разностей. Уравнения гидродинамики решались в области расплава. Разностное уравнение Пуассона для функции тока было решено методом последовательной верхней релаксации, разностные уравнение для завихренности и уравнение переноса энергии решались методом прогонки [5,6].

В результате были получены детальные картины тепломассопереноса внутри рассматриваемой области в различные моменты плавления парафина. Определены времена полного расплавления материала в зависимости от толщины ребер теплового интерфейса. На рисунке изображены изолинии температуры для случаев с различной шириной ребер (рис. 2). На границе фазового перехода в материале видно резкое сгущение изотерм, здесь большое количество энергии затрачивается на плавление, на границе материала и профиля высокий температурный градиент характеризует интенсивный теплообмен с подложкой.

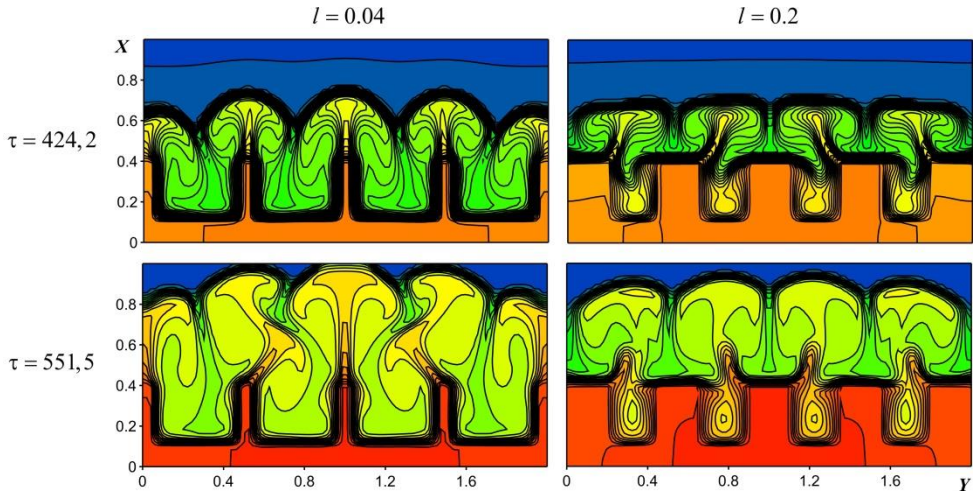


Рис. 2. Температурные распределения для двух случаев с различной шириной ребер (l – безразмерная ширина ребра, τ – безразмерный параметр времени)

Следует отметить, что размер пространства между ребрами значительно влияет на гидродинамическую структуру. Так, в случае $l = 0.2$ в этих областях образуются отдельные вихри, циркулирующая в этой области жидкость нагревается сильнее, что приводит к уменьшению градиента температуры и, как следствие, снижению интенсивности теплообмена в этих областях. Ослабление теплообмена приводит к значительному снижению скорости плавления материала. Из рисунка видно, что на поздних этапах плавления (в момент времени $\tau = 551.5$) объем расплавленного парафина при $l = 0.04$ значительно больше, чем в случае $l = 0.2$. Таким образом, при выборе формы профиля следует учитывать, что значительное воздействие на интенсивность теплоотдачи влияет ширина ребер и расстояние между ними.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки России (задание № 13.9724.2017/8.9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

5. Kalbasi R., Salimpour M.R. Constructal design of phase change material enclosures used for cooling electronic devices // Applied thermal engineering. – 2015. – Vol. 84. – Pp. 339 – 349.
6. Lu J., Fan L., Zeng Y., Xiao Y., Xu X., Yu Z. Effect of the inclination angle on the transient performance of a phase change material–based heat sink under pulsed heat loads // Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering). – 2014. – Vol. 10 – № 15. – Pp. 389 – 397.
7. Kandasamy R., Wang X.–Q., Mujumdar A.S. Transient cooling of electronics using phase change material (PCM)-based heat sinks // Applied thermal engineering. – 208. – Vol. 28. – Pp. 1047 – 1057.
8. Khan Z., Khan Z., Ghafoor A. A review of performance enhancement of PCM based latent heat storage system within the context of materials, thermal stability and compatibility // Energy Conversion and Management. – 2016. – Vol. 115. – Pp. 132 – 158.
9. Bondareva N.S., Sheremet M.A. Study of melting of a pure gallium in rectangular enclosure // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 683. – P. 548 – 554.
10. Бондарева Н.С., Шеремет М.А. Математическое моделирование режимов плавления в квадратной полости с локальным источником энергии // Теплофизика и аэромеханика. – 2016. – Т. 21. – № 4. – С. 577 – 590.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ И РОДСТВЕННЫХ ЕЙ ТЕХНОЛОГИЙ

А. С. Бузин, Н.А. Астафьева
Научный руководитель: к.т.н. Н.А. Астафьева
Иркутский национальный исследовательский технический университет
Россия, г. Иркутск ул. Лермонтова 83, 664074
E-mail: anstella@mail.ru

Физические и химические процессы, протекающие при сварке, можно моделировать различными методами. Проведение математических расчетов для реального сварочного процесса достаточно трудная задача. Решения можно получить только для отдельных простейших задач, с использованием ряда упрощающих допущений.

Для решения вопросов, актуальных для современной промышленности, необходимо совместное рассмотрение целого комплекса физико-химических процессов при сварке. При этом необходимо учитывать процессы, протекающие в источнике энергии для сварки, источнике питания, протекание электрического тока через соединение, распространение теплоты при нагреве и охлаждении, структурные, фазовые и химические превращения, плавление, кристаллизацию шва, изменение свойств материала в шве и зоне термического влияния, диффузию примесей, а так же сварочные деформации и напряжения [1].

Часть этих процессов, возникающих при сварке и родственных ей технологиях (нагрев и охлаждение, агрессивные среды, деформации), может присутствовать и в эксплуатационных нагрузках, т. е. действовать на готовую конструкцию, влияя на ее работоспособность.

Достоверность и точность оценки воздействия на сварную конструкцию комплекса процессов, протекающих в ней при ее изготовлении и эксплуатации, обеспечивают натурные эксперименты на реальных изделиях или компьютерное моделирование на основе численных методов.

Этапы моделирование сварки, наплавки или термической обработки для всех программных комплексов, основанных на методе конечных элементов (КЭМ) имеют общий вид. На основе КЭМ работают программные комплексы: MSC.Mark; SYSWELD; ABAQUS; Ansys; MSC. Nastran и др. Они имеют разный уровень специализации для моделирования процессов сварки.

Интересным примером, с точки зрения круга решаемых задач, является программный комплекс «СВАРКА». Он реализует МКЭ при расчете тепловых и деформационных задач [2].

Программный комплекс SYSWELD разработан специально для процессов сварки, он позволяет моделировать металлургическую задачу, в нем заложены аналитические модели, которые позволяют задавать распределение теплового потока [3].

На примере моделирования дуговой сварки неплавящимся электродом в среде аргона (ТИГ) стыкового соединения, собираемого из штампованных заготовок сплава системы Al- Mg-Si рассмотрим основные этапы решения в программе SYSWELD.

- Построение геометрической модели стыкового соединения. Ввод размеров для построения модели с использованием 3D-графики. Использован Autodesk Inventor.
- Импортирование геометрической модели в программный пакет Visual Weld.
- Построение КЭ, генерация сетки конечных элементов с их сгущением в зоне предполагаемой сварки.
- Назначение материала конструкции. Материал - алюминиевый сплав системы Al-Mg-Si взят из базы данных Visual Weld.
- Определение модели нагрева. В программе нам доступно несколько аналитических моделей нагрева для описания сварочной ванны. Граничное условия может быть задано изотермической или адиабатической границей или условием полного теплообмена: конвекцией и излучением из сварочной ванны расплавленного металла. В данном случае используем аналитическую модель объемного тепловыделения двойного эллипсоида Голдака.

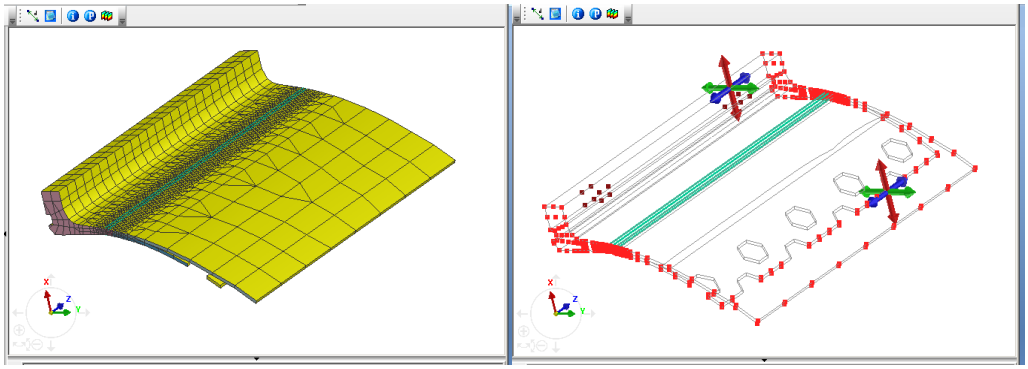
Для определения сварочного тока, напряжения, скорости сварки, которые обеспечат равномерное плавление и отсутствие прожога основного металла используется специальный инструмент SYSWELD – heat input fitting, позволяющий задать граничные условия для тепловой задачи и аналитическую модель распределения тепловой мощности источника энергии. Для решения задачи теплопроводности

вводятся физические свойства сплава: теплопроводность, плотность; теплоемкость в виде кусочно-линейных функций.

• Определение граничных условий для теплообмена – охлаждение на воздухе (см. рис 1, *а*).

• Определение граничных условий для механической задачи – условия закрепления деталей (см. рис 1, *б*).

• Настройка решателя программы и расчёт. Одновременно с тепловой решаем металлургическую задачу. Решение основано на модели Леблонда, описывающей процесс превращения одной фазы в другую, в зависимости от времени превращения, скорости охлаждения и нагрева материала. Модель подходит для описания любого диффузионного металлургического процесса [1].



а *б*

Рис.1. Граничные условия теплообмена и механической задачи:
а - КЭМ для расчёта; *б* – условия закрепления детали

В результате расчета получаем распределения тепловых полей в процессе сварки (см. рис.2) поля распределения напряжений и термодеформаций после сварки.

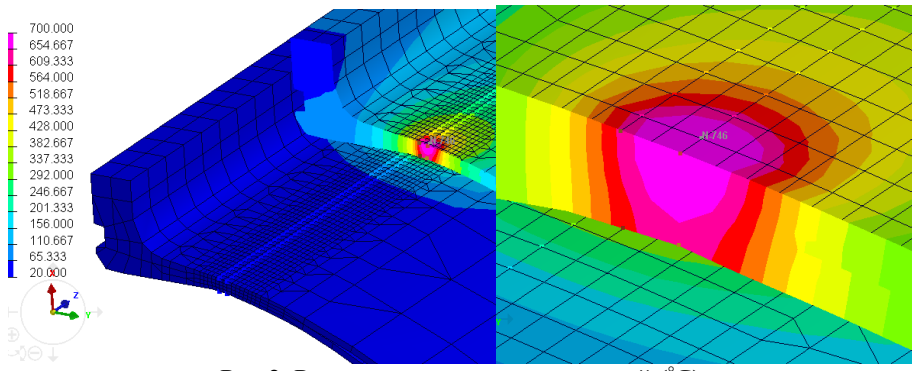


Рис.2. Распределение тепловых полей (°C)

Таким образом, рассмотренный метод подходит для описания любого термодеформационного и диффузионно-металлургического процессов. Решая такого рода задачи можно оптимизировать процесс сварки и родственных технологий прибегая к натурным испытаниям лишь для определения свойств материала и проверки модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайдес С.А., Астафьева Н.А. Моделирование сварочных процессов. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2017. – 162 с.
2. Куркин А.С., Макаров Э.Л Программный комплекс «СВАРКА» - инструмент для решения практических задач сварочного производства // Сварка и диагностика. – 2010. – №. 1. 1 – С. 16–23.
3. Биленко Г. Моделирование процессов сварки при помощи продуктов ESI Group (SYSWELD, PAM-ASSEMBLY) // САПР и графика. – 2010. – №7. – С. 1-3.

ИЗУЧЕНИЕ АТОМАРНОЙ СТРУКТУРЫ МЕЖЗЕРЕННЫХ ГРАНИЦ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Р.М. Герасимов
Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. П.С. Волегов
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, 614990
E-mail: romagrizly@gmail.com

Граница зерен в твердых поликристаллических телах представляет собой переходную область, которая разделяет два соседних зерна, кристаллические решетки которых имеют разную пространственную ориентацию. Знание характеристик и особенностей строения межзеренных границ имеет важное значение при построении и использовании математических моделей неупругого деформирования поликристаллических материалов, поскольку границы оказывают существенное влияние на физико-механические свойства поликристалла. Несмотря на большое количество проводимых исследований межзеренных границ [1–2], общая теория большеугловых границ до сих пор отсутствует. Таким образом, актуальными являются исследования структуры и свойств межзеренных границ, а также анализ устойчивых атомных конфигураций в границе при различных разориентировках решеток зерен, образующих границу.

Целью работы является построение математической модели формирования межзеренных границ в процессе двусторонней кристаллизации с помощью метода молекулярной динамики, а также исследование структуры, энергии и устойчивости полученных границ, изучение зависимости дефектной структуры и энергии границы при различных значениях угла разориентировки кристаллических решеток соседних зерен, в том числе в случае специальных разориентировок.

Выбор метода молекулярной динамики (МД) в контексте работы основывается на том факте, что непрерывные модели материалов на уровне атомарных масштабов являются непригодными ввиду невозможности выделения представительного объема в смысле механики сплошной среды. МД же позволяет представить исследуемый объект в виде совокупности частиц (атомов), которые движутся и взаимодействуют друг с другом согласно законам классической (ньютоновской) механики [3]. Для описания взаимодействия атомов используется потенциал межатомного взаимодействия, который выбирается, исходя из интересующих свойств исследуемого материала.

В рамках работы при выборе потенциала межатомного взаимодействия учитывался тот факт, что исследуемые материалы являются металлами, то есть яркими представителями плотноупакованных систем. Поэтому предпочтительным является потенциал, построенный с помощью модели погруженного атома (EAM) [4], так как при этом подходе учитывается не только парное взаимодействие между атомами, но и взаимодействие электронных облаков и электронного газа, что крайне важно при описании металлов, имеющих металлические связи. Полная потенциальная энергия системы в таком случае выглядит следующим образом:

$$E\left(\mathbf{r}_1,...,\mathbf{r}_n\right)=\sum_{i=1}^{N}\left[\sum_{j>i}^{N}\Phi\left(r_{ij}\right)+F\left(\rho_i\right)\right], \qquad (1)$$

где Ф, ρ и F – функции, описывающие парное межатомное взаимодействие, электронную плотность, создаваемую каждым атомом, и функцию погружения соответственно, N – число частиц. Вид и параметры функций Ф, ρ, F выбираются исходя из физических особенностей строения материала, для которого строится потенциал.

Задача двусторонней кристаллизации была решена численным интегрированием системы уравнений движения для 120000 частиц, параметры потенциала соответствовали технически чистой меди. Отдельно решена задача генерации начальной термодинамически равновесной конфигурации системы [5], которая представляла собой два зерна, разориентированых относительно друг от друга в пространстве и имеющих кристаллическую ГЦК-структуру, между которыми находился «расплав», имеющий «аморфную» структуру. После геометрического задания структуры исходной системы, проводилась ее релаксация при поддержании постоянной «температуры», превышающей температуру плавления (под температурой в рамках МД моделирования понималась величина, характеризующая меру средней кинетической энергии атомов). Для отвода избыточной энергии, возникающей в процессе кристаллизации, использовались краевые условия третьего рода [6] и принцип термостата

Берендсена. После завершения кристаллизации полученная структура (в том числе – граница) была исследована на устойчивость методом отжига (метод Метрополиса) [7], который подразумевает, что атомы уже «выстроились» в кристаллическую решетку, однако все еще возможны перестройки отдельных атомов. Далее часть атомов перемещают случайным образом в некоторой малой окрестности и пересчитывают полную потенциальную энергию системы; если энергия уменьшилась, то происходит переход из исходного состояния в новое, иначе переход происходит с некоторой вероятностью. Устойчивая конфигурация системы соответствует глобальному минимуму потенциальной энергии атомов.

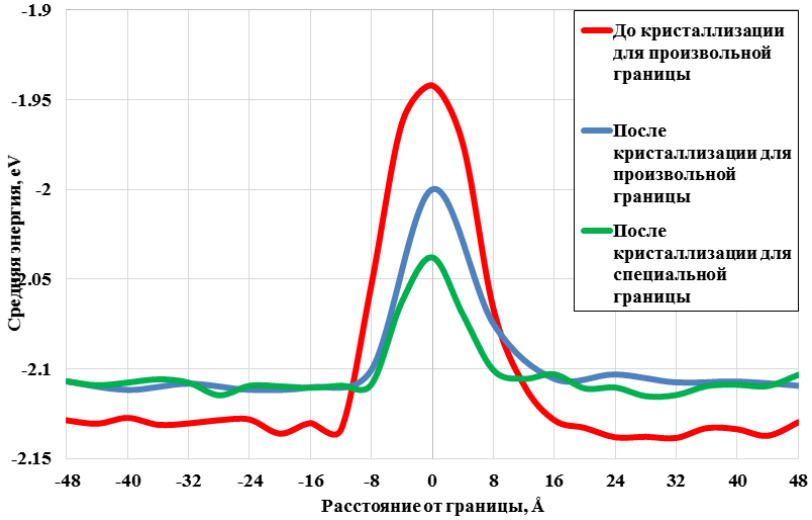


Рис. 1. Зависимость средней энергии (на 1 атом) от координаты «вдоль зерна»

Для полученных устойчивых конфигураций границ проводилась оценка потенциальной энергии взаимодействия атомов. Для этого рассчитано «скользящее» среднее потенциальной энергии межатомного взаимодействия, ширина окна расчета подобрана эмпирически. На рис. 1 представлены зависимости средней потенциальной энергии от расстояния «вдоль» зерна для различных состояний расчетной области. Представленная зависимость позволяет судить об изменениях, произошедших в процессе кристаллизации: энергия границ заметно уменьшается, причем для специальной границы итоговое значение энергии несколько ниже, чем для произвольной границы. Показано, что можно воспринимать границу, как область, которая отличается по величине энергии от энергии кристаллической решетки внутри зерна, к которому примыкает эта граница. В рамках такого определения, представленная зависимость позволяет говорить о толщине границы: она составляет примерно 3-4 межатомным расстояниям. Отметим, что энергия зерен в процессе кристалла несколько возросла, что связано с образованием новых дефектов в результате роста кристаллов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ №МК-1298.2017.1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cantwell P.R., Tang M., Dillon S.J., Luo J., Rohrer G.S., Harmer M.P. Grain boundary complexions // Acta Materialia. – 2014. – Vol. 62, Is. 52. – Pp. 1–48.
2. Tang M., Carter W.C., Cannon R.M. Grain Boundary Transitions in Binary Alloys // Physical Review Letters. – 2006. – Vol. 97, Is. 7. – 075502.
3. Rapaport D.C. The Art of Molecular Dynamics Simulation, Second Edition. – Cambridge: University Press, 2004. – 551 p.
4. Daw M.S., Baskes M.I. Embedded-atom method: Derivation and application to impurities, surfaces, and other defects in metals // Physical Review B. – 1984. – Vol. 29, Is. 12 – P. 6443–6453.
5. Volegov P.S., Gerasimov R.M. Modeling the Formation of Grain Boundaries as a Result of Two-Sided Crystallization Using Molecular Dynamics // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 743. – pp. 181-186.
6. Мазо А.Б. Основы теории и методы расчета теплопередачи: учебное пособие. – Казань: Казанский университет, 2013. – 144 с.
7. Основные концепции нейронных сетей. – М.: Издательский дом Вильямс, 2003. – 288 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА В КВАДРАТНОЙ ПОЛОСТИ С ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИМ ИСТОЧНИКОМ ПОЛУЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Н.С. Гибанов
Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. М.А. Шеремет
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: gibanov@mail.tsu.ru

Развитие экспериментальных и теоретических исследований процессов конвективного теплопереноса, связанное с задачами теплоэнергетики, строительной индустрии, химической технологии, металлургии, гео- и астрофизических приложений, а также охраны окружающей среды, сделало значительный вклад как в механику жидкости и газа и теорию тепломассопереноса, так и в оптимизацию существующих термодинамических систем [1]. С появлением новых технологий увеличивается и круг задач, требующих решения для дальнейшего развития многих технических приложений, например, результаты моделирования режимов естественной конвекции могут быть применены в области строительства и архитектуры, для оптимизации методов выращивания объемных монокристаллов, для анализа режимов теплопереноса в ядерных реакторах, а также в микроэлектронике для создания эффективных систем охлаждения [2].

Представленная работа посвящена численному моделированию нестационарных ламинарных режимов естественной конвекции в замкнутой квадратной полости при наличии локального источника объемного тепловыделения полуцилиндрической формы (рис. 1). Источник энергии постоянной плотности объемного тепловыделения располагается в средней части нижней стенки замкнутого контура. Система охлаждалась со стороны вертикальных изотермических стенок с постоянной минимальной температурой, остальные стенки области являлись адиабатическими. В качестве рабочей среды внутри исследуемой области была рассмотрена ньютоновская жидкость, удовлетворяющая приближению Буссинеска.

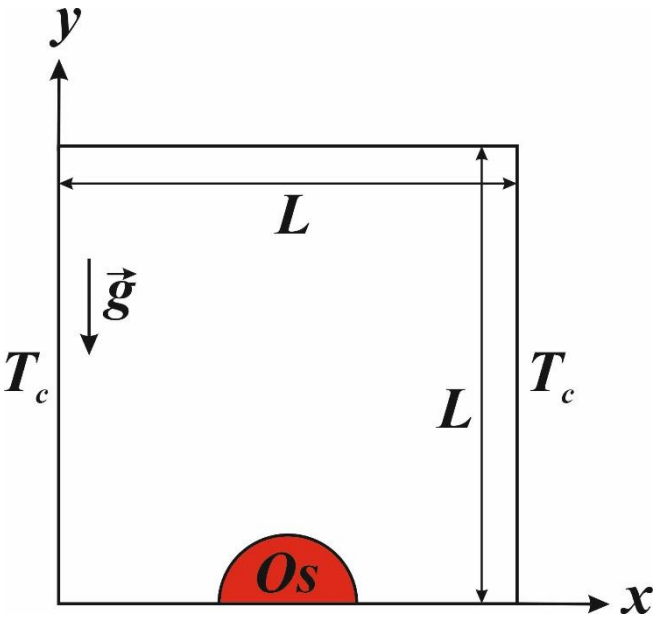


Рис. 1. Исследуемая область

Процесс переноса массы, импульса и энергии в рассматриваемой области описывается системой нестационарных двумерных уравнений Обербека–Буссинеска в безразмерном виде с использованием преобразованных переменных «функция тока – завихренность – температура» [3-5]:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \tau}+\frac{\partial \Psi}{\partial Y}\frac{\partial \Omega}{\partial X}-\frac{\partial \Psi}{\partial X}\frac{\partial \Omega}{\partial Y}=\sqrt{\frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{Ra}}}\left(\frac{\partial^2 \Omega}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 \Omega}{\partial Y^2}\right)+\frac{\partial \Theta}{\partial X}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} = -\Omega, \tag{2}$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} + \frac{\partial \Psi}{\partial Y}\frac{\partial \Theta}{\partial X} - \frac{\partial \Psi}{\partial X}\frac{\partial \Theta}{\partial Y} = \frac{1}{\sqrt{\mathrm{Pr}\cdot \mathrm{Ra}}}\left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2}\right), \tag{3}$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = \frac{a_w / a_f}{\sqrt{\mathrm{Pr}\cdot \mathrm{Ra}}}\left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2} + Os\right) \tag{4}$$

Представленные дифференциальные уравнения (1)–(4) с соответствующими начальными и граничными условиями были решены с помощью метода конечных разностей на равномерной сетке с применением локально-одномерной схемы Самарского. Для дискретизации конвективных слагаемых была использована монотонная аппроксимация Самарского, для диффузионных слагаемых – центральные разности. Разработанный численный алгоритм был протестирован на множестве сеток, а также на модельных численных и экспериментальных задачах.

В результате численного моделирования были получены распределения изолиний функции тока и температуры в широком диапазоне изменения чисел Рэлея и Остроградского. Проведен анализ локального и среднего чисел Нуссельта для оценки эффективности теплосъема с поверхности нагревателя в рассматриваемой системе.

Работа выполнена в рамках реализации проекта Российского научного фонда (соглашение № 17-79-20141).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jaluria Y. Design and Optimization of Thermal Systems. — New York: McGraw-Hill, 1998. – 626 p.
2. Шеремет М.А. Математическое моделирование турбулентных режимов сопряженной термогравитационной конвекции в замкнутой области с локальным источником тепла // Теплофизика и аэромеханика. – 2011. – Т. 18. – № 1. – С. 117–171.
3. Пасконов В. М., Полежаев В. И., Чудов Л. А. Численное моделирование процессов тепло и массообмена. – М.: Наука, 1984. – 288 с.
4. Шеремет М.А. Сопряженные задачи естественной конвекции. Замкнутые области с локальными источниками тепловыделения. – LAP: Lambert Academic Publishing, 2011. – 167 с.
5. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. Conjugate natural convection in an enclosure with a heat source of constant heat transfer rate // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2011. – Vol. 54, 260–268 pp.

ОБОБЩЕННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МАКРОМОДЕЛЬ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова
Научный руководитель: профессор, д.т.н. Л.С. Казаринов
Южно-Уральский государственный университет,
Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, 454080
E-mail:tatyana_barbasova@mail.ru

В работе предлагается структура динамической макромодели ДП, которая дополняет известные детализованные статические модели ДП. Рассматриваемые алгоритмы описывают динамику физико-химических процессов в привязке к временным интервалам управления и численным значениям управляющих воздействий. Большинство существующих моделей доменного процесса ориентированы на решение проектных задач и поэтому являются в высокой степени детализованными. Для решения задач оперативного управления доменным процессом подобные модели имеют ограниченную применимость по следующим причинам: 1. Неполная наблюдаемость режимных параметров доменного процесса, что приводит к отсутствию информации о текущих значениях множества режимных параметров. Вследствие этого, детализованные модели приводят к значительным ошибкам прогноза при оперативном управлении. 2. Отсутствии учета динамики процессов, что с точки зрения теории управления является недопустимым и приводит также к значительным ошибкам оперативного управления. Подобные недостатки детализованных моделей ДП присущи широкому классу пиротехнологических и физико-химических технологических процессов. Для преодоления указанных недостатков в настоящее время развивается передовая технология модельно-упреждающего управления, специально ориентированная на решение задач эффективное управление пиротехнологическими и физико-химическими технологическими процессами. Преимущества модельно-упреждающего управления следующие: решение задач прогноза значений режимных параметров осуществляется на основе обобщенных динамических моделей технологического процесса, которые строятся в реальном времени на основе текущих данных эксплуатации по критерию минимума ошибки прогноза; радача управления технологическим процессом решается оптимальным образом на текущем горизонте прогноза по критерию минимума ошибки управления. В существующей литературе подход на основе модельно-упреждающего управления к оперативному управлению доменным процессом не освещен [1-9].

Структура динамической макромодели процессов ДП

В основе обобщенной динамической макромодели ДП лежим обобщенная динамическая макромодель в горне, представленная на рис. 1. Данная модель зависит от динамики потоков энергии и потоков рабочих материалов в печи. Общая структура динамической макромодели представлена на рисунке 1.

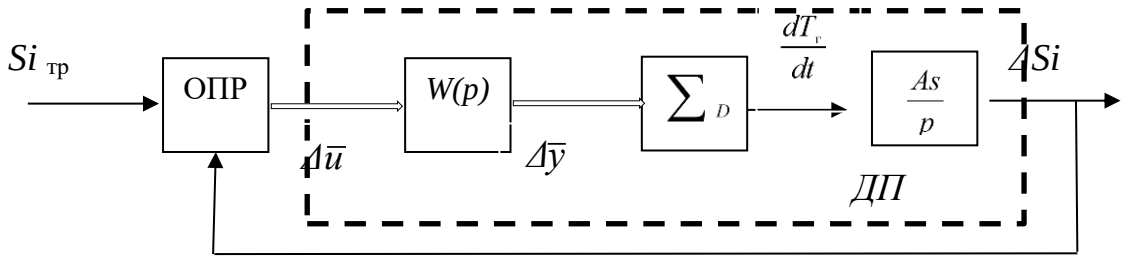


Рис.1. Общая структура динамической макромодели

Si тр – требуемое значение содержания кремния в чугуне, %, ОПР – оператор, осуществляющий оперативное управления ДП, $\Delta\bar{u}$ – вектор управляющих параметров (расход кокса, расход дутья, расход пара на увлажнение, подача природного газа), $\Delta\bar{y}$ – вектор управляющих воздействий, приведенных во времени к горну печи, *W(p)* – блок передаточных функций, описывающих динамику приведения во времени управляющих воздействий к горну печи, $\sum_D$ – модель связи управляющих

воздействий, приведенных во времени к горну печи, со скоростью изменения усредненной температуры в горне, $\frac{As}{p}$ – блок накопления энергии в горне ДП, *ΔSi*– изменение содержания кремния в чугуне.

Предлагаемая динамическая макромодель ДП дополняет известные разработанные статические модели ДП, в том, что алгоритмы здесь описывают динамику физико-химических процессов в привязке к временным интервалам управления и численным значениям управляющих воздействий.

Оперативное управление ДП в реальном времени

Решение задачи оперативного управления ДП производится с точки зрения динамики стабилизации режимных параметров в заданных областях повышенной эффективности. Решение данной задачи представляет большие трудности, т.к. доменный процесс как объект управления обладает весьма сложными свойствами: 1) динамикой ДП, развивающейся на длительных интервалах времени (до 40 часов); 2) нелинейными нестационарными характеристиками; 3) распределенными параметрами; 4) большим уровнем возмущающих воздействий; 5) отсутствием наблюдаемости многих характеристик процесса.

Отработка предлагаемых алгоритмов управления на основе динамической макромодели проводилась в программном пакете Vissim. В качестве примера на рисунках 2-3 приводится вариант регулирования требуемого уровня *Si* изменением расхода кокса в подачу.

Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление №211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.A03.21.0011. В настоящее время разработана схема динамической макромодели ДП, показана ее работоспособность на частных примерах. В перспективе необходимо провести работу по созданию автоматизированной системы управления доменным процессом в целом на основе многоуровневого подхода, где на верхнем уровне моделируется динамическое взаимодействие частных физико-химических процессов, а на нижнем уровне реализуются детализованные расчёты физико-химических процессов на основе существующих методик и программ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Maddaloni A., Porzio G.F., Gianluca Nastasi, Colla V., Branca T. A. Multi-objective optimization applied to retrofit analysis: A case study for the iron and steel industry // Applied Thermal Engineering, – 2015. – vol. 91. – P. 638–646.
2. Zhang Sh., Worrell E., Crijns-Graus W., Wagner F., Cofala J. Co-benefits of energy efficiency improvement and air pollution abatement in the Chinese iron and steel industry // Energy. – 2014. – vol. 78. – P. 333–345.
3. Lazzarin R. M., Noro M. Energy efficiency opportunities in the production process of cast iron foundries: An experience in Italy // Applied Thermal Engineering. – 2015. – vol. 90. – P. 509–520.
4. Jin P., Jiang Z., Bao Ch., Hao Sh., Zhang X. The energy consumption and carbon emission of the integration steel mill with oxygen blast furnace. Resources // Conservation and Recycling. – 2017. – vol. 117. – P. 58–65.
5. Liu X., Chen L., Qin X., Sun F. Exergy loss minimization for a blast furnace with comparative analyses for energy flows and exergy flows // Energy. – 2015. – vol. 93. Part 1. – P. 10–19.
6. Lin B., Wang X. Promoting energy conservation in China's iron & steel sector // Energy. – 2014. – vol. 73. – P. 465–474.
7. Helle H., Helle M., Pettersson F., Saxén H. Multi-criteria optimization of ironmaking in the blast furnace with top gas recycling // ISIJ Int. – 2010. – vol. 50. – P. 1380–1387.
8. Mitra T., Helle M., Pettersson F., Saxén H. Multiobjective optimization of top gas recycling conditions in the blast furnace by genetic algorithms // Mater Manuf Process. – 2011. – vol. 26. – P. 475–480.
9. Helle H., Helle M., Saxén H. Nonlinear optimization of steel production using traditional and novel blast furnace operation strategies // Chem Eng Sci. – 2011. – vol. 66. – P. 6470–6481.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРИКАМЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ВСЕМ УЧАСТКЕ РАБОТЫ РДТТ С ПОМОЩЬЮ ОБРАТНОГО МЕТОДА ЛАКСА-ВЕНДРОФФА

А. Е. Кирюшкин
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Л. Л. Миньков
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: sashakir94@mail.ru

Ракетные двигатели на твердом топливе (РДТТ) – это такие двигатели, которые для получения необходимой тяги используют твердое топливо в качестве источника химической энергии. Самое раннее появление РДТТ на дымном порохе датируется XIII веком. С тех пор ракетная техника существенно развивалась и на данный момент существует обширный пласт теории РДТТ [1, 2].

Несмотря на относительную простоту конструкции РДТТ по сравнению с другими типами ракетных двигателей и их надежность, существует ряд минусов, как-то: невысокий удельный импульс, сложности, связанные с управлением тяги и другие. Вследствие трудностей, связанных с активным управлением тягой РДТТ, основные интересы конструкторов лежат в различных способах «пассивного» контроля. К таким способам можно отнести выбор топлива, а также его формы. То есть в зависимости от предназначения определяется допустимая кривая зависимости тяги от времени. Затем проектируется форма топливной шашки, обеспечивающая требуемую зависимость.

В последние годы численное моделирование процессов, связанных с РДТТ, широко распространилось как один из инструментов для проектирования новых РДТТ. Возможность моделирования внутрикамерных процессов РДТТ на всем участке его работы без затрат на производство или использования испытательных стендов обеспечивает возможность для тестирования большего количества различных конфигураций и в конечном счете получить оптимальную конструкцию ракетного двигателя.

Цель данной работы состоит в разработке алгоритма, позволяющего объединить два физических явления: прогар топливной шашки и внутреннюю баллистику РДТТ на всем участке работы для зарядов сложной формы. Заряды сложной формы характеризуются трехмерной либо осесимметричной геометрией, однако в некоторых случаях течение в канале несущественных образом меняется как по сечению, так и вдоль канала. Таким образом, существуют численные модели, которые, учитывая сложную форму заряда, предполагают либо нульмерную, либо квазиодномерную постановку задачи для течения продуктов сгорания [3, 4].

Однако в некоторых случаях необходимо рассматривать трехмерное (осесимметричное) течение совместно с изменением геометрии поверхности топлива, что значительно осложняет численную реализацию. Таким образом, данный класс задач относится к задачам с подвижными границами. Для численного решения подобного типа задач можно использовать неструктурированные подвижные вычислительные сетки. Несмотря на простоту дискретизации уравнений на таких сетках, данный подход обладает рядом недостатков. Во-первых, построение «качественной» вычислительной сетки может занимать значительную часть от общего времени решения задачи. Во-вторых, данный подход требует постоянного перестроения вычислительной сетки, что может привести к потере точности. В-третьих, с течением времени могут происходить различные топологические изменения поверхности, что приводит к значительному усложнению алгоритма. В-четвертых, подобные схемы имеют порядок аппроксимации не выше второго.

В данной работе разработан алгоритм, позволяющий решать подобные задачи с подвижными границами на неподвижной декартовой сетке с произвольным порядком точности по пространству и времени. Из вышесказанного вытекают следующие основные сложности реализации. Во-первых, границы пересекают вычислительную сетку произвольным образом, что осложняет задание граничных условий. Во-вторых, реализация численной схемы для точек рядом с границей требует определения значений в «фиктивных» точках. В-третьих, необходимо отслеживать движущуюся поверхность. Для геометрического представления поверхности и отслеживания ее эволюции во времени используется метод уровней [5], который представляется наиболее эффективным способом для представления поверхностей неявным образом на неподвижной декартовой сетке. Для учета граничных условий и

определения значений параметров течения в точках, лежащих вне расчетной области («фиктивных» точках), используется обратный метод Лакса-Вендроффа [6, 7], разработанный Шу.

В данной работе использовалась схема третьего порядка точности по пространственной координате [8] и второго порядка точности по времени [9] для уравнений газовой динамики, описывающих течение продуктов сгорание. А также схема пятого порядка точности по пространству и третьего порядка точности по времени [5] для отслеживания эволюции границы области, состоящей из подвижной поверхности горящего топлива и неподвижных стенок и границы с областью постоянного давления.

В качестве примера была решена задача для заряда щелевого типа на всем участке его работы. Для различных моментов времени получены форма поверхности горящего заряда, а также распределение параметров течения в камере и сопле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерохин Б. Т. Теория внутрикамерных процессов и проектирование РДТТ / Б. Т. Ерохин – М. : Машиностроение, 1991. – 560 с.
2. Райзберг Б. А. Основы теории рабочих процессов в ракетных системах на твердом топливе. – М. – Машиностроение, 1972. – 383 с.
3. Enrico Cavallini. Modeling and Numerical Simulation of Solid Rocket Motors Internal Ballistics. PhD thesis, 2010.
4. Wichard Sullwald, Grain regression analysis. Master’s thesis, 2014.
5. Osher S. Level Set Methods and Dynamic Implicit Surfaces / S. Osher, R. Fedkiw – NY : Springer, 2003. – 273 p.
6. Tan S. Inverse Lax-Wendroff Procedure for Numerical Boundary Conditions of Conservation Laws / S. Tan, C.-W. Shu // Journal of Computational Physics. – 2010. – V. 229(21). – P. 8144 – 8166.
7. Tan S. Efficient Implementation of High Order Inverse Lax-Wendroff Boundary Treatment for Conservation Laws / S. Tan, C. Wang, C.-W. Shu and J. Ning // Journal of Computational Physics. – 2012. – V. 231(6). – P. 2510 – 2527.
8. G.-S. Jiang Efficient Implementation of Weighted ENO Schemes / G.-S. Jiang, C.-W. Shu // Journal of Computational Physics. – 1996. – V. 126(1). – P. 202 – 228.
9. Gottlieb S. Total Variation Diminishing Runge-Kutta Schemes / S. Gottlieb, C.-W. Shu // Mathematics of Computation. – 1998. – V. 67. – P. 73-85.

К ОПИСАНИЮ УПРОЧНЕНИЯ ПРИ НЕУПРУГОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ МОНОКРИСТАЛЛОВ: УЧЕТ ДИСЛОКАЦИОННЫХ БАРЬЕРОВ

Н.В. Котельникова, Д.С.Грибов, П.С.Волегов
Научный руководитель: П.В.Трусов
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, 614990
E-mail: kotelnickova@gmail.com

В последние десятилетия широкое распространение для описания неупругого деформирования моно- и поликристаллических металлов и сплавов приобрели многоуровневые модели [1,2], основанные на физических теориях пластичности (ФТП) [3], позволяющие явным образом учитывать эволюционирующую микроструктуру материалов. Одним из важнейших компонентов при построении моделей ФТП является закон упрочнения для систем скольжения (СС) дислокаций, отражающий взаимодействие движущихся по той или иной СС дислокаций с дислокациями других СС и иными дефектами кристаллической решетки (границами зерен и субзерен, включениями вторичных фаз и т.д.). На мезоуровне (уровне кристаллитов) законы упрочнения связывают критическое напряжение течения на СС с некоторым набором параметров (сдвигами, температурой, энергией дефекта упаковки и т.д.) [4,5]. Известно [6–8], что наибольший вклад в упрочнение вносит взаимодействие дислокаций и дислокационных субструктур. В настоящей работе закон упрочнения записан в следующем виде:

$$\dot{\tau}_c^{(k)} = f^{(k)} + f_b^{(k)}, \quad k = 1,...,24, \tag{1}$$

где $\dot{\tau}_c^{(k)}$ – скорость изменения критических напряжений на k–й СС. Слагаемое $f^{(k)}$ описывает вклад в изменение критического напряжения за счет взаимодействия полных дислокаций с дислокациями леса. Рост сдвигов ведет к увеличению числа дислокаций и к учащению их пересечений и взаимодействий. Данная зависимость отражена в следующем соотношении:

$$f^{(k)} = \tau_{c0}^{(k)} \dot{\gamma}_0 \left(\sum_{i=1}^{24} a_i^{(k)} \left(\frac{\gamma^{(i)}}{\sum_{j=1}^{24} \gamma^{(j)}} \right)^{\psi} \left(\frac{\dot{\gamma}^{(i)}}{\dot{\gamma}_0} \right)^{\delta} \right), \tag{2}$$

где ψ и δ – параметры материала, $\gamma^{(k)}$ – накопленный сдвиг по k-й СС, $a_i^{(k)}$ – модули упрочнения. Соотношение (2) вносит основной вклад в упрочнение.

Второе слагаемое в соотношении (1) описывает так называемое барьерное упрочнение. Для записи этого слагаемого необходимо определить значения параметров, характеризующих дислокационные барьеры в исследуемом материале (в настоящей работе рассмотрение ограничено ГЦК–кристаллами). Известно, что в таких металлах существует шесть типов дислокационных барьеров. В работе рассматриваются 4 наиболее устойчивых типа.

Исходя из значений энергии дефекта упаковки (ЭДУ), а также из известного отношения между величиной расщепления барьеров (расстоянием между частичными дислокациями, ограничивающими дефект упаковки и фиксирующими барьер) шести типов и векторами Бюргерса, были получены численные значения величины расщепления барьеров (табл.1).

Таблица 1 - Характеристики наиболее значимых дислокационных барьеров для меди

№ барьера	l, величина расщепления (м), a – длина ребра тетраэдра Томпсона	E_b, энергия барьера (мДж/м)	$\tau_{разр}$, напряжение разрушения, МПа	Барьерное напряжение, МПа
1, 4	0,377 a	$1{,}35*10^{-2}$	293	5,817
2	1,626 a	$1{,}12*10^{-2}$	13	5,802
3	4,692 a	$1{,}18*10^{-2}$	1,6	5,818

Опираясь на формальную запись дислокационных реакций, были рассчитаны значения энергии барьеров (табл. 1). Под энергией барьера понимается величина энергии, которую необходимо подвести к барьеру для его обратной рекомбинации. Рассчитана величина напряжения, при котором данный барьер будет разрушен (3), по следующему соотношению:

$$\tau_{разр} = \frac{\mathrm{E}_b}{\xi_b l^2}, \qquad (3)$$

где ξ_b – материальная константа. Результаты вычислений приведены в табл.1. Формула (3) предложена, исходя из соображений размерности и физического обоснования.

В ходе работы была получена верхняя оценка величины напряжения, вызываемого дислокационным барьером, по отношению к движущимся по рассматриваемой СС дислокациям, которые останавливаются на известном расстоянии от барьера (табл.1).

Учитывая найденные характеристики, функцию $f_b^{(k)}$ из (1) можно представить в виде:

$$f_b^{(k)}\left(\gamma_{ЭДУ}, \dot{\gamma}^{(j)}, \gamma^{(j)}\right) = \xi_1 \sum_{j\neq k}^{N^*} \mathrm{B}_{(j)}^{(k)} \left(1 - \frac{\gamma_{ЭДУ}}{\gamma^*_{ЭДУ}}\right) H\left(1 - \frac{\gamma_{ЭДУ}}{\gamma^*_{ЭДУ}}\right) \times$$

$$\times \left(\int_0^1 f_b^{(k)} d\tau + f_0^{(k)}\right)^{-1} \dot{\gamma}^{(k)} \left(\sum_{j\neq k}^{N^*} \gamma^{(j)} + \gamma_0^b\right) H\left(f_b^{(k)} - \tau_{разр}\right),$$

где $\gamma_{ЭДУ}$ – ЭДУ, $\gamma^*_{ЭДУ}$ – критическая ЭДУ, при превышении которой барьеры не образуются, N^* – СС, сопряженные к данной (такие СС, дислокации которых могут образовать барьер с дислокациями данной СС), ξ_1 – материальная константа, γ_0^b –константа для учета наличия в исходном материале расщепленных дислокаций, $f_0^{(k)}$ – плотность барьеров, уже существующих в материале в начальном состоянии, $\tau_{разр}$ – напряжение разрушения барьера, $\mathrm{B}_{(j)}^{(k)}$ – компоненты матрицы барьерных напряжений.

Таким образом, в работе рассматривается закон упрочнения, учитывающий взаимодействие дислокаций как друг с другом, так и с дислокационными барьерами. Рассчитаны значения ключевых характеристик дислокационных барьеров, входящих в закон упрочнения. Результаты расчетов с использованием предложенной модели находятся в удовлетворительном соответствии с известными экспериментальными данными.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №17-19-01292).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трусов П.В., Швейкин А.И. Многоуровневые физические модели моно- и поликристаллов. Статистические модели // Физическая мезомеханика. 2011. Т.14. №4. С. 17-28.
2. Трусов П.В., Швейкин А.И. Многоуровневые физические модели моно- и поликристаллов. Прямые модели // Физическая мезомеханика. 2011. Т.14. №5. С. 5-30.
3. Трусов П.В., Волегов П.С., Кондратьев Н.С. Физические теории пластичности: учебное пособие. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. – 244 с.
4. Кондратьев Н.С., Трусов П.В. О мере разориентации систем скольжения соседних кристаллитов в поликристаллическом агрегате// Вестник ПНИПУ. Механика. – 2012. – № 2. – С. 112-127.
5. Кондратьев Н.С., Трусов П.В. Описание упрочнения систем дислокационного скольжения за счет границ кристаллитов в поликристаллическом агрегате// Вестник ПНИПУ. Механика. – 2012. – № 3. – С. 78-97.
6. Трусов П.В., Волегов П.С. Физические теории пластичности: теория и приложения к описанию неупругого деформирования материалов. Ч. 3: Теории упрочнения, градиентные теории// Вестник ПНИПУ. Механика. – 2011. – № 3. – С. 146-197.
7. Trusov P.V., Volegov P.S. Internal variable constitutive relations and their application to description of hardening in single crystals// Physical Mesomechanics. – 2010. – Т. 13, № 3-4. – С. 152-158.
8. Волегов П.С., Янц А.Ю. Несимметричная физическая теория пластичности гцк-поликристаллов: особенности численной реализации некоторых схем деформирования// Вестник ПНИПУ. Механика. – 2011.– № 1. – С. 121-137.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИНАХ

А.И. Кубряк
Научный руководитель: доцент, д.т.н. Е.А. Муравьева
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Россия, г. Стерлитамак, пр. Октября, 2, 453118
E-mail: falcone.kub@gmail.com

1. Введение

Холодильные машины являются неотъемлемой частью химического машиностроения. Они широко используются для сжижения газов, таких как жидкие кислород, азот, хлор и метан. Им давно нашли широкое применение в химии, машиностроении и металлургии. Конденсатор-испаритель занимает центральное место в системе сжижения. Рассмотрим моделирование данного аппарата с целью дальнейшей разработки системы управления им.

2. Базис математической модели

Известны зависимости давления, плотности и теплоемкости фреона от температуры [1]. Они представлены графическими данными, которые аппроксимируются и представляются в виде аналитических выражений. Соответственно, добавляем эти зависимости в разрабатываемую динамическую модель.

Зависимость плотности фреона в кг/м^3 от температуры и давления принимает следующее выражение:

$$pof(T, p) = (-0{,}6259 \cdot T^2 - 25{,}353 \cdot T \cdot 1572{,}3) \cdot bf^{(\frac{p}{101325}-1)},$$

где T – температура фреона в °С;
bf – коэффициент сжатия фреона, принимаемый равным 0,995;
p – давление фреона в Па.

Теплота конденсации хлора зависит только от его температуры, и потому эта кривая аппроксимируется по графику, представленному в справочных данных [2] и представляется аналитическим выражением.

Математическая модель должна учитывать нормы регламента проведения технологического процесса сжижения хлора. Поэтому нельзя допустить, чтобы уровень стремился к превышению максимального значения. К тому же, нельзя допустить, чтобы в конденсаторе-испарителе перестал присутствовать фреон. Для этих целей пропишем блокировки максимального и минимального уровней фреона в аппарате.

$$Lf_1(p) = \begin{vmatrix} 1\ ЕСЛИ\ \ p_1 < 100 \\ 0\ ИНАЧЕ \end{vmatrix},$$

$$Lf_2(p) = \begin{vmatrix} ЕСЛИ\ (\Pr f(p_3) - p_2) > 0 \\ \begin{vmatrix} 1\ if\ \ p_1 > 0 \\ 0\ ИНАЧЕ \end{vmatrix} \\ ИНАЧЕ \\ \begin{vmatrix} 1\ ЕСЛИ\ \ p_1 < 100 \\ 0\ ИНАЧЕ \end{vmatrix} \end{vmatrix}.$$

где: p_1 – значение уровня в конденсаторе-испарителе; p_2 – текущее значение давления в аппарате в Па; p_3 – температура; p_4 - значения величинs температуры хлора в °С.

Таким образом, $Lf_1(p)$ отвечает за блокировку уровня фреона по его подаче, а $Lf2(p)$ по испарению и конденсации фреона, которые будут зависеть от величины парциального давления фреона и давления в аппарате.

3. Математическая модель конденсатора-испарителя

Рассмотрим следующие уравнения подробнее.

Уравнение для уровня в % будет определяться разностью поступающего в конденсатор-испаритель фреона и паров его испарения

$$dL(p) = Lf_1(p) \cdot \frac{Gf \cdot a1}{Vf} - Visp(p),$$

где Gf – расход фреона, м^3/с;

$a1$ – степень открытия клапана на подачу жидкого фреона, %.

Величина поступающего фреона будет определяться дробью $\frac{Gf \cdot a1}{Vf}$.

Испарение будет происходить, когда парциальное давление паров фреона больше давления насыщенного пара при заданной температуре. В противном случае будет происходить конденсация [4].

Температуру фреона в °С найдем, используя формулу $\frac{-Visp(p) \cdot pof(p_3, p_2) \cdot Cisp + (Tatm - p_3) \cdot Tp + (p_4 - p_3) \cdot alfa \cdot S1}{Cpf(p,0) + Cp}$,

где $p_3 \cdot Cpf(p,0)$ – теплота полученная фреоном, уже находящимся в аппарате, Дж;

$Tf1 \cdot Cpfg(Tf1) \cdot Gf \cdot a1 \cdot pof(Tf1, Pf1)$ – тепло от поступающего фреона, Дж;

$p_3 \cdot Cp$ – теплота, отданная стенкам аппарата, Дж.

Уравнение для описания изменения температуры хлора

$$dTh(p) = \frac{-(p_4 - p_3) \cdot alfa \cdot S1 + Gcond(p) \cdot Ccondh(p_4)}{Cpgh \cdot \frac{(Ph + 101325) \cdot Vh}{R \cdot (273{,}15 + p_4)}} - \frac{Vhg(p) \cdot (p_4 - Th1)}{Vh - Vhg(p)},$$

где $Cpgh$ – теплоемкость жидкого хлора, Дж/кг·К;

$Th1$ – температура хлора на вход в аппарат, %;

$Pf2$ – давление паров фреона перед компрессором, Па.

Рассмотрим первую дробь. В числителе слагаемое $-(p_4 - p_3) \cdot alfa \cdot S1$ показывает теплоту, отданную фреону, $Gcond(p) \cdot Ccondh(p_4)$ учитывает теплоту конденсации хлора. В знаменателе $Cpgh \cdot \frac{(Ph + 101325) \cdot Vh}{R \cdot (273{,}15 + p_4)}$ – теплоемкость хлора [4].

Вторая дробь $\frac{Vhg(p) \cdot (p_4 - Th1)}{Vh - Vhg(p)}$ показывает изменение температуры хлора.

4. Заключение

Разработанная математическая модель ОУ описывает основные процессы в аппарате: испарение фреона, конденсация хлора, изменение уровня фреона и давления в аппарате. В основу модели положены уравнения, определяющие вышеописанные процессы, что позволяет применять ее с целью проектирования и расчета аппаратов теплопереноса через стенку с фазовыми переходами теплоносителей различных характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зависимость температуры кипения фреонов от давления [Электронный ресурс] – URL: http://www.xiron.ru/content/view/10/27/ (дата обращения: 05.03.2017).
2. Теплопроводность, теплоемкость, свойства фреона [Электронный ресурс] – URL: http://thermalinfo.ru/svojstva-gazov/organicheskie-gazy/teploprovodnost-teploemkost-svojstva-freona-22 (дата обращения: 05.03.2017).
3. Сжижение хлора[Электронный ресурс] – URL: http://chem21.info/info/149269/ (дата обращения: 05.03.2017).
4. Глинка Н.Л. Общая химия / Учебное пособие для вузов – 27-е изд., стереотипное – Л.: Химия, 1988., – 704с.

ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ РАСЧЕТЕ СПЕКТРА НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОДКРИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

И.О. Луцик, С.В. Беденко
Научный руководитель: доцент кафедры, к.ф.м.н. С.В. Беденко
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: iol4@tpu.ru

Основной задачей нейтронно-физических расчетов является задача о нахождении критических параметров и пространственно-энергетического распределения нейтронов. Для осуществления таких расчетов применяются два подхода: детерминистический, суть которого заключается в решении интегро-дифференциального или дифференциального уравнения переноса нейтронов, и стохастический, в котором реализуется моделирование случайной величины с целью вычисления характеристик ее распределения [1].

Наибольшее распространение при решении уравнения переноса нейтронов получило многогрупповое приближение. С точки зрения вычислительных затрат, а также затрат по хранению ядерно-физических констант, данный метод решения является наиболее экономичным, и в ряде случаев дает точное и надежное решение [2].

В настоящей работе реализован итерационный способ решения условно-критической задачи (стационарная задача) переноса нейтронов в диффузионном 28-ми групповом приближении. Расчет проведен для подкритической системы из сферы $^{238}PuO_2$.

Для организации итерационного процесса решения необходимо задать спектр мгновенных нейтронов $\chi_f(E)$, спектр нейтронов спонтанного деления $\chi_{sf}(E)$ и спектр нейтронов (α,n)-реакций $\chi_{\alpha n}(E)$. Отметим, что выбор функции распределения нейтронов $S(r) = Q(r)\cdot\int\chi(E)dE$ является важным этапом моделирования, позволяющим существенным образом повысить точность искомых решений. Спектры $\chi_f(E)$, $\chi_{sf}(E)$ известны для большинства делящихся нуклидов и могут быть аппроксимированы спектральной функцией Уатта.

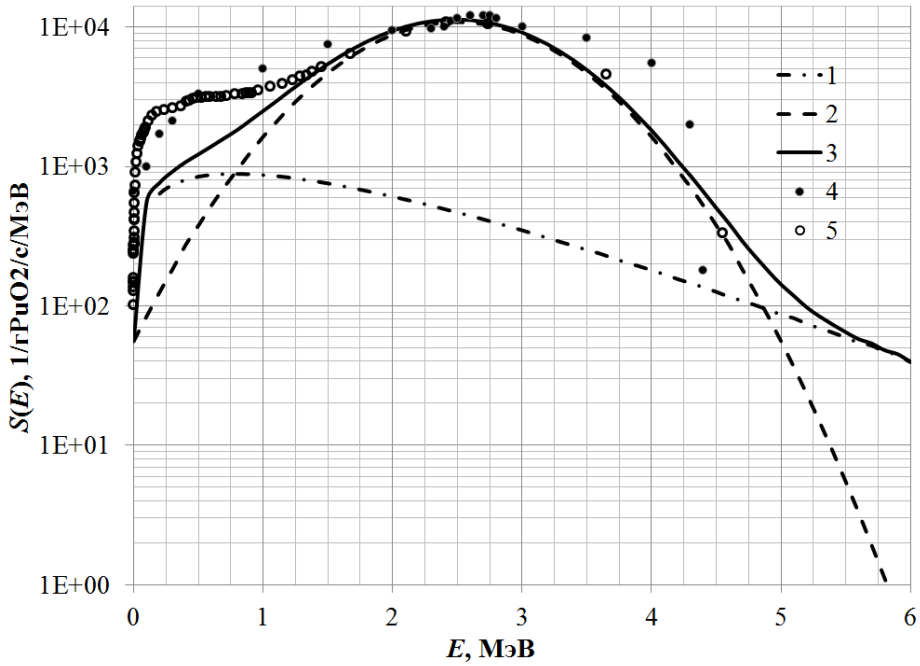


Рис. 1. Спектральное распределение нейтронов $^{238}PuO_2$:
1 – спектральное распределение нейтронов спонтанного деления; 2 – спектральное (искомое) распределение нейтронов (α,n)-реакции (a = 0,85, b = 2,50); 3 – суммарное (искомое) распределение: $\{\chi_{sf}(E) + \chi_{\alpha n}(E)\}$; 4 – суммарное распределение, данные работы [3]; 5 – суммарное распределение, результаты аппроксимации данных библиотек EXFOR и ENDSF

Спектр нейтронов $\chi_{\alpha n}(E)$ получен путем аппроксимации расчетной (ENDSF) и экспериментальной информации (EXFOR) функцией вида $\chi_{\alpha n}(E) = a^{-1}\,(2\pi)^{-1/2}\cdot\exp(-(E-b)^2/2a^2)$, a = 0,85, b = 2,5 (см. Рисунок 1). В качестве опорных данных взяты результаты работы [3]. В этой работе приведены точные характеристики спектров нейтронов для топливной композиции PuO_2 массой 5,65 кг. Исследуемый в [3] термоэлектрический генератор, заправленный PuO_2, служит источником тепла и электроэнергии в космических спутниках. Измерения выполнены с целью проектирования защиты основного оборудования аппарата от излучения.

В работе, с использованием данных о выходе нейтронов и многогрупповых подходов (БНАБ-78,-93), получен 28-групповой спектр плотности потока нейтронов (Ф(E),1/см^2/с/МэВ) и величина подкритичности системы ~$1/(1-k_{eff})$. Большое внимание уделено определению функции распределения нейтронов.

Расчетные данные хорошо согласуются с результатами, выполненными с использованием расчетного кода программы ANISN [3] и SCALE-4.3 (KENO- V.a, ENDF/B-V).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белл Д., Глесстон С. Теория ядерных реакторов. М.: Атомиздат, 1974.

2. M.N. Plevaka, S.V. Bedenko, I.M. Gubaidulin, V.V. Knyshev. «Neutron-physical studies of dry storage systems of promising fuel compositions». Bulletin of the Lebedev Physics Institute. V. 42. №. 8. P. 240-243 (2015).

3. Taherzadeh M., Peter J. Gingo. Neutron radiation characteristics of plutonium dioxide fuel // Nuclear Technology. 1972. V. 15(3). P. 396–410.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДСОРБЦИИ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ НА БИОСОВМЕСТИМЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТОВ

Е.В. Мараева
Научный руководитель: профессор, д.ф.м.н. В.А.Мошников
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),
Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5, 197376
E-mail: jenvmar@mail.ru

Согласно оценкам [1, 2], в настоящее время в России практически нет производителей, которые выпускали бы конкурентоспособные расходные материалы и оборудование для рынка стоматологии. По данным аналитиков, доля импорта на рынке медицинских товаров составляет 75-90%. Стоимость расходных материалов для стоматологии уже увеличилась примерно на 50% за счет роста курсов доллара и евро. Дальнейшее повышение будет также зависеть от ослабления национальной валюты. При этом, как говорят участники рынка, стоматологи стараются не повышать стоимость работы врачей, увеличивая цены лишь на размер стоимости расходных материалов. В связи с этим актуальной задачей является получение и разработка методов анализа материалов, обладающим значительным сходством с минеральной составляющей зубной и костной ткани человека, на основе которого возможно получение биосовместимой керамики для стоматологии в России.

Настоящая работа посвящена созданию программного продукта для анализа структурных свойств биосовместимых наноматериалов для стоматологии и тестовых образцов в виде порошка гидроксиапатита кальция $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$.

Согласно [3], кость – это сложный органоминеральный композит, состоящий на 70% из фосфатов кальция, на 20% из коллагена и на 9% из воды. Биоматериалы, претендующие на роль пломб и имплантов [4], должны удовлетворять требованиям, диктуемым структурой, составом и свойствами зубной и костной ткани человека, таким как отсутствие нежелательных химических реакций с тканями и межтканевыми жидкостями, отсутствие коррозии; близость механических характеристик биосовместимого материала к параметрам зубной или костной ткани. С точки зрения биологических свойств необходимо отсутствие реакций со стороны иммунной системы организма.

Всем перечисленным свойствам соответствует пористая керамика на основе гидроксиапатитов кальция. Исключение составляют механические характеристики – в настоящее время ведутся работы по совмещению гидроксиапатитов с другими материалами для увеличения прочностных характеристик порошков, используемых для производства биокерамики.

В целом, порошки, используемые для создания биокерамики, должны отвечать следующим требованиям:

1) близость частиц, составляющих порошок, по размеру, для образования в процессе дальнейшего спекания керамического материала, обладающего однородностью и характеризующегося отсутствием микротрещин;

2) отсутствие микропор в частицах, составляющих порошок;

3) воспроизводимость параметров пористой структуры в процессе синтеза.

Соответственно, необходимо развитие эффективных методов анализа, обеспечивающих оценку всех перечисленных выше характеристик. В настоящей работе предлагается использовать адсорбционные методы анализа, заключающиеся в измерении удельной поверхности исследуемого порошка. Данные результаты, с совокупности с данными о плотности и составе порошка, позволят с помощью создаваемого программного продукта оценить все перечисленные выше параметры материала.

В отличие от других методов исследования структурных характеристик образцов, адсорбционные методы анализа [5] имеют ряд преимуществ: возможность исследования большого объема материала в один прием (в отличие от локальных методов, где анализируются отдельные участки образца и результаты исследования усредняются), возможность исследования материалов с большой шероховатостью, где другие методы анализа поверхности неприменимы или нежелательны. Полученные результаты позволят оценить близость исследуемого материала к характеристикам дентина и костной ткани человека по таким параметрам как наличие или отсутствие микропор, которые могут привести к уменьшению прочности получаемого биоматериала, размер частиц порошка, удельная поверхность, распределение пор по размерам.

В результате работы с помощью специально созданного программного обеспечения в среде LabView проведено моделирование процессов адсорбции и капиллярной конденсации инертных газов (азот, аргон) с использованием в качестве адсорбентов порошков гидроксиапатита кальция, синтезированных из водных растворов с использованием в качестве прекурсоров нитрата кальция и гидроортофосфата аммония. Определены параметры их мезопористой структуры, такие как распределение пор по размерам, удельная поверхность, средний удельный размер частиц в порошке. Также проанализированы параметры микропористой структуры с привлечением сравнительных адсорбционных методов анализа. Установлены режимы термообработки порошков, при которых частицы, составляющие порошок, наиболее близки по размерам (20 нм) к характеристикам дентина человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манашеров Т.О. Динамика и объем производства и импорта стоматологических материалов и оборудования в России // Проблемы современной экономики. – 2011. – №. 3. – С. 301 – 304.
2. Business Stat. Анализ рынка стоматологических услуг в России в 2011-2015 гг, прогноз на 2016-2020 гг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.businesstat.ru/images/demo/stomatology_russia_2017.pdf – 10.07.17.
3. Дорожкин С.В., Агатопоулус С. Биоматериалы: обзор рынка // Химия и жизнь. –2002. –№ 2. – С. 8-10
4. Путляев В. И. Современные биокерамические материалы // Соросовский образовательный журнал. – 2004. – Т. 8. – №. 1. – С. 44-50.
5. Белорус А.О., Мараева Е.В., Спивак Ю.М. Современные методы анализа параметров пористой структуры материалов. Исследование порошков пористого кремния методом капиллярной конденсации // Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета ЛЭТИ. – 2015. – Т. 2. – С. 11-14.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

В.А. Микушина, И.Ю. Смолин
Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. И.Ю. Смолин
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: mikushina_93@mail.ru

Пористые керамические материалы обладают рядом уникальных свойств: высокой твердостью, износостойкостью, огнеупорностью, химической стойкостью, низкой плотностью. Регулируя характеристики поровой структуры в процессе изготовления керамики, можно улучшать те или иные физико-химические свойства керамик. Благодаря своим отличительным свойствам, пористая керамика пользуется широким спросом в различных областях применения. Например, изделия из пористой керамики используются в химической промышленности. К ним относятся огнеупорные изделия, работающие при высоких температурах в условиях воздействия агрессивных сред, и фильтрующие материалы. Использование пористой керамики в строительстве обусловлено следующими её свойствами: низкая теплопроводность, хорошая устойчивость к окружающей среде и низкая плотность. Активно обсуждается применение пористых керамик в качестве биомедицинских имплантов. Одним из перспективных и интересных классов керамик для различных областей применения является керамика с иерархической поровой структурой [1, 2].

Для описания механического поведения таких материалов принято использовать многоуровневый подход. Так, авторы работы [3] предложили вариант многоуровневого подхода для композиционных материалов с учетом повреждаемости и показали, что данный подход позволяет корректно качественно и количественно описывать поведение материалов с иерархической поровой структурой. В работе [4] многоуровневый подход использован для моделирования механического поведения керамик с бимодальной пористой структурой. Отличием многоуровневого подхода является способность учитывать особенности структуры и поведение материала на каждом масштабном уровне.

В настоящей работе предлагается на основе экспериментальных данных о распределениях по размерам «крупных» и «мелких» пор ввести в рассмотрение два мезоуровня: мезо I и мезо II. Соответственно рассматриваются два уровня моделирования, на которых явно учитываются «мелкие» и «крупные» поры. На каждом из мезоуровней определяются средние эффективные значения упругих и прочностных свойств, а также их статистические характеристики. При моделировании на мезоуровне I для материала «матрицы» используются механические характеристики беспористого материала. Полученные на мезоуровне I осредненные характеристики пористого материала переносим на мезоуровень II для задания механических характеристик материала «матрицы» на данном уровне при моделировании. Полученные по такой же технологии эффективные механические характеристики мезоуровня II должны соответствовать эффективным характеристикам макроуровня. Этим обеспечивается взаимосвязь разных уровней моделирования

Для моделирования деформации и разрушения пористых керамик в настоящей работе используются определяющие уравнения упругой повреждаемой среды, основанные на кинематическом описании поврежденности в рамках термодинамики необратимых процессов [5].

По экспериментальным данным для алюмооксидной керамики с иерархической пористой структурой, приведенным в статье [2], составлены геометрические структуры пористых мезообъемов с интегральной пористостью 50 % и проведено численное моделирование их деформации в условиях одноосного сжатия. Полученные в результате расчетов данные об эффективном модуле Юнга и предела прочности при сжатии соответствуют экспериментам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ohji T., Fukushima M. Macro-porous ceramics: processing and properties // International Materials Reviews. – 2012. – Vol. 57. – №. 2. – P. 115–131.

2. Григорьев М.В., Савченко Н.Л., Буякова С.П., Кульков С.Н. Неупругое поведение при сжатии керамики с иерархической поровой структурой // Письма в ЖТФ. – 2017. – Т. 43. – Вып. 15. – С. 79–86.

3. Советова Ю.В., Сидоренко Ю.Н., Скрипняк В.А. Многоуровневый подход к определению эффективных свойств композита с учетом повреждаемости // Физическая мезомеханика. – 2013. – Т. 16. – № 5. – С. 59-65.

4. Коноваленко Иг.С., Смолин А.Ю., Псахье С.Г. Многоуровневое моделирование деформации и разрушения хрупких пористых материалов на основе метода подвижных клеточных автоматов // Физическая мезомеханика. – 2009. – Т. 12. – № 5. – С. 29–36.

5. Michael Brünig, Alexander Michalski. A stress-state-dependent continuum damage model for concrete based on irreversible thermodynamics // International Journal of Plasticity. – 2017. – V.90. – P. 31–43.

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТУРБУЛЕНТНЫЕ РЕЖИМЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ В ЗАМКНУТОМ КУБЕ

И.В. Мирошниченко
Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. М.А. Шеремет
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: miroshnichenko@mail.tsu.ru

В последнее время наметился возросший интерес к анализу турбулентных режимов конвективного теплопереноса в замкнутых областях с учетом теплового поверхностного излучения. На данный момент проведено достаточно большое количество теоретических исследований процессов конвективно-радиационного теплопереноса в замкнутых полостях в двумерном приближении [1, 2]. Такие исследования имеют широкий спектр приложений, связанных, например, с проектированием активных и пассивных систем охлаждения тепловыделяющих элементов в электронике и энергетике [2], с обеспечением энергоэффективности строительных конструкций и сооружений [3], а также солнечных коллекторов [4]. Исследований, посвященных совместному анализу турбулентных режимов естественной конвекции и теплового излучения в 3D областях различной геометрии, не так много [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**–7], что объясняется сложностью математического аппарата, необходимого для реализации моделей радиационного теплопереноса, а так же существенными временными затратами при решении нестационарных задач.

Целью настоящей работы является математическое моделирование турбулентной естественной конвекции и теплового поверхностного излучения в замкнутом кубе, представленном на рис 1, при наличии двух изотермических и четырех адиабатических граней. На вертикальной стенке $x = 0$ поддерживается постоянная температура T_h, а на противоположной вертикальной стенке – $T_c < T_h$. Остальные внешние грани теплоизолированы. Предполагалось, что теплофизические свойства материала стенок и газа не зависят от температуры. Газ считался теплопроводной ньютоновской жидкостью, удовлетворяющей приближению Буссинеска. Режим течения – турбулентный. Теплообмен излучением моделируется на основе приближения поверхностного излучения [2, 3, 5]. Поверхности твердых стенок считаются диффузно-серыми.

Математическая модель формулируется в безразмерных естественных переменных «скорость – давление – температура». В качестве модели турбулентности рассматривалась стандартная k-ε модель. Уравнения неразрывности, движения и энергии в газовой полости, а также граничные и начальные условия для рассматриваемой задачи подробно описаны в [6].

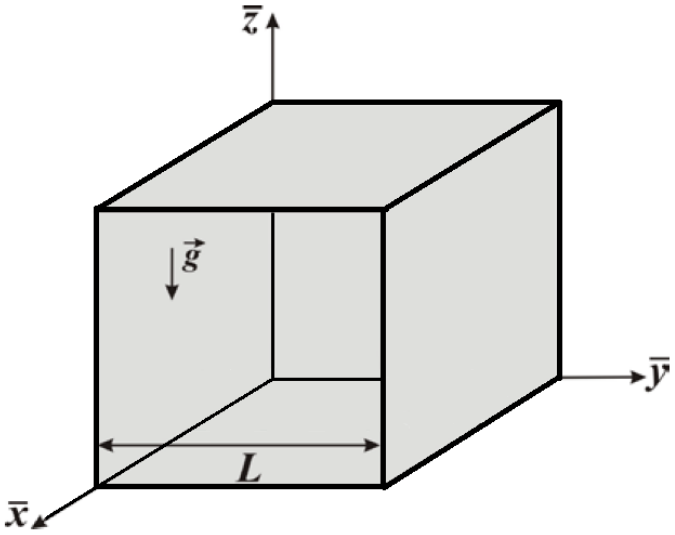


Рис.1. Область решения

Дифференциальные уравнения с соответствующими начальными и граничными условиями решены методом контрольного объема на структурированной сетке. Для аппроксимации конвективных слагаемых применялся степенной закон, для диффузионных слагаемых – центральные разности [6]. Для совместного определения полей скорости и давления применялась процедура SIMPLE. Для определения безразмерной плотности радиационного потока применялся метод сальдо [3]. Разработанный метод решения был протестирован на множестве сеток и на модельных задачах конвективного теплопереноса.

Исследование проводилось в широком диапазоне изменения определяющих параметров. Особое внимание было уделено анализу влияния приведенной степени черноты поверхностей как на локальные термогидродинамические характеристики (поля скорости и температуры), так и на интегральные параметры (средние числа Нуссельта на границах раздела сред) в нестационарном режиме.

В результате проведенных исследований показано, что увеличение приведенной степени черноты ограждающих стенок приводит к снижению интенсивности конвективного теплообмена на поверхности стенок. Сравнивая результаты плоской и пространственной постановок, можно утверждать, что наличие третьей координаты вносит существенные коррективы в конфигурацию течения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 17-79-20141).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xaman J., Arce J., Alvarez G., Chavez Y. Laminar and turbulent natural convection combined with surface thermal radiation in a square cavity with a glass wall // International Journal of Thermal Sciences. – 2008. – Vol. 47. – Pp. 1630–1638.
2. Мартюшев С.Г., Шеремет М.А. Влияние поверхностного излучения на режимы сопряженной естественной конвекции в замкнутой полости с локальным источником энергии // Теплофизика и аэромеханика. - 2013. - Т. 20. - № 4. - С. 427–438.
3. Miroshnichenko I.V., Sheremet M.A., Mohamad A.A. Numerical simulation of a conjugate turbulent natural convection combined with surface thermal radiation in an enclosure with a heat source // International Journal of Thermal Sciences. - 2016. - Vol. 109. - Pp. 172-181.
4. Muresan C., Menezo C., Bennacer R., Vaillon R., Numerical simulation of a vertical solar collector integrated in a building frame: Radiation and turbulent natural convection coupling // Heat Transfer Engineering. - 2006. – Vol. 27. – Pp. 29–42.
5. Мартюшев С.Г., Мирошниченко И.В., Шеремет М.А. Численный анализ пространственных нестационарных режимов сопряженного конвективно-радиационного теплопереноса в замкнутом объеме с источником энергии // Инженерно-физический журнал. – 2014. – Т. 87, № 1. – С. 119–128.
6. Sheremet M.A., Miroshnichenko I.V. Numerical study of turbulent natural convection in a cube having finite thickness heat-conducting walls // Heat and Mass Transfer. – 2015. – Vol. 51. – Pp. 1559–1569.
7. Valencia L., Pallares J., Cuesta I., Grau F.X., Turbulent Rayleigh-Benard convection of water in cubical cavities: a numerical and experimental study // Int. J. Heat Mass Transfer. – 2007. – Vol. 50. – Pp. 3203–3215.

ВЛИЯНИЕ ЛУЧИСТОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА НА МИНИМАЛЬНУЮ ЭНЕРГИЮ ИСКРОВОГО ЗАЖИГАНИЯ ВЗВЕСИ НАНОРАЗМЕРНОЙ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

К.М. Моисеева, А.Ю. Крайнов
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: Moiseeva_KM@t-sk.ru

Задача об искровом зажигании взвеси угольной пыли в воздухе - одна из классических задач физики горения и взрыва. Для численного моделирования искрового зажигания формулируется математическая постановка, учитывающая процессы теплового, химического и динамического взаимодействия между газом и частицами, а также динамику течения двухфазной среды.

В настоящей работе представлены результаты численного исследования искрового зажигания взвеси наноразмерной угольной пыли в воздухе. В работе учитываются потери тепла на излучение от частиц. Полагается, что вся взвесь состоит из наноразмерной фракции угольной пыли с размером частиц $r_k = 2\cdot10^{-9} - 2\cdot10^{-8}$ м. Математическая модель основана на двухфазной двухскоростной модели реагирующей газодисперсной среды [1], а также постановках задач из работ [2 – 3] и определяется системой уравнений:

$$\frac{\partial r\rho_g}{\partial t} + \frac{\partial r\rho_g u_g}{\partial r} = r\sum_i G_i; \tag{1}$$

$$\frac{\partial r\left(\rho_g u_g\right)}{\partial t} + \frac{\partial r\left(\rho_g u_g^2 + p\right)}{\partial r} = p - r\sum_i \tau_{fr,i} + r\sum_i G_i u_{k,i}; \tag{2}$$

$$\frac{\partial r\rho_g\left(\varepsilon_g + 0.5u_g^2\right)}{\partial t} + \frac{\partial r\left[\rho_g u_g\left(\varepsilon_g + 0.5u_g^2\right) + pu_g\right]}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r}\left(r\,\lambda_g\left(T_g\right)\frac{\partial T_g}{\partial r}\right) + r\sum_i\left(Gc_k T_{k,i} - u_{k,i}\tau_{fr,i} + G_i\frac{u_{k,i}^2}{2} + \alpha_{k,i}\,n_{k,i}S_{k,i}\left(T_{k,i} - T_g\right)\right); \tag{3}$$

$$\frac{\partial r\rho_{O2}}{\partial t} + \frac{\partial r\rho_{O2}u_g}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r}\left(rD_g\left(T_g\right)\frac{\partial\rho_{O2}}{\partial r}\right) - r\alpha_1\sum_i G_i; \tag{4}$$

$$\frac{\partial r\rho_{k,i}}{\partial t} + \frac{\partial r\rho_{k,i}u_{k,i}}{\partial r} = -rG_i; \tag{5}$$

$$\frac{\partial r\left(\rho_{k,i}u_{k,i}\right)}{\partial t} + \frac{\partial r\rho_{k,i}u_{k,i}^2}{\partial r} = r\tau_{fr,i} - rGu_{k,i}, \tag{6}$$

$$\frac{\partial r\rho_{k,i}\left(\varepsilon_{k,i} + 0.5u_{k,i}^2\right)}{\partial t} + \frac{\partial r\rho_{k,i}u_{k,i}\left(\varepsilon_{k,i} + 0.5u_{k,i}^2\right)}{\partial r} = -r\alpha_{k,i}\,S_{k,i}n_{k,i}\left(T_{k,i} - T_g\right) - \pi n_{k,i}r_{k,i}^2\left(4\sigma\varepsilon T_{k,i}^4 - Q_{iz}c\right) + rQG_i - rG_i c_k T_{k,i} - 0.5rG_i u_{k,i}^2 + r\tau_{fr,i}u_{k,i}, \tag{7}$$

$$\frac{\partial rn_{k,i}}{\partial t} + \frac{\partial rn_{k,i}\,u_{k,i}}{\partial r} = 0, \tag{8}$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{r}{3\pi n_{k,i}r_{k,i}^2}\frac{\partial Q_{iz}c}{\partial r}\right) = -\pi n_{k,i}r_{k,i}^2\left(4\sigma\varepsilon T_{k,i}^4 - Q_{iz}c\right), \tag{9}$$

$$p = \rho_g R_g T_g; \tag{10}$$

$$r_{k,i} = \sqrt[3]{3\rho_{k,i}/4\pi\rho_k^0 n_{k,i}}; \tag{11}$$

$$T_g\left(r,t_z\right) = T_b + \frac{Q_z}{4\pi\lambda_b t_z}\exp\left(-r^2/4\chi_b t_z\right),\ T_{k,i}\left(r,t_z\right) = T_b,\ \rho_{O2}\left(r,t_z\right) = \rho_{O2,b},$$
$$\rho_{k,i}\left(r,t_z\right) = \rho_{kb,i},\ u_g\left(r,t_z\right) = u_{k,i}\left(r,t_z\right) = 0,\ \rho_g\left(r,t_z\right) = \rho_b,\ n_{k,i}\left(r,t_z\right) = n_{kb,i}; \tag{12}$$

$$\frac{\partial \rho_{O2}(0,t)}{\partial r} = \frac{\partial T_g(0,t)}{\partial r} = \frac{\partial \rho(0,t)}{\partial r} = \frac{\partial \rho_{k,i}(0,t)}{\partial r} = \frac{\partial Q_{iz} c(0,t)}{\partial r} = 0,$$
$$\frac{\partial n_{k,i}(0,t)}{\partial r} = \frac{\partial T_{k,i}(0,t)}{\partial r} = 0,\ u_{k,i}(0,t) = u_g(0,t) = 0, \qquad (13)$$
$$Q_{iz} c(\infty,t) = 4\sigma\varepsilon T_b^4,\ \frac{\partial \rho_{O2}(\infty,t)}{\partial r} = \frac{\partial T_g(\infty,t)}{\partial r} = 0.$$

В (1) – (13) $\varepsilon_{k,i} = c_k T_{k,i}$ – внутренняя энергия частиц *i*-ой фракции, $\varepsilon_g = p/\rho_g(\gamma - 1)$ – внутренняя энергия газа, $G_i = n_{k,i} S_{k,i} j_{1,i} \rho_{O2}$ - скорость изменения массы частиц, $j_{1,i} = \beta_i k_0 \exp(-E_a/R_u T_{k,i}) / \left[\beta_i + k_0 \exp(-E_a/R_u T_{k,i})\right]$ – скорость гетерогенной реакции на частицах, $\beta_i = \lambda_g(T_g) Nu_D / (c_g \rho_g r_{k,i})$ – коэффициент массоотдачи частиц, $\alpha_1 = \mu_{O2}\nu_{O2}/\mu_C\nu_C$ – коэффициент расхода кислорода в реакции с частицами угольной пыли, $\lambda_g = \lambda_{st}(T_g/T_v)^{2/3}$ – коэффициент теплопроводности газа, $D_g = D_{st}(T_g/T_v)^{2/3}$ – коэффициент диффузии газа, $\gamma = c_p/c_v$ – показатель адиабаты, Q_{iz} – объемная плотность излучения, c – скорость света, ε - степень черноты, σ – коэффициент Стефана-Больцмана, $\tau_{fr,i} = n_{k,i} F_{fr,i}$,, - сила трения, $F_{fr,i} = C_{r,i} S_{m,i} \rho_g (u_g - u_{k,i}) |u_g - u_{k,i}| / 2$ – сила взаимодействия одиночной частицы с газом, $C_{r,i} = 24(1 + 0{,}15 \mathrm{Re}_i^{0,682}) / \mathrm{Re}_i$ – коэффициент трения, $\mathrm{Re}_i = 2\rho_g r_{k,i} |u_g - u_{k,i}| / \eta$ – число Рейнольдса, $Nu_{k,i} = 2 + (Nu_{l,i}^2 + Nu_{t,i}^2)^{1/2}$ – число Нуссельта, где $Nu_{l,i} = 0{,}664 \mathrm{Re}_i^{0.5}$, $Nu_{t,i} = 0{,}037 \mathrm{Re}_i^{0,8}$, $\alpha_{k,i} = Nu_{k,i} \lambda_g / 2 r_{k,i}$ – коэффициент теплообмена газа с частицами. Для остальных параметров использованы общепринятые обозначения. Индекс *i* изменяется от 1 до *Nk*, 1 – соответствует наиболее крупным частицам, *Nk* – наиболее мелким.

Расчеты проводились для наноразмерной фракции угольной пыли с размером частиц $r_k = 2 \cdot 10^{-9} - 2 \cdot 10^{-8}$ м. Степень черноты задавалась равной $\varepsilon = 0{,}3 - 0{,}7$. В расчетах варьировался состав аэровзвеси, была решена задача для монодисперсной, бидисперсной и полидисперсной взвеси с частицами, размер которых не превышал $r_k = 2 \cdot 10^{-8}$ м. Массовая концентрация угольной пыли задавалась равной $m_{dust} = \sum_{i=1}^{Nk} \rho_{kb,i} = 0.4$ кг/м^3. Решение задачи выполнено при теплофизических и кинетических параметрах: $\alpha_1 = 2{,}67$, $k_0 = 79 \cdot 10^3$ м/с, E_a =135 кДж/моль, Q = 20 МДж/кг, $\eta = 2 \cdot 10^{-5}$ Па·с, $\rho_k^0 = 1400$ кг/м^3, c_k = 1464,4 Дж/(кг·К), $c_{p,g}$ = 1065 Дж/(кг·К), $c_{v,g}$ = 768,2 Дж/(кг·К), $D_{st} = 1{,}992 \cdot 10^{-5}$ м^2/с, $\rho_{O2,b} = 0{,}264$ кг/м^3, p_b = 0,1 МПа, λ_{st} = 0,025 Вт/(м·К), R_u = 8,31 Дж/(моль·К), γ = 1,39, T_b = 300 К. Из результатов численного решения определено влияние размера частиц на минимальную энергию искрового зажигания аэровзвеси угольной пыли. Показано влияние лучистого теплопереноса на минимальную энергию искры.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-20011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нигматулин Р. И. Динамика многофазных сред. – М.: Наука, 1987.
2. Krainov A. Yu., Moiseeva K. M. Mathematical modelling of sparkplug ignition of a coal-dust monodisperse suspension in a methane-air mixture // MATEC Web of Conferences. – 2017 – V. 115, 03017.
3. Крайнов А.Ю. Влияние лучистого теплопереноса на минимальную энергию искрового зажигания газовзвесей // Физика горения и взрыва. – 2001. – Т. 37, – № 3. – С. 16-24.

РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА БОРНОЙ КИСЛОТЫ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА ВВЭР В СЛУЧАЕ АВАРИИ

А.В. Морозов, А.В. Питык, С.В. Рагулин, Н.С. Ильичева, Д.Ф. Закиров
Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А. И. Лейпунского»,
Россия, г. Обнинск, пл. Бондаренко, 1, 249033
E-mail: sas@ippe.ru

Пассивные систем безопасности современных проектов атомных электростанций (АЭС) предусматривают возможность длительного (до 72 часов) автономного охлаждения активной зоны (АЗ) при запроектных авариях. В РФ проект реакторной установки ВВЭР-ТОИ, разработанный на основе проекта АЭС-2006, полностью соответствует принятым в мировой практике нормам и правилам. В данном проекте охлаждение активной зоны при запроектных авариях с разрывом главного циркуляционного контура и потерей всех источников переменного тока в течение 72 ч обеспечивается за счет функционирования пассивных систем безопасности (ПСБ). Системы гидроёмкостей первой, второй и третьей ступеней (ГЕ-1, ГЕ-2, ГЕ-3), входящие в состав ПСБ, за счет последовательной подачи в реактор раствора борной кислоты с концентрацией 16 г/кг, предотвращают осушение активной зоны и способствуют отводу остаточного тепла от АЗ при течах из первого контура реакторной установки в условиях полной потери источников переменного тока при совместной работе с системой пассивного отвода тепла (СПОТ), отводящей тепло к окружающему воздуху.

Учитывая длительность аварийного процесса, кипение борсодержащего теплоносителя и малое содержание борной кислоты в паре, выходящем из реактора, в активной зоне могут возникнуть условия при которых возможно накопление и последующая кристаллизации борной кислоты. Данные процессы могут привести к появлению хлопьев борной кислоты в теплоносителе или образованию отложений на поверхностях тепловыделяющих элементов, что может привести к нарушению процесса отвода тепла от АЗ. В связи с этим, важное прикладное значение приобретают исследования, связанные с процессами массопереноса борной кислоты в активной зоне ВВЭР в случае аварии.

Для оценки возможности накопления и кристаллизации борной кислоты в активной зоне ВВЭР был проведен расчетный анализ изменения концентрации борной кислоты в реакторе в аварийном режиме.

Вынос борной кислоты из активной зоны в случае аварии может осуществляться двумя способами – путем капельного уноса в составе пароводяной смеси и вследствие растворяющей способности пара. Известен ряд зависимостей, позволяющих определить величину влажности пара, выходящего из реактора [1]. Однако, эти зависимости покрывают ограниченный диапазон параметров и не всегда применимы для расчета капельного уноса влаги из активной зоны ВВЭР в течении всего периода аварии.

Для более корректного моделирования при проведении расчетного анализа весь аварийный процесс был разделен на два этапа (рис.1). В течение первого временного отрезка (ранняя стадия аварии) (рис.1.I) наблюдается очень высокое паросодержание в объеме жидкости, что приводит к тому, что вспененный уровень поднимается выше верхней перфорации реактора, и пароводяная смесь выплескивается из активной зоны в опускную шахту реактора и далее в разрыв трубопровода. Длительность данного этапа составляет ~ 7 часов. В дальнейшем интенсивность остаточного энерговыделения снижается, паросодержание в объеме жидкости уменьшается и уровень раствора борной кислоты устанавливается по высоте разорванного патрубка ГЦК (второй этап аварийного процесса – рис. 1.II).

При проведении расчета был сделан ряд допущений, необходимость которых обусловлена либо сложностью процессов, происходящих в контуре, либо недостаточностью данных по свойствам водных растворов борной кислоты. В частности, теплофизические свойства раствора борной кислоты, такие как плотность, вязкость и теплопроводность, были приняты равными параметрам для воды при соответствующих условиях.

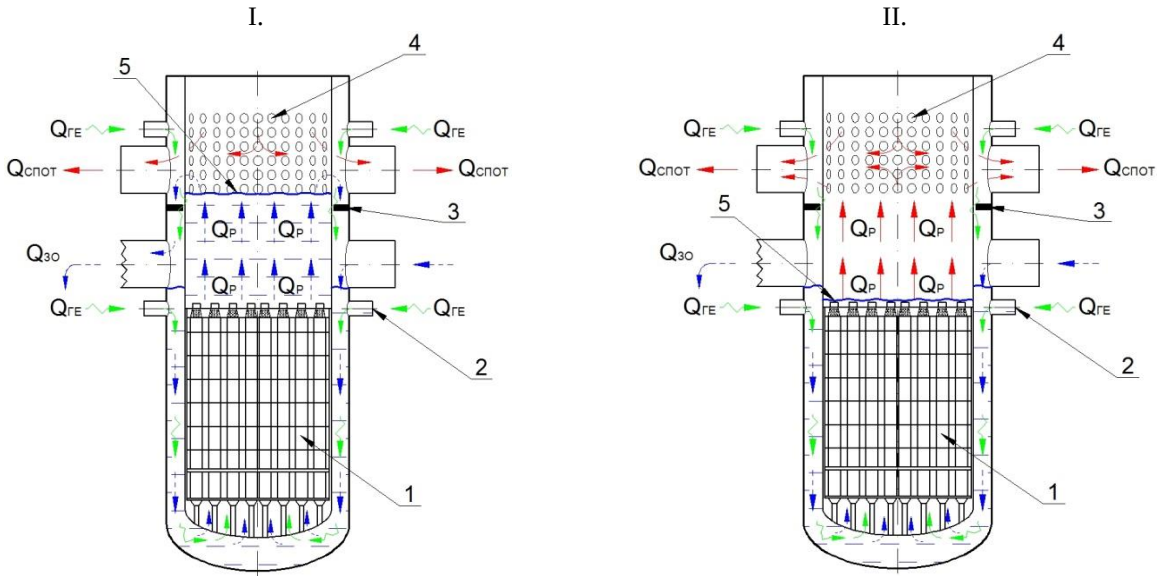


Рис. 1. Массоперенос борной кислоты в РУ ВВЭР при авариях с разрывом главного циркуляционного трубопровода: 1 – активная зона; 2 – патрубок системы аварийного охлаждения зоны; 3 – разделительный бурт; 4 – перфорация шахты реактора; 5 – уровень жидкости;
→ – поток пара; – – → – поток конденсата и теплоносителя;
⇝ – поступление раствора борной кислоты из систем гидроемкостей;
Q_P – тепловая энергия, выделяющаяся в реакторе; $Q_{ЗО}$ – энергия поступающего из течи в объём защитной оболочки пара; $Q_{ГЕ}$ – доля энергии, отводимая жидкостью из гидроемкостей; $Q_{СПОТ}$ – часть тепловой энергии, уходящая с паром на конденсацию в парогенератор за счет теплообмена в СПОТ

Проведенная расчетная оценка показала превышение уровня предельной концентрации борной кислоты в активной зоне ВВЭР через ~ 43 часа после начала аварии. Концентрация H_3BO_3 в конце 72 часов аварийного процесса составит ~ 1130 г/кг H_2O, что существенно превышает предельную концентрацию борной кислоты, которая при рассматриваемой температуре насыщения воды составляет 415 г/кг. Данный процесс может вызвать ее кристаллизацию на поверхности твэлов и ухудшение отвода тепла от АЗ. Отметим, что данный расчет был проведен с использованием ряда консервативных допущений и не учитывал вынос борной кислоты из активной зоны вследствие растворяющей способности пара. В ходе проведения расчетного анализа было установлено, что в настоящий момент существует неопределенность в имеющихся зависимостях для вычисления влажности пара и паросодержания среды на выходе из активной зоне ВВЭР в случае аварии. Данные параметры являются определяющими при анализе процессов массопереноса борной кислоты. Для устранения имеющихся неопределенностей необходимы экспериментальные исследования процессов массопереноса H_3BO_3 при параметрах, характерных для аварийных режимов АЭС с ВВЭР.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №16-19-10649).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутепов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. – М.: Высшая школа, 1986. - 448 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕУПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ МНОГОФАЗНЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ УПРОЧНЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННОСТИ

В.С. Озерных
Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. П.С. Волегов
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, 614990
E-mail: ozernykh@yandex.ru

При исследовании интенсивных неупругих деформаций поликристаллических материалов важно учитывать эволюцию внутренней структуры материала, в том числе его дефектной подсистемы. Описание эволюции дислокационной структуры в физических теориях пластичности [1] вводят через соотношения, определяющие зависимость изменения критических сдвиговых напряжений на каждой из систем скольжения в зависимости от различных параметров (внутренних переменных). Кроме того, в результате взаимодействия решеточных дислокаций с границами зерен могут возникать внутренние поля напряжений, препятствующие, или наоборот, способствующие движению решеточных дислокаций и, таким образом, приводящие к активизации или блокировке систем скольжения.

Наибольший интерес в исследовании может представлять изучение структуры и поведения при деформировании многофазных материалов, поскольку такие материалы имеют широкое применение в промышленности. Существенное влияние на улучшение физико-механических свойств многофазных материалов (как и однофазных) оказывают внутренние границы, в том числе межфазные.

На макроуровне (уровне образца или конструкции) под упрочнением обычно понимают увеличение предела текучести или сопротивления деформации. Существует множество физических причин, приводящих к упрочнению: упрочнение связывают с взаимодействием дислокаций между собой, со скоплениями дислокаций [1], также существенное влияние на величину предела текучести материала оказывает наличие границ зерен (или фаз) в поликристалле [2], поскольку границы зерен являются мощным препятствием для движения дислокаций, а, следовательно, и причиной увеличения критических напряжений сдвига дислокаций. В связи с этим, возникает необходимость физически корректного описания эффектов, связанных с взаимодействием дислокаций друг с другом, а также с границами зерен [3].

При переходе решеточной дислокации из одного зерна в другое сквозь границу, в последней остается т.н. дислокация ориентационного несоответствия (ДОН). ДОНы в свою очередь создают поля напряжений, препятствующие (или способствующие) дальнейшему движению дислокаций в данной системе скольжения [4]. Чем больше дислокаций прошло через границу, тем более высокие поля напряжений создаются ДОНами вблизи этой границы. Увеличение напряжений, необходимых для движения дислокации в направлении границы зерна, приводит к возникновению зернограничного упрочнения.

В рамках работы рассматривается также механизм т.н. межзеренного накопления поврежденности (некоторой меры, характеризующей количество специальных дефектов (микротрещин или микропор) в рассматриваемом материале в данный момент деформирования), для которого характерно образование и развитие дефектов в приграничной области зерен. По достижению этой мерой некоторого критического значения можно предсказать момент разрушения материала. В работе показано, что появление поля внутренних напряжений ДОН может привести к блокировке системы скольжения в направлении «к границе», что в свою очередь, приводит к формированию скоплений дислокаций одного знака вблизи границы. При определенных условиях может произойти слияние головных дислокаций скопления и формирование микротрещины. Предложен способ учета внутренних напряжений через введение «обратных» напряжений в соотношении для скоростей сдвигов дислокаций по системам скольжения. Рассчитаны критические значения эффективных напряжений, достижение которых может привести к появлению микротрещин вблизи границы, получены эволюционные уравнения для плотности такого рода дефектов. Кроме того, явным образом учитывается средний размер зерна в материале; получено, что материал с более мелким зерном обладает повышенными прочностными характеристиками, но при этом более подвержен появлению микротрещин вблизи границ зерен или фаз.

Показано, что поврежденность материала (как мера плотности микроповреждений) в процессе неупругого деформирования может как увеличиваться, так и уменьшаться. В ходе работы получено, что блокировка системы скольжения в некоторых случаях приводит к активизации новых, т.н. вторичных систем скольжения, вследствие чего дислокации «обходят» барьер, образованный на системе скольжения, благодаря чему поврежденность материала снижается.

Проведено сравнение кривых деформирования модельных материалов, соответствующих по характеристикам отдельным фазам дуплекс стали, и собственно дуплекс стали, характеристики фаз которой приведены в работе [5]. Основываясь на данных, представленных в работе [5], отнесение кристаллита к той или иной фазе определялось случайно по равномерному закону.

На рис. 1 представлены результаты моделирования неупругого деформирования многофазного материала (дуплекс стали) и отдельных модельных материалов, соответствующим по характеристикам отдельным фазам дуплекс стали. Численные эксперименты проводились с учетом «обратных» напряжений, создаваемых ДОНами.

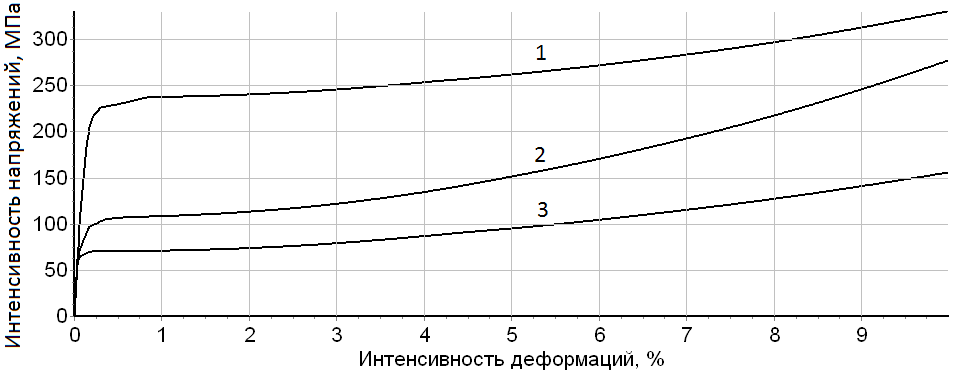


Рис. 1. Кривые деформирования для дуплекс стали (1) и модельных материалов, соответствующим по характеристикам отдельным фазам дуплекс стали: (2) – ОЦК фаза, (3) – ГЦК фаза

Из кривых деформирования, представленных на рис. 1 можно заметить, что многофазный материал (кривая 1) обладает значительно б***о***льшим пределом текучести, по сравнению с чистым металлом (кривая 2 и 3), что подтверждается большим количеством известных экспериментальных данных. При этом видно, что при интенсивности деформаций примерно 0,5% происходит активизация механизма дополнительного упрочнения за счет внутренних полей напряжений, вызванных формированием ДОНов.

Таким образом, в работе проведена оценка влияния поля внутренних напряжений, создаваемого ДОНами на подходящие дислокации из зерна к границе. Получено, что такое поле внутренних напряжений может как тормозить, так и разгонять решеточные дислокации, в зависимости от направления движения последних. Изучено влияние полей напряжений, создаваемых ДОН, на процессы накопления и эволюцию поврежденности многофазного материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 17-19-01292.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трусов П.В., Волегов П.С., Кондратьев Н.С. Физические теории пластичности: учебное пособие. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. – 244 с.
2. Trusov P.V., Shveykin A.I., Nechaeva E.S., Volegov P.S. Multilevel models of inelastic deformation of materials and their application for description of internal structure evolution// Physical Mesomechanics. – 2012. – Т. 15, № 3-4. – С. 155-175.
3. Озерных В.С., Волегов П.С. Описание механизмов упрочнения при неупругом деформировании поликристаллов// Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2016. – Т.21, №3. – С. 1203-1206.
4. Кондратьев Н.С., Трусов П.В. Описание упрочнения систем дислокационного скольжения за счет границ кристаллитов в поликристаллическом агрегате// Вестник ПНИПУ. Механика. – 2012. – № 3. – С. 78-97.
5. Трусов П.В., Кондратьев Н.С. Описание неупругого деформирования двухфазных поликристаллических материалов// Деформация и разрушение материалов. – 2013.–№6.–С.8-15.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ПЛАМЕНИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОРИСТОЙ ГОРЕЛКЕ С УЧЕТОМ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ф.С. Палесский, С.С. Минаев
Научный руководитель: д.ф.-м.н. С.С. Минаев
Инженерная школа, Дальневосточный федеральный университет, Россия, г.Владивосток, ул. Суханова, 8, 690091
E-mail: palesskiy.fedor@gmail.com

Сжигание газового топлива внутри пористых материалов является перспективным методом производства тепловой энергии. Такой способ получения тепла обладает высокой эффективностью и хорошими экологическими характеристиками благодаря рекуперации тепла внутри пористого конвертера. Большую роль в увеличении эффективности таких горелочных устройств играет тепловое излучение высокой мощности от стенок пористого тела. Последние экспериментальные исследования в этой области [1] показали, что использование высокотемпературной металлокерамики для изготовления конвертеров позволяет достигать значения КПД 50% преобразования химической энергии топлива в энергию инфракрасного теплового излучения. В указанной работе были экспериментально изучены режимы работы цилиндрического пористого конвертера с горением газа. Было показано, что существует два независимых режима горения при одинаковых параметрах системы. В зависимости от начальных условий воспламенения газа, пламя может стабилизироваться внутри пористого конвертера или снаружи горелки, рядом с внешней поверхностью конвертера. При этом распределение температуры, мощность и эффективность работы горелочного устройства существенно отличаются для разных режимов работы (до 1.5 раз).

В настоящей работе произведено численное моделирование задачи горения предварительно перемешанной смеси газов в цилиндрической пористой горелке. Наряду с конвективным переносом тепла и теплопроводностью, учитывается радиационный теплоперенос внутри пористой среды и теплопотери в виде излучения из внутренних объемов пористого тела во внешнюю среду. Подобная модель сжигания газа в пористой среде с учетом теплового излучения уже была рассмотрена в работе [2], где было произведено сравнение вышеуказанной модели с традиционной моделью фильтрационного горения без учета тепловой радиации [3]. В отличие от задачи, рассмотренной в работе [2], в настоящем исследовании рассмотрены не только случаи стабилизации пламени внутри пористой среды, но также найдены стационарные решения, которые соответствуют горению во внутренней полости цилиндрического конвертера и во внешней среде в непосредственной близости от границы раздела с пористым материалом.

На рис. 1 представлены графики зависимости радиуса стабилизации пламени от скорости фильтрации свежей смеси. Кривая 1 (синие треугольники) соответствует случаю инициации пламени снаружи горелки в окружающей среде. Кривая 2 (черные квадраты) соответствует случаю поджигания газа во внутренней полости цилиндрического пористого конвертера. Вышеописанные стационарные режимы горения, полученные с помощью численного моделирования, хорошо согласуются с экспериментальными исследованиями, изложенными в работе [1]. В настоящей работе был произведен анализ результатов численного моделирования: профилей температуры в газе и в твердом теле, нормальной скорости пламени, эффективности и мощности излучения. Эти данные были сопоставлены с результатами экспериментальных исследований из работы [1] и показано хорошее качественное согласие. В частности численно показано, что при стабилизации пламени внутри горелки (кривая 2 на рис. 1) температура твердого тела достигает максимума на внутренней поверхности раздела пористой среды с газом и понижается при увеличении радиуса. Для случая, когда пламя стабилизируется во окружающей среде рядом с внешней поверхностью раздела пористого тела и газа (кривая 1 на рис. 1), наблюдается обратная зависимость: температура пористого тела достигает максимума на внешней поверхности пористого конвертера и убывает при уменьшении радиуса.

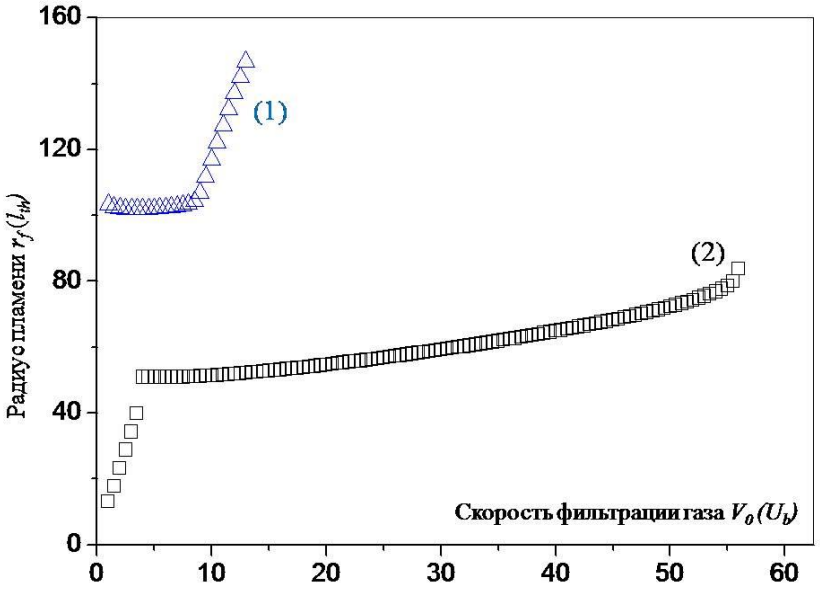


Рис. 1. Радиус стабилизации пламени (измеряется в единицах тепловой толщины l_{th}) в цилиндрической пористой горелке в зависимости от скорости фильтрации газа (измеряется в единицах адиабатической скорость горения U_b). Кривая (1) - инициация пламени снаружи горелки. Кривая (2) - воспламенение внутри горелки

В представленной работе предложена модель фильтрационного горения газов в цилиндрической пористой горелке, которая учитывает радиационный перенос тепла и позволяет получить стационарные решения как внутри пористого материала, так и в прилегающих областях. Эта модель дает возможность сделать качественные оценки мощности и эффективности теплового излучения от горелки для разных стационарных режимов горения. Результаты численного счета на основе этой модели находятся в хорошем качественном согласии с экспериментальными результатами, известными из литературы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fursenko R.V. et al. Temperature and radiative characteristics of cylindrical porous Ni–Al burners // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2016. – Т. 98. – С. 277-284.
2. Palesskii F. S., Fursenko R. V., Minaev S. S. Modeling of filtration combustion of gases in a cylindrical porous burner with allowance for radiative heat transfer //Combustion, Explosion, and Shock Waves. – 2014. – Т. 50. – №. 6. – С. 625-631.
3. Babkin V. S. Laevsky Y.M. Filtration gas combustion // Combust. Explos. Shok. Wavea. – 1987. – Т. 23. – С. 531-547.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПРОЦЕССА ВНЕДРЕНИЯ ИОНОВ В ПОВЕРХНОСТЬ МЕТАЛЛА В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

Е.С. Парфенова, А.Г. Князева
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. А.Г. Князева
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: linasergg@mail.ru

Среди многочисленных методов поверхностной обработки металлов, значительное внимание уделяется ионной имплантации. Данный метод имеет ряд преимуществ: возможность работать в широком диапазоне температур, точный контроль количества внедряемой примеси, возможность получения соединений, которые достаточно сложно получить другими способами и т.д. Но все же стоит отметить, что возможности этого способа модификации поверхности не реализованы в полной мере. Это связано с нехваткой детальных исследований, объясняющих ряд процессов и явлений, протекающих в материале при поверхностной обработке.

При внедрении потока ионов в поверхность подложки, одновременно с диффузионными процессами протекают и другие явления. Например, вследствие удара частиц о поверхность генерируются механические возмущения, возникают структурно-фазовые изменения, генерируются точечные дефекты и т.д. А ведь все процессы взаимозависимы, оказывают порой существенное влияние друг на друга и на конечный результат. Экспериментально достаточно сложно выявить значение конкретного процесса, поскольку как уже отмечалось, протекают они совместно. Математическое моделирование позволяет выделить интересуемые процессы и отбросить остальные. Таким образом, именно математическое моделирование дает возможность выявить роль каждого процесса независимо от остальных. Но для этой цели необходимо разрабатывать связанные модели, учитывающих взаимовлияние некоторых совместно протекающих процессов.

Цель работы состоит в исследовании характера взаимовлияния процессов диффузии примеси, распространения механических напряжений и деформаций в неизотермических условиях.

Предположим, что генерируемые напряжения упругие, скорости, ускорения и деформации малы, тогда для описания процесса внедрения примеси в поверхностный слой металла в случае одноосного нагружения необходимы уравнение баланса массы (1), уравнение теплопроводности (2) и уравнение движения (3):

$$\rho \frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial \mathbf{J}}{\partial x}, \tag{1}$$

$$\rho C_\sigma \frac{\partial T}{\partial t} + \alpha_T T \frac{\partial \sigma_{kk}}{\partial t} = -\frac{\partial \mathbf{J_q}}{\partial x}, \tag{2}$$

$$\rho \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x}, \tag{3}$$

где ρ - плотность обрабатываемого материала; C - концентрация имплантируемого материала; $\mathbf{J}$ - поток массы; $\mathbf{J_q}$ - поток тепла; σ_{xx}, σ_{kk} - компоненты тензора напряжений в направления облучения (Оx) и первый инвариант тензора напряжений; $\mathbf{u}$ - вектор перемещения; T - температура; α_T - коэффициент теплового расширения; C_σ - удельная теплоемкость.

Потоки тепла (5) и массы (4) (учитывая конечность времен релаксации) можно получить на основе теории неравновесных процессов:

$$\mathbf{J} = -\rho D_0 \frac{\partial C}{\partial x} + BC \frac{\partial \sigma_{kk}}{\partial x} - t_r \frac{\partial \mathbf{J}}{\partial t}, \tag{4}$$

$$\mathbf{J}_q = -\lambda_T \frac{\partial T}{\partial x} - t_q \frac{\partial \mathbf{J}_q}{\partial t}, \qquad (5)$$

где $B = \frac{D_0 m}{RT\rho}\Delta\alpha$ - коэффициент переноса массы под действием напряжений; D_0 - коэффициент самодиффузии; R - универсальная газовая постоянная, m - молярная масса; t_r - время релаксации потока массы; t_q - время релаксации потока тепла; λ_T - теплопроводность; $\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0$ разность коэффициентов концентрационного расширения внедряемого элемента α и основного α_0.

Граничные и начальные условия:

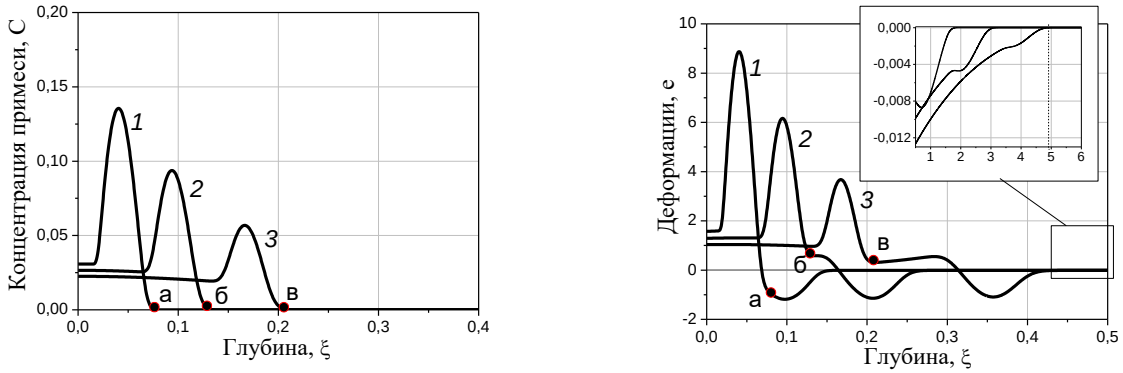
$$x = 0:\ \mathbf{J} = m_0\varphi(t),\ \mathbf{J}_q = q_0\varphi(t),$$

$$x \to \infty: C = 0,\ \sigma = 0,$$

$$t = 0:\ C = 0,\ \sigma = 0,\ T = T_0,\ \frac{\partial C}{\partial t} = 0,\ \frac{\partial \sigma}{\partial t} = 0.$$

Подробный вывод модели и тестирование ее частных вариантов представлено в работах [1,2].

Пример решения связанной задачи представлен на рис. 1.



а) б)

Рис. 1. Пример решения связанной задачи. Моменты времени: τ: (1) 0.14, (2) 0.25, (3) 0.4

На графиках отмечена координата переднего фронта волн концентрации (точки *а, б, в*). На профиле волны деформаций (и напряжений) отчетливо видны особенности, связанные со взаимовлиянием разных процессов. Переднему фронту концентрации C соответствует искажение профиля волны деформаций. При малых временах ($\tau = 0.14$), точка *а* на упругой волне – минимальное значение деформаций. С течением времени ($\tau = 0.25$ и $\tau = 0.4$), в точках *б* и *в* на рис 1,б) заметно искажение профиля деформационной волны. Видно, что диффузия примеси более медленный процесс.

После того, как температура поверхности уменьшается и механическая волна отрывается от концентрационной (расстояние после указанных точек), то дальнейшее распространение волны $e\ (S)$ происходит независимо от диффузии концентрации примеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Парфенова Е.С., Князева А.Г. // Труды X Всероссийской научной конференции «Нелинейные колебания механических систем». – Нижний Новгород: Наш дом, 2016. – С. 604-609.
2. Parfenova E.S., Knyazeva A.G. // Key Engineering Materials. – 2016. – V.712. – P. 99-104.

ДИСЛОКАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ ПРЕРЫВИСТОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ

Ф.С. Попов
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. П.В. Трусов
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Россия, г.Пермь, пр. Комсомольский, 29, 614990
E-mail: popovfyodor@yandex.ru

В настоящее время при разработке математических моделей технологических процессов одной из наиболее актуальных проблем является построение моделей, позволяющие описывать эволюцию мезо- и микроструктуры моно- и поликристаллических материалов и сплавов [1]. Существенное влияние на поведение деформируемых материалов оказывают диффузионные процессы, которые могут проявляться в известных эффектах, например, эффекте прерывистой пластичности или Портевена–Ле Шателье [2].

В предлагаемой трехуровневой дислокационной модели принимается разделение по структурным уровням, т.е. для каждого из указанных уровней явно вводятся в рассмотрение соответствующие механизмы деформирования. В данном случае в рассмотрение для поликристаллического образца вводятся следующие масштабные уровни: макроуровень, мезоуровень-1 и мезоуровень-2. При описании деформирования кристаллита используется модель мезоуровня-1 и подмодель мезоуровня-2. Низшим уровнем, т. е. мезоуровнем-2, в каждом кристаллите (элементе мезоуровня-1) считается уровень дислокационных структур и диффундирующих примесных атомов, а высшим уровнем (макроуровнем) является представительный макрообъем материала (совокупность элементов мезоуровня-1). В модели мезоуровня-2 используется разделение плотностей дислокаций по системам скольжения на мобильные и иммобильные, а также разделение на положительные и отрицательные (в зависимости от направления экстраплоскости), поэтому внутренними переменными мезоуровня-2 являются: плотность мобильных дислокаций (положительных и отрицательных), плотность иммобильных дислокаций (положительных и отрицательных), плотность барьеров на каждой СС. Принимается гипотеза об однородном распределении дислокаций по СС в пределах каждого элемента мезоуровня-2. Объектом исследования мезоуровня-1 является монокристалл с приближенно совершенной решеткой, но в котором имеется значительное число дефектов (дислокаций и примесных атомов). К внутренним переменным мезоуровня-1 относятся сдвиги, скорости сдвигов по системам скольжения и критические напряжения, которые определяются дислокационной субструктурой с учетом взаимодействий с примесными атомами на мезоуровне-2. В связи с необходимостью детального описания дефектной структуры поставленная задача будет решаться на достаточно мелкой сетке. Математическая постановка модели мезоуровня-2 включает следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \tau_{meso-1}^{(k)} = \tau_{meso-2}^{(k)}, \\ \rho^{(k)} = \rho_{m+}^{(k)} + \rho_{m-}^{(k)}, \\ \dot{\rho}_{m\pm}^{(k)} = \dot{\rho}_{nuc\pm}^{(k)}, \\ \dot{\rho}_{nuc}^{(k)} = \rho_s^{(k)} \dfrac{v_{\pm}^{(k)}}{h_{ann}}, \\ \rho_s^{(k)} = \rho_{s0} + C\rho_s^{(k)}, \\ v_{m+}^{(k)} = v_{m-}^{(k)} = v_0^{(k)} \exp\left[-\dfrac{\Delta G}{\kappa\theta} \left(1 - \left(\dfrac{\left|\tau_-^{(k)}\right|}{\tau_c^{(k)}} \right)^p \right)^q \right], \end{cases} \quad (1)$$

где k – номер системы скольжения, $\rho^{(k)}$ – общая плотность дислокаций, которая складывается из сумм плотностей дислокаций обоих знаков, вследствие чего происходит повторное удвоение числа систем скольжения (СС), $\rho_{m+}^{(k)}, \rho_{m-}^{(k)}$ – плотность положительных и отрицательных мобильных дислокаций на k-й СС, $\dot{\rho}_{пис}^{(k)}$ – скорость, с которой генерируются дислокации, $\rho_s^{(k)}$ – плотность активных источников дислокаций, h_{ann} – расстояние между вновь образованными дислокациями, при сближении дислокаций на меньшее расстояние они аннигилируют [3], $v_{\pm}^{(k)}$ – скорость положительных и отрицательных мобильных дислокаций в кристаллитах [4], ρ_{s0} – начальная плотность источников, C – параметр, отвечающий за степень активности источников дислокаций.

На мезоуровне-1 и макроуровне принимается гипотеза об аддитивности упругой и неупругой составляющих меры скорости деформации, для связи которых используется модифицированная гипотеза Фойгта. Связь между мезоуровнем-1 и мезоуровнем-2 полагается следующей: с мезоуровня-1 на мезоуровень-2 передается действующее напряжение; в свою очередь, из плотностей дислокаций и примесей, барьеров по системам скольжения на мезоуровне-2 определяются критические напряжения на соответствующих системах скольжения, скорости движения дислокаций и скорости сдвигов, которые передаются обратно на мезоуровень-1. На первом этапе работы были приняты некоторые дополнительные допущения: эволюция микроструктуры (элементов мезоуровня-2) ограничивается введением в рассмотрение только мобильных дислокаций вместе с генерацией новых дислокаций.

Проведен численный эксперимент на одноосное нагружение монокристаллического образца из чистой меди. На основе полученных результатов можно сделать вывод о том, что критические напряжения и плотность дислокаций с ростом интенсивности деформации выходят на так называемое состояние «насыщения», вследствие чего могут образовываться неустойчивости пластического течения. Таким образом, в работе исследуется эффект прерывистой пластичности или эффект Портевена – Ле Шателье при помощи дислокационной модели; в качестве основного физического механизма рассматриваемого эффекта принято динамическое деформационное старение. Сформулированы концептуальная и математическая постановки задачи исследования неупругого деформирования поликристаллического образца: введен мезоуровень-2 для рассмотрения взаимодействия линейных дефектов, таких как мобильные и иммобильные дислокации, барьеры и точечные дефекты, с целью описания и анализа рассматриваемого эффекта. Получены зависимости критических напряжений и плотности дислокаций от интенсивности деформации, на основе чего можно констатировать пригодность дислокационных моделей к описанию диффузионных процессов, происходящих во время пластических деформаций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-41-590694–р_а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трусов П.В., Швейкин А.И., Нечаева Е.С., Волегов П.С. Многоуровневые модели неупругого деформирования материалов и их применение для описания эволюции внутренней структуры// Физическая мезомеханика. – 2012. – Т. 15, № 1. – С. 33-56.
2. Трусов П.В., Швейкин А.И. Теория пластичности: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. – 419 с.
3. Davoudi K., Nicola L., Vlassak J. Dislocation climb in two-dimensional discrete dislocation dynamics // Journal of Applied Physics – 2012. – Vol. 111.
4. Alankar A., Field D., Zbib M. Explicit incorporation of cross-slip in a dislocation density-based crystal plasticity model // Philosophical Magazine – 2012. – Vol. 92:24. – Pp. 3084-3100.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ СМЕСЕВОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА СОДЕРЖАЩЕГО НАНОРАЗМЕРНУЮ ФРАКЦИЮ ПОРОШКА АЛЮМИНИЯ

В.А. Порязов, А.Ю. Крайнов
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: poryazov@mail.ru

Численное моделирование горения смесевого металлизированного твердого ракетного топлива (СТТ) проводится на основе математической модели, сформулированной при следующих предположениях: Скорость горения СТТ определяется в соответствии с моделью Германса [1]. Для определения теплового потока к поверхности конденсированной фазы из зоны двухфазных продуктов реакции, необходимого для определения скорости горения [1], решается система уравнений, записанная при следующих предположениях: В газовой фазе происходит экзотермическая химическая реакция первого порядка по закону Аррениуса, конвекция и диффузия реагента, горение происходит в изобарических условиях. С поверхности горения в газовую фазу выходит полидисперсный поток частиц алюминия, содержащий наноразмерную фракцию. Взаимодействие частиц друг с другом в газовой фазе не учитывается. Горение частиц алюминия описывается согласно экспериментальным данным [2], воспламенение частиц алюминия происходит при достижении температуры частицы равной заданной величине [2]. Теплообмен между частицами и газом происходит по закону Ньютона, движение частиц происходит под действием сил трения со стороны газа. Из-за малой объемной концентрации частиц в газе влиянием движения частиц на движение газа пренебрегается.

Математическая постановка задачи состоит из уравнений сохранения энергии газа и частиц алюминия, сохранения массы газа, массы частиц и числа частиц алюминия, выгорания реагента в газовой фазе, движения частиц в потоке газа, состояния газа, уравнений для определения массовых потоков компонентов топлива, суммарного теплового эффекта в к-фазе [3]:

$$c_2\rho_2\left(\frac{\partial T_2}{\partial t}+u\frac{\partial T_2}{\partial x}\right)=\lambda_2\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}+Y\rho_2 k_0 Q_2\exp\left(\frac{-E_2}{R_y T_2}\right)+\sum_i 4\pi\alpha r_k^2 n\left(T_{3,i}-T_2\right), \quad (1)$$

$$\left(\frac{\partial Y}{\partial t}+u\frac{\partial Y}{\partial x}\right)=D_2\frac{\partial^2 Y}{\partial x^2}-Yk_0\exp\left(\frac{-E_2}{R_y T_2}\right), \quad (2)$$

$$c_3\rho_3\left(\frac{\partial T_{3,i}}{\partial t}+w\frac{\partial T_{3,i}}{\partial x}\right)=-4\pi\alpha r_{k,i}^2 n\left(T_{3,i}-T_2\right)+G_i Q_{Al}\frac{2\mu_{Al}}{3\mu_O}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial\rho_2}{\partial t}+\frac{\partial(\rho_2 u)}{\partial x}=-\sum_i G_i, \quad (4)$$

$$\frac{\partial\rho_{3,i}}{\partial t}+\frac{\partial(\rho_{3,i}w_i)}{\partial x}=G_i, \quad (5)$$

$$\frac{\partial w_i}{\partial t}+w_i\frac{\partial w_i}{\partial x}=-\tau_{fr,i}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial n_i}{\partial t}+\frac{\partial(n_i w_i)}{\partial x}=0, \quad (7)$$

$$P=\rho_2 R T_2=const. \quad (8)$$

Обозначения: t - время, x - координата, ρ_2 - плотность газа, ρ_3 - приведенная плотность частиц (масса частиц в единице объема), T - температура, P - давление, u - скорость газа, w - скорость частиц, r_k - размер частицы, n - число частиц в единице объема, c - удельная теплоемкость при постоянном давлении, λ - коэффициент теплопроводности, D - коэффициент диффузии, R - газовая постоянная, R_y - универсальная газовая постоянная, Y - концентрация горючего в газовой фазе, Q_2 - тепловой эффект реакции в газовой фазе, α - коэффициент теплоотдачи, τ_{fr} - сила действия газа на частицы, Q_{Al} - теплота сгорания алюминия, G - скорость изменения массы частиц при их горении, μ_{Al}, μ_O - молярные массы молекул алюминия и кислорода. Индексом 1 обозначены параметры конденсированной фазы, 2 -

газовой фазы, 3 - параметры конденсированной фазы продуктов горения, i - указан номер фракции частиц.

Координата $x=0$ соответствует поверхности горения, T_s - температура поверхности горения. На границе $x=0$ граничные условия выражают законы сохранения массы и энергии:

$$\lambda_2 \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{x=0} = \rho_p V_k \left(c_2 T_2\big|_{x=0} - Q_S - c_1 T_{1,0}\right),\ T_s = T_2\big|_{x=0},\ \rho_1 V_k = \rho_2 u\big|_{x=0},\ \rho_1 V_k Y = D_2 \left.\frac{\partial Y}{\partial x}\right|_{x=0} + \rho_2 u Y\big|_{x=0},$$

$$\beta_i \rho_k V_k = \rho_{3,i} w_i\big|_{x=0},\ \rho_2\big|_{x=0} = \frac{P}{RT_2\big|_{x=0}},\ P = const,\ n_i\big|_{x=0} = \frac{\rho_{3,i}\big|_{x=0}}{(4/3)\pi r_{Al,0,i}^3 \rho_k},\ V_k = (\nu_f m_f + \nu_{ox} m_{ox})/\rho_p, \quad (9)$$

$$Q_s = \alpha_{ox}(Q_{gp} - Q_l) - (\nu_f H_p + \nu_{Al} H_{Al}) m_f / \rho_p V_k,\ m_f = (\rho_f + \rho_{Al}) A_f \exp\left(E_f / RT_s\right),\ m_{ox} = \rho_p V_k (\alpha_{ox}/\nu_{ox})$$

где Q_S - тепловой эффект реакции в конденсированной фазе, m_f, m_{ox}, - массовый поток горючего, окислителя, ρ_p - плотность топлива, α_{ox} - массовая доля окислителя, ν_{ox} - объемная доля окислителя, ρ_f - плотность связки, Q_{gp} - теплота разложения окислителя, Q_l - скрытая теплота разложения окислителя, Q_{sr} - теплота, выделяемая при реакции на поверхности, H_p - тепловой эффект эндотермической реакции пиролиза связки, H_{Al} - теплоемкость алюминия, $\nu_f m_f$ - массовый поток связки, β - массовая доля фракции порошка алюминия.

На границе $x=\infty$ ставятся условия: $\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{x=\infty} = 0,\quad \left.\frac{\partial Y}{\partial x}\right|_{x=\infty} = 0.$ (10)

Начальные условия:

$$T_2(x,0) = T_{ign},\ T_{3,i}(x,0) = T_{ign}, \rho_2(x,0) = P/RT_2(x,0),\ Y(x,0) = \rho_{3,i}(x,0) = w_i(x,0) = n_i(x,0) = 0 \quad (11)$$

В формуле (6) сила взаимодействия частиц алюминия с газом вычисляется по формуле

$$\tau_{fr,i} = F_{tr,i} \Big/ \frac{4}{3}\pi r_{k,i}^3 \rho_k,\ F_{tr,i} = C_{R,i} S_{m,i} \rho_2 (w_i - u)|u - w_i|/2,\ C_{R,i} = 24\left(1 + 0{,}15\,\mathrm{Re}_i^{0{,}682}\right)/\mathrm{Re}_i. \quad (12)$$

Коэффициент теплоотдачи определяется по формуле:

$$\alpha_i = Nu_i \lambda_2 / 2r_{k,i},\ Nu_i = 2 + \sqrt{Nu_{l,i}^2 + Nu_{t,i}^2}, \quad (13)$$

где $Nu_{l,i} = 0{,}664\,\mathrm{Re}_i^{0{,}5}$, $Nu_{t,i} = 0{,}037\,\mathrm{Re}_i^{0{,}8}$, $\mathrm{Re}_i = 2r_{3,i}\rho_{3,i}|u - w_i|/\eta$,

$$G_i = 3\mu_O n_i \rho_k 4\pi r_{Al,i}^2 k_{Al} a^{0.9} \Big/ 2\mu_{Al}\sqrt{r_{Al,i}},\ k_{Al} = 2.22 \cdot 10^{-5}\ м^{1.5}/с, \quad (14)$$

$$r_{Al,i} = \left[\left(\frac{\mu_{Al} + 3/2\,\mu_O}{\mu_{Al}} r_{Al,0,i}^3 - \frac{\rho_{3,i}}{(4/3)\pi n_i \rho_k}\right)\frac{2\mu_{Al}}{3\mu_O}\right]^{1/3},\ r_{k,i} = \left[r_{Al,i}^3 + \frac{\mu_{Al} + 3/2\,\mu_O}{\mu_{Al}}\left(r_{Al,0,i}^3 - r_{Al,i}^3\right)\right]^{1/3}. \quad (15)$$

Было проведено исследование влияния размера частиц алюминия в составе топлива на скорость его горения. В расчетах размер частиц варьировался в диапазоне 0.3-15 мкм, давление в газовой фазе в диапазоне 20-100 атм, массовая доля наноразмерной фракции порошка алюминия варьировалась в диапазоне 0.2-1 %. Массовое содержание алюминия в расчетах было принято 18 %. Температура воспламенения частиц алюминия была задана равной 1300 K [3].

Получены зависимости скорости горения металлизированного СТТ от массовой доли наноразмерной фракции частиц алюминия в газовой фазе.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-20011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булгаков В.К., Липанов А.М. Теория эрозионного горения твердых ракетных топлив. М.: Наука, 2001. 122 с.
2. Беляев А.Ф., Фролов Ю.В., Коротков А.И. О горении и воспламенении частиц мелкодисперсного алюминия // Физика горения и взрыва. 1968. Т. 4, № 3. С. 323-329.
3. Порязов В.А., Крайнов А.Ю. Математическое моделирование горения смесевых составов, содержащих мелкодисперсный алюминий //Известия вузов. Физика. 2013. т. 56. № 9/3. С. 196-199.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАМЕЩЕНИЯ МЕТАНА В ГАЗОГИДРАТЕ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА

Г.Р. Рафикова, М.К. Хасанов
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.Ш. Шагапов
Институт механики Уфимского научного центра Российской академии наук
Россия, г. Уфа, пр. Октября, 71, 450054
E-mail: rafikova_guzal@mail.ru

В настоящее время большое внимание уделяется проблеме поиска и разработки альтернативных источников энергии. Одними из таких источников являются природные газогидраты, потенциальные запасы метана в которых превышают величину $1.5 \cdot 10^{16}$ м^3[1]. Основными способами разработки газогидратных залежей являются депрессионное воздействие на пласт и нагрев гидратосодержащих пород [2-5]. Одним из последних инновационных способов извлечения метана из состава гидрата является его замещение диоксидом углерода в газогидрате [6-8]. Данный метод позволяет одновременно извлечь метан и законсервировать углекислый газ в необходимых объемах.

В работе построена математическая модель для описания процесса замещения метана диоксидом углерода из состава гидрата в пласте, насыщенном метаном и его гидратом, при инжекции углекислого газа. При описании модели, состоящей из системы уравнений сохранения массы для газовых фаз и гидратов CH_4 и CO_2, уравнения энергии, уравнения состояния для газа, законов Дальтона и Фика, принято, что термобарические условия системы соответствуют условиям стабильности гидратов метана и диоксида углерода. Предложена схема кинетики газозамещения в составе гидрата при которой интенсивность процесса лимитируется диффузией углекислого газа через образовавшийся гидратный слой между потоком газовой смеси и гидратом метана. Получены численные решения, которые позволяют исследовать динамику основных параметров процесса, определить характерные этапы процесса и возможные режимы извлечения метана из гидратного пласта.

Проанализировано влияние величины коэффициента диффузии и значения абсолютной проницаемости на особенности процесса газозамещения. В частности установлено, что при высоких значениях коэффициента диффузии углекислого газа в гидрате и низких значениях коэффициента проницаемости пласта процесс замещения будет проходить во фронтальном режиме и лимитироваться прежде всего фильтрационным массопереносом в пласте. В противном случае процесс газозамещения будет происходить в объемной области пласта и лимитироваться диффузией в гидрате.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-20001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макогон Ю.Ф. Газогидраты. История изучения и перспективы освоения // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2010. № 2. С. 5.
2. Макогон Ю.Ф. Гидраты природных газов. М.: Недра, 1974.
3. Цыпкин Г.Г. Течения с фазовыми переходами в пористых средах. М.: Физматлит, 2009.
4. Назмутдинов Ф.Ф., Хабибуллин И.Л. Математическое моделирование десорбции газа из газового гидрата // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. 1996. № 5. С. 118.
5. Шагапов В.Ш., Мусакаев Н.Г. Динамика образования и разложения гидратов в системах добычи, транспортировки и хранения газа. М.: Наука, 2016.
6. Jung J. W., Espinoza N. D., Santamarina C.J. Propeties and phenomena relevant to CH_4-CO_2 replacement in hydrate-bearing sediments // Journal of geophysical research. 2012. V.115. DOI: 10.1029/2009JB000812
7. Stevens J.C., Howard J. J., Baldwin B.A., Ersland G., Husebo J., Graue A. Experimental hydrate formation and gas production scenarios based on CO_2 sequestration // Proc. 6th International Conference on Gas Hydrates. Vancouver, Canada, 2008.
8. Истомин В.А., Чувилин Е.М., Тохиди Б., Йанг Дж., Буханов Б.А., Маерли К.В. Кинетика разложения газогидратов метана в гидратонасыщенном пласте при закачке дымовых газов // «Геомодель – 2016». Россия, Геленджик, 2016.

СРАВНЕНИЕ ДВУХ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЯЧЕЕК НАНОМЕМБРАНЫ ДЛЯ ЗАДАЧ РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСИ ГАЗОВ

Е.А. Тарасов
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. А.М. Бубенчиков
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: DiomedIS@mail.ru

Актуальность. Задача выделения гелия из природного газа представляется крайне важной по ряду причин. Гелий широко используется в медицине, промышленности, кроме того, необходим для научных исследований. Небольшая концентрация, которая к тому же сильно зависит от месторождения, делает привычные технологии его выделения (криогенную дистилляцию и напорную адсорбцию) не рентабельными на большинстве месторождений природного газа. В качестве альтернативы, предполагается использовать мембранные технологии для выделения гелия. Мембрану для подобных технологий можно создать на основе фуллереновых частиц или же углеродных нанотрубок. При рассмотрении мембран существует два подхода к представлению взаимодействия структуры с молекулой или атомом газа. Континуальный подход позволяет описать взаимодействие интегрально со всей структурой, значительных успехов в этой области добились В.Я. Рудяк и С.Л. Краснолуцкий [1]. Дискретный подход заключается в описании взаимодействия молекулы или атома с каждым атомом структуры. Примеры использования подобного подхода приведены в [2-4]. В рамках данной статьи будет рассмотрен дискретный подход.

Моделирование. Для моделирования были выбраны две элементарные ячейки наномембраны – 4 открытые углеродные нанотрубки и 8 молекул фуллерена, отстоящие друг от друга на равное расстояние. При этом длина нанотрубок составляет 1,136 нм, а радиус молекулы фуллерена – 0,357 нм. Минимальное расстояние между объектами данной однопараметрической системы h=0,35 нм. В [4] было показано, что форма барьера для открытой нанотрубки инвариантна её длине. В основе модели в обоих случаях лежит модифицированный *LJ*-потенциал. Результаты численного моделирования процесса взаимодействия атома гелия с двумя типами структур представлены на рисунках 1 и 2.

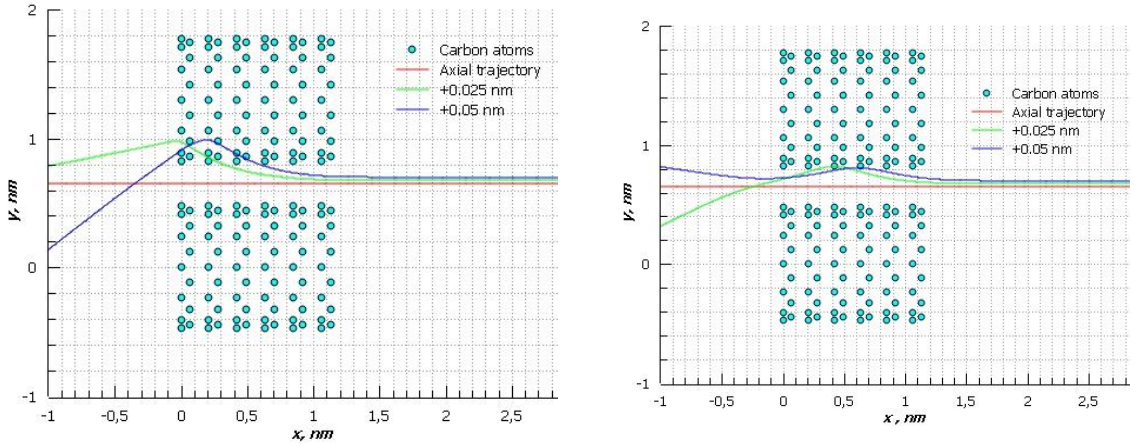


Рис. 1. Взаимодействие атома гелия (а), молекулы метана(б) и элементарной ячейки мембраны, составленной из четырех открытых углеродных нанотрубок

Как можно видеть из рисунков, траектории близкие к оси элементарной ячейки являются проницаемыми для каждой компоненты бинарной смеси гелий-метан, при скоростях молекулы/атома сравнимых с наиболее вероятными скоростями данных газов, взятых из распределения Максвелла. При нормальных условиях для гелия эта скорость составляет 1300 м/с, а для метана – 750 м/с. Однако, характер движения в элементарной ячейке составленной из молекул фуллерена начинает существенно отличаться от движения в ячейке сформированной углеродными нанотрубками. Это связано, прежде всего, с формой барьера, создаваемого подобной структурой. Если для системы нанотрубок форма барьера получена и была показана в [5], то для системы фуллереновых частиц она будет иметь следующий вид, представленный на рисунке 3.

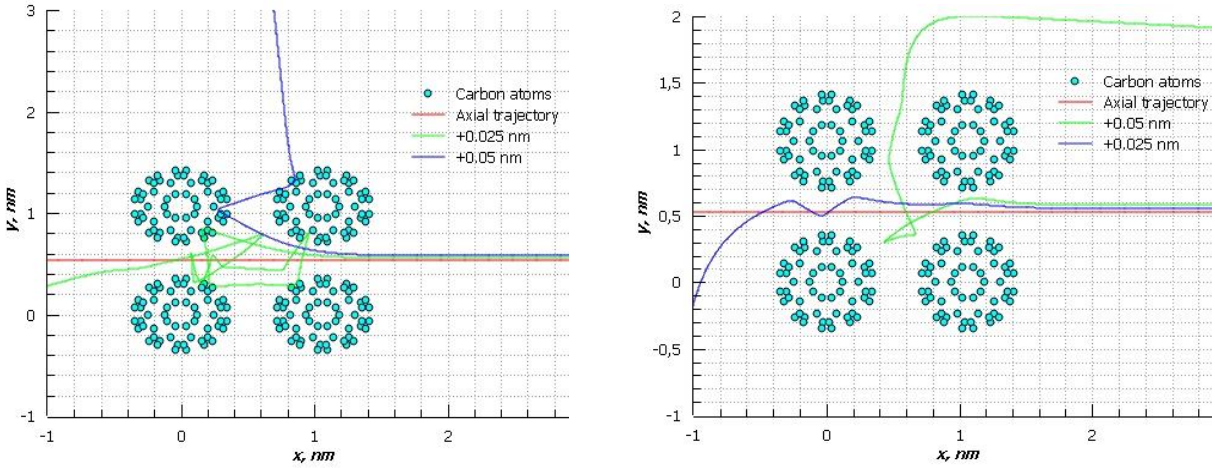


Рис. 2. Взаимодействие атома гелия (а), молекулы метана(б) и элементарной ячейки мембраны, составленной восьми молекул фуллерена

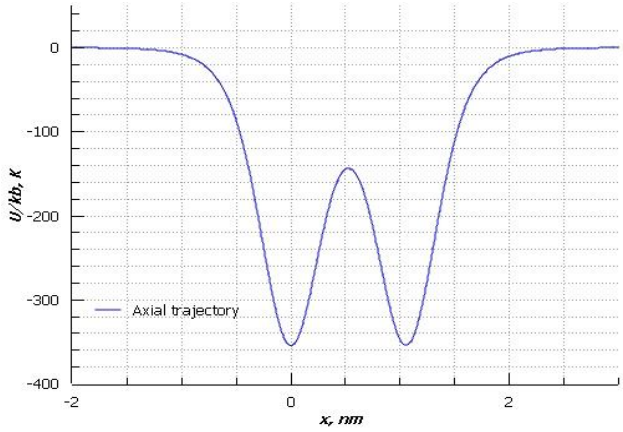


Рис. 3. Форма барьера для системы фуллереновых частиц

Как видно из рисунка 3, распределение потенциала внутри данной системы, хоть и является потенциальной ямой, но в области между молекулами фуллерена имеет явно выраженный максимум, который усложняет траекторию движения атома или молекулы внутри системы. При увеличении числа слоев материала созданного на основе подобной ячейки, траектория будет усложняться.

Выводы. Результаты моделирования позволяют говорить о том, что в рамках дискретного подхода описания взаимодействия элементарная ячейка мембраны на основе нанотрубок удобнее для использования в силу инвариантности формы барьера длине трубки, в то время как материал на основе фуллерена будет иметь более сложную форму барьера при увеличении его длины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудяк В.Я. О потенциале взаимодействия наночастиц / В.Я. Рудяк, С.Л. Краснолуцкий, Д.А Иванов // Доклады Академии наук – 2012 – Т. 442. – № 1. – С. 54-56.

2. Бубенчиков М.А. Режимы взаимодействия низкоэнергетических молекул с открытой нанотрубкой. / М.А. Бубенчиков, А.М. Бубенчиков, О.В. Усенко, Е.А. Тарасов // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2016. – № 3 (41). – С. 58-64.

3. Борсук А. С. Движение молекулы в поле потенциала открытой нанотрубки / А. С. Борсук, Е. А. Тарасов, В. Б. Цыренова // Геометрия многообразий и её приложения : материалы четвёртой научной конференции с международным участием. Улан-Удэ – оз. Щучье – оз. Байкал, 27–30 июня 2016 г. – Улан-Удэ, 2016. – С. 90–94.

4. Тарасов Е.А. Взаимодействие нанообъектов на основе углерода с компонентами природного газа: Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. – Томск, 2017. – 24 с.

К ТЕОРИИ ЗАМЕЩЕНИЯ ГАЗОГИДРАТА В ПОРИСТОМ ПЛАСТЕ ПРИ НАГНЕТАНИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

М.К. Хасанов[1], М.В. Столповский[2], С.Р. Кильдибаева[1]
[1]Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,
Россия, г. Стерлитамак, пр. Ленина, 49, 453103
[2]Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Россия, г. Уфа, Космонавтов, 1, 450062
E-mail: freya.13@mail.ru

Научные исследования последних лет рассматривают газовые гидраты, как один из наиболее перспективных источников энергии. До настоящего времени основные подходы при добыче газогидратов были связаны с разгерметизацией, нагревом и добавлением ингибиторов. Данные подходы имеют ряд недостатков, основной из которых – высокие энергозатраты. В связи с этим был предложен метод замещения метана в газогидрате углекислым газом [1-2]. Согласно экспериментам, разложения гидрата на газ и воду не наблюдается вследствие сохранения термобарических условий стабильного существования гидрата[3-4]. В экспериментальных работах рассматривались образцы небольшого размера, поэтому процессы замещения лимитировались кинетикой (диффузией газа через гидратную корку). В случае реальных протяженных природных пластов процесс замещения лимитируется в больше степени тепломассопереносом в самой пористой среде.

На рисунке 1 представлена фазовая диаграмма диоксида углерода CO_2 и метана CH_4. Кривые 1 и 2 на диаграмме соответствуют трехфазному равновесию «CO_2-H_20-гидрат CO_2» и «CH_4-H_20-гидрат CH_4»; кривая 3 – двухфазному равновесию «жидкость-пар» для CO_2.

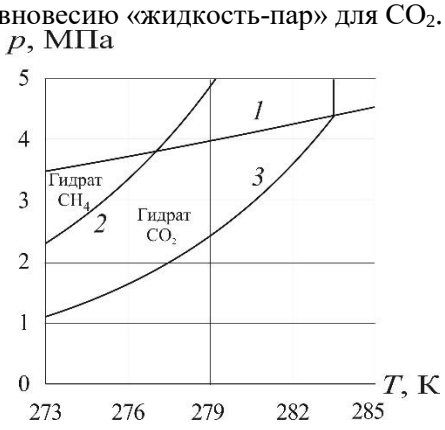


Рис. 1. Фазовые диаграммы систем

Рассмотрим горизонтальный пористый пласт протяженности L $(0 \le x \le l)$, который в начальный момент времени насыщен метаном и его газогидратом (с объемным содержанием $S_h = \nu$). Схема пласта представлена на рисунке 2. Термобарические характеристики пласта соответствуют условиям стабильного существования гидрата метана. Через левую границу пористого пласта ($x = 0$) начинает закачиваться углекислый газ с температурой T_e и давлением p_e, соответствующим условиям существования диоксида углерода в газообразном состоянии и его газогидрата. Рассматривая мгновенное изменение температуры и давления на левой границе $x = 0$ до значений T_e и p_e будем полагать, что в пласте образуются две характерные области. Первая область насыщена углекислым газом и его газогидратом, а вторая область – метаном и его гидратом. При этом возникает разделяющая между собой указанные области подвижная граница $x = x_{(n)}$, на которой происходит замещение метана в газогидрате на углекислый газ.

При описании процессов тепломассопереноса примем следующие допущения: скелет пористой среды и газогидрат несжимаемы, пористость постоянна, метан и углекислый газ являются калорически совершенными газами. Температуры пористой среды и насыщающего вещества совпадают. Газогидраты диоксида углерода и метана являются двухкомпонентными системами с массовыми концентрациями углекислого газа и метана соответственно G_c и G_m.

Система основных уравнений, описывающая процессы фильтрации и теплопереноса в пористой среде и представляющая собой законы сохранения масс и энергии, закон Дарси и уравнение состояния,

в прямолинейно-параллельном случае при отмеченных выше допущениях в каждой из областей имеет вид [5-7]:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho_i \phi S_i\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\rho_i \phi S_i \upsilon_i\right) = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho C T\right) + \rho_i C_i \phi S_i \upsilon_i \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x}\right) - \rho_i \phi S_i C_i \eta_i \frac{\partial p}{\partial t} = 0,$$

$$\phi S_i \upsilon_i = -\frac{k_i}{\mu_i}\frac{\partial p}{\partial x},$$

$$\rho_i = p / R_{gi} T .$$

Здесь индексы i = c, m относятся к параметрам углекислого газа и метана; ϕ – пористость; ρ_i, S_i, υ_i, C_i, η_i, k_i, μ_i и R_{gi} – соответственно истинная плотность, насыщенность пор, скорость, удельная массовая теплоемкость, коэффициент адиабатического расширения, проницаемость, динамическая вязкость и газовая постоянная i-й фазы; p и T – давление и температура; λ – коэффициент теплопроводности системы; ρC – удельная объемная теплоемкость.

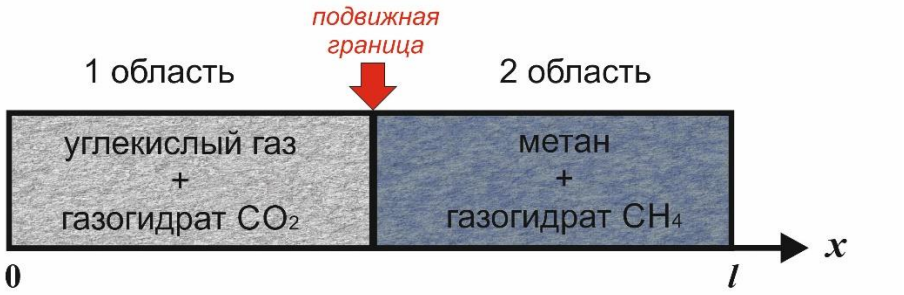


Рис. 2. Схема пористого пласта

В работе получена математическая модель и проведено численное исследование закачки диоксида углерода в пористый пласт, который изначально насыщен метаном и гидратом метана. Получено, что процесс замещения газогидрата сопровождается незначительным понижением давления и повышением температуры среды. Установлено, что температура на границе фазового перехода зависит от давления закачиваемого газа. При этом, при высоких значениях давления нагнетаемого газа она стремится к своем предельному значению, зависящему от исходной гидратонасыщенности пласта. Исследованы зависимости времени полного вытеснения метана из пласта в зависимости от его проницаемости и давления нагнетаемого газа.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-20001)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhou X.T.; Fan S.S.; Liang, D.Q. Advancement in research on replacement of CH_4 from hydrate with CO_2 // Chem. Ind. Eng. Process. – 2006. – V.25. – P.524–527.
2. Goel N. In situ methane hydrate dissociation with carbon dioxide sequestration: Current knowledge and issues // J. Petrol. Sci. Eng. – 2006. – V. 51. – P. 169–184.
3. Jung J. W., Espinoza D. N., Santamarina J. C. Properties and phenomena relevant to CH4 ‐ CO2 replacement in hydrate ‐ bearing sediments // Journal of Geophysical Research. – 2010. – Vol. 115.
4. Воронов В.П., Городецкий Е.Е., Григорьев Б.А., Муратов А.Р. Экспериментальное исследование процесса замещения метана в газовом гидрате диоксидом углерода // Вести газовой науки. – 2011. – №2 (7). – С.235-248
5. Цыпкин Г.Г. Математическая модель инжекции углекислого газа в пласт с образованием гидрата // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 458. – № 4. – С. 422-425
6. 6.Шагапов В.Ш., Хасанов М.К., Гималтдинов И.К., Столповский М.В. Особенности разложения газовых гидратов в пористых средах при нагнетании теплого газа // Теплофизика и аэромеханика. 2013. – Т. 20. – № 3. – С. 347-354.
7. Shagapov V.Sh., Musakaev N.G., Khasanov M.K. Formation of gas hydrates in a porous medium during an injection of cold gas. International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2015. – V. 84. – P.1030–1039

СИММЕТРИЧНЫЙ МЕТОД РАСЩЕПЛЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МАГНИТОГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ

Е.А. Шельмина, И.Г. Боровской
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: eashelmina@mail.ru

В представляемой работе представлено применение симметричного метода расщепления для решения задачи магнитогазодинамического течения на основе уравнений Навье-Стокса и неявной консервативной конечно-разностной схемы.

При математическом моделировании задачи о течении электропроводящей среды в сложных системах газовых магистралей используются две модели – вязкого теплопроводного газа и идеального газа. Первая применяется в основном для детализации картины магнитогазодинамического течения на участках геометрических особенностей магистралей, а вторая – для разработки расчетных методик, предназначенных для определения параметров течения в пространственных магистралях.

Физическая постановка задачи

Рассматривается течение вязкого теплопроводного газа в пространственных системах магистралей, часть из которых может находится во внешнем магнитном поле. В общем случае системы коммуникаций состоят из произвольного количества газоводов различной формы, которые далее именуются элементарными участками или элементами. Газоводы могут иметь переменный внутренний радиус и осевое искривление. Произвольно количество разветвлений и различного типа соединений магистралей, произвольна также и ориентация элементов конструкции в пространстве.

В начальный момент времени система заполнена неподвижным газом при давлении P_H и температуре T_H. Рабочий газ поступает от источников массы - газогенераторов, расположенных на боковой поверхности или во входном сечении отдельных газоводов.

Некоторые из элементов заканчиваются отверстиями, через которые газ истекает во внешнюю среду. Системы газоводов могут содержать всевозможные газораспределительные и клапанные устройства, с помощью которых осуществляется перераспределение газового потока, а в отдельных случаях и полное отключение части конструкции от питающих газогенераторов. Источники массы могут иметь собственные регуляторы расхода, что приводит к многорежимности функционирования устройства.

При постановке задачи используются следующие допущения: химические реакции в газовой фазе описываются одной брутто-реакцией; теплофизические характеристики исходного и конечного продукта одинаковы.

Математическая постановка задачи

Математическая постановка задачи может быть записана на основе уравнений Навье – Стокса, которые в дивергентной форме [1,2] для сжимаемого газа в декартовой системе координат {x, y}, дополненные уравнением диффузии [3], имеют вид :

$$\frac{\partial \mathrm{U}}{\partial t}+\frac{\partial \mathrm{F}}{\partial x}+\frac{\partial \mathrm{G}}{\partial y}=\frac{1}{Re}\left(\frac{\partial \mathrm{F}_v}{\partial x}+\frac{\partial \mathrm{G}_v}{\partial y}\right)+\mathrm{H}, \qquad (1)$$

где вектор - столбцы U, F, G, F_V, G_V, H представляют собой

$$\mathrm{U}=\begin{vmatrix}\rho\\ \rho u\\ \rho v\\ e\\ \rho a\end{vmatrix},\mathrm{F}=\begin{vmatrix}\rho u\\ \rho u^2+p\\ \rho uv\\ (e+p)u\\ \rho ua\end{vmatrix},\mathrm{G}=\begin{vmatrix}\rho v\\ \rho vu\\ \rho v^2+p\\ (e+p)v\\ \rho va\end{vmatrix},\mathrm{F}_v=\begin{vmatrix}0\\ \tau_{xx}\\ \tau_{xy}\\ u\tau_{xx}+v\tau_{xy}+\frac{\bar{\lambda}}{\gamma-1}\frac{\partial\theta}{\partial x}\\ \frac{Le}{Pr}\rho D\frac{\partial a}{\partial x}\end{vmatrix},\mathrm{G}_v=\begin{vmatrix}0\\ \tau_{xy}\\ \tau_{yy}\\ u\tau_{xy}+v\tau_{yy}+\frac{\bar{\lambda}}{\gamma-1}\frac{\partial\theta}{\partial y}\\ \frac{Le}{Pr}\rho D\frac{\partial a}{\partial y}\end{vmatrix},\mathrm{H}=\begin{vmatrix}0\\ S_H f_x\\ S_H f_y\\ \rho\varphi\omega\\ -\rho\omega\end{vmatrix}$$

Система уравнений (1) замыкается уравнением состояния совершенного газа [1]:

$$p = \rho \cdot \theta \qquad (2)$$

Обозначения, используемые в (1)-(2), приведены в [1-2].

Построение расчетной схемы

Для численного решения задачи (1)-(2) используется неявная консервативная конечно-разностная схема, шаблон которой показан на рис. 1.

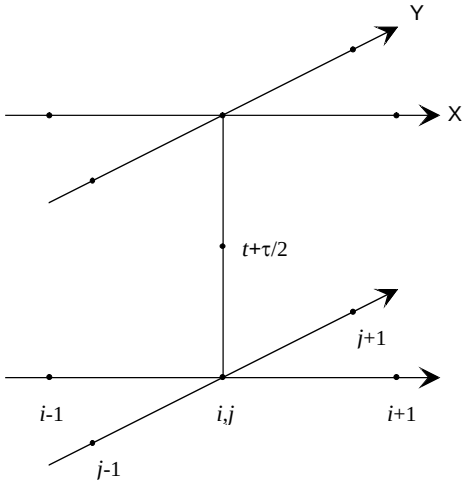


Рис. 1. Шаблон для построения неявной консервативной конечно-разностной схемы решения уравнений Навье-Стокса

Выбор разностной схемы связан с тем, что решение таких объемных систем разностных уравнений прямыми методами матричной прогонки требует весьма значительных затрат расчетного времени и поэтому на практике не применяется. Кроме того, использование неявной консервативной конечно-разностной схемы решения уравнений Навье-Стокса дает возможность организовать циклическую схему вычислений, суть которой заключается в изменении как порядка проведения этапов расчета вдоль координатных направлений, так и направление прогонки. Данные меры позволяют добиться симметризации расчетного алгоритма, что усиливает его устойчивость при наличии правых частей исходных уравнений Навье-Стокса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Темам Р. Уравнения Навье — Стокса. Теория и численный анализ. — 2-е изд. — М.: Мир, 1981. — 408 с.
2. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Гидродинамика. — Издание 4-е, стереотипное. — М.: Наука, 1988. — 736 с.
3. Durmagambetov A.A. Navier-Stokes Equations—Millennium Prize Problems // Asset A. Durmagambetov, Leyla S. Fazilova Natural Science. Scientific Research an Academic Publisher : pdf. — 2015. — № Vol.7 No.2. — С. 88-99.

ОБ АСИМПТОТИЧЕСКОМ ВИДЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОДНОЭТАПНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕПРЕРЫВНОЙ АВТОРЕГРЕССИИ

Шерстобитова А. О.
Научный руководитель: к.ф. – м.н. Емельянова Т. В.
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г. Томск. Пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: annaivashchenko06@gmail.com

В теоретических и прикладных исследованиях, связанных с задачами обработки временных рядов и их спектральным анализом, задачами автоматического управления и регулирования, идентификации и фильтрации, в физике и финансовой инженерии широко используются динамические системы, описываемые стохастическими дифференциальными и стохастическими разностными уравнениями. В настоящее время существует достаточно много исследований, посвященных задачам асимптотического оценивания [1]. Однако, для практических задач типична неасимптотическая проблема оценивания, когда требуется определить длину реализации, при которой оценки достигают заданной точности [2]. В практических задачах объем доступных данных всегда конечен и желательно иметь представление о качестве оценок, вычисленных по наблюдениям на ограниченном временном интервале. Одним из подходов к задачам оценивания в неасимптотической постановке является подход с позиции последовательного анализа, который характеризуется тем, что длительность наблюдений не фиксируется заранее и определяется специальными правилами остановки.

Целью работы является исследование асимптотического распределения оценок параметра, полученных с помощью одноэтапной последовательной процедуры, предложенной в работе [3].

Пусть наблюдаемый p-мерный процесс $X_t = (X_1(t),..., X_p(t))'$ описывается системой линейных дифференциальных уравнений

$$dX_t = AX_t dt + BdW_t,$$

в которой A и B – квадратные матрицы постоянных коэффициентов размера $p \times p$, W_t – стандартный p-мерный процесс броуновского движения.

Задача состоит в том, чтобы оценить неизвестные коэффициенты матрицы $A = \|a_{ij}\|$ по наблюдениям процесса X_t. К этой задаче сводится задача оценивания параметров стационарного гауссовского процесса авторегрессии p-го порядка $(AP(p))$, описываемого уравнением

$$dx_t^{p-1} = (\theta_1 x_t^{p-1} + ... + \theta_p x_t)dt + \sigma dw_t \qquad (1)$$

с рациональной спектральной плотностью, имеющей вид $f(\lambda) = \dfrac{\sigma^2}{|Q(i\lambda)|^2}$.

Предположим, что процесс авторегрессии (1) устойчив, т. е. все корни характеристического полинома $Q(z) = z^p - \theta_1 z^{p-1} - \cdots - \theta_p$ лежат в единичном круге. Пусть $H > 0$.

Асимптотическое распределение последовательных оценок устанавливает следующая теорема.

Теорема. Пусть задан процесс вида (1), где A и B – квадратные матрицы размера $p \times p$, W_t – стандартный p-мерный процесс броуновского движения

Пусть неизвестные параметры θ_i, $i = \overline{1, p}$, таковы, что все корни характеристического полинома $Q(z) = z^p - \theta_1 z^{p-1} - ... - \theta_p$ лежат в единичном круге. Последовательный план $\left(\tau_H, \theta^*(H)\right)$ задается формулами

$$\tau = \tau(H) = \inf\{t > 0 : \left\| M_T^{-2} \right\|^{\frac{1}{2}} \le \frac{1}{H}\}, \quad (2)$$

$$\theta^*(H) = M_{\tau(H)}^{-1} \int_0^{\tau(H)} X_s d\left\langle X_t \right\rangle_p, \quad (3)$$

где $H > 0$ – пороговое значение.

Тогда вектор $\frac{1}{\sqrt{H}}(\theta^*(H) - \theta)$ имеет асимптотически нормальное распределение с параметрами $(0, F^{-1})$.

Результат теоремы может быть использован для построения доверительных интервалов для параметров модели авторегрессии, а также для исследования оптимальности одноэтапной последовательной процедуры оценивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ширяев А. Н. Основы стохастической финансовой математики. – М.: Фазис, 1998. – Т.1. – 512 с.
2. Холево А. С. Оценка параметра сноса диффузионного процесса методом стохастической аппроксимации// Исследование по теории самонастраивающихся систем. – 1967. – с. 179-200.
3. Емельянова Т.В., Конев В.В. О последовательном оценивании параметров непрерывной авторегрессии//Вестник Томского государственного университета: Математика и механика. №5(25). Томск, 2013. – с. 12-25.

К ВОПРОСУ ОБРАЗОВАНИЯ ПОЛЫХ МИКРОСФЕР В ПОТОКЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ

В.В. Шеховцов, О.Г. Волокитин, Гафаров Р.Е.
Научный руководитель: профессор, д.т.н. Г.Г. Волокитин
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, г.Томск, пл. Соляная, 2, 634003
E-mail: shehovcov2010@yandex.ru

В настоящие время получение микросфер сводится к термической обработке легкоплавких оксидных порошковых материалов или выделения концентрата из золоотвалов, сформированных в процессе работы тепловых электростанций на каменном угле [1, 2]. Однако сырьевая база для получения микросфер сильно ограничена, ввиду высокой температуры плавления исходного сырья. Расширить номенклатуру сырья для получения микросфер возможно с использованием электродуговых плазмотронов. Реализуемые температурные режимы, которых в десятки раз превышают температуры в агрегатах, традиционно используемых для термического воздействия (газопламенные горелки).

На сегодняшний день интенсивно проводятся исследования по плазменному воздействию на агломерированные частицы на основе тугоплавких оксидов и силикатов с целью получения полых микросфер [3, 4]. В данных работах нами впервые рассмотрена возможность использование техногенного сырья алюмосиликатного состава (золошлаковые отходы) в качестве исходного сырья для получения полых микросфер с использованием энергии термической плазмы.

Для формирования микросфер на основе предложенного сырья необходимо получить агломерированный порошок на его основе. В работе [5] подробно описан процесс получения агломерированного порошка, стоит отметить, что морфология агломерированного порошка представлена совокупностью гетеродисперстных частиц формируемых объекты овальной формы. Поверхность отдельных частиц агломерированного порошка являтся весьма развитой и имеет разветленную систему микропор. Пористость частиц можно описать, как $П=V_g/V_p$, где П – пористость частицы, V_g – объем пор в частице, $V_p=V_g\pi D^3_p/6$ – объем исходной частицы. Авторами в работах [6, 7] получены результаты экспериментальных исследований по вводу пористых частиц ZrO_2 (стабилизирован Y_2O_3 8% по массе) в поток плазмы реализованным электродуговым плазмотроном МЭВ - 50 (ИТПМ СО РАН), отмечено, что оптимальная пористость исходных частиц для получения полых микросфер должна составлять 45%.

Рассмотрим физическую модель динамики образования полых микросфер на основе агломерированного порошка (пористые частицы) в потоке термической плазмы (рис. 1).

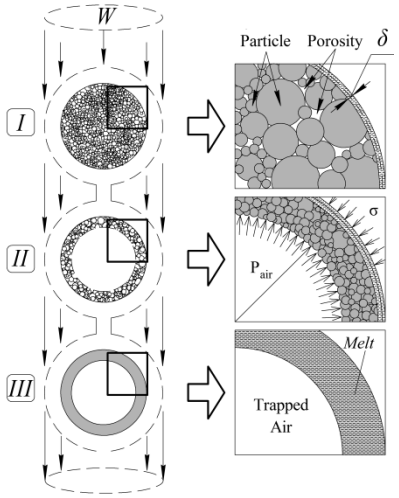


Рис. 1. Физическая модель динамики образования полой микросферы в потоке термической плазмы

На первом этапе при попадании пористой частиц в объемный поток термической плазмы (W) происходит мгновенное оплавление поверхности (δ) с захватом воздуха, содержащегося в порах (интервал *I*). На данном участке интенсивно протекают процессы теплообмена и диффузии за счет высокой концентрации энергии и температуры плазменного потока. При этом температура исходной

частицы стремится к температуре образования жидкой фазы 1910 – 1950 К. В этот момент происходит изменение кристаллических решеток сплавленных частиц субмикронного размера находящихся на поверхности пористой частицы. На интервале *II* протекают процессы, связанные с формированием оболочки микросферы под действием внешних (σ) и внутренних сил (P_{air}). К внешним относится сила поверхностного натяжения, а к внутренним – давление нагретого воздуха, захваченного в интервале *I*. Исходя из равновесия данных сил определяется толщина стенки микросферы. На заключительном интервале *III* частица выходит из потока плазмы. Вследствие резкого изменения температуры несущей среды начинают развиваться процессы аморфизации сформировавшейся на интервале *II* оболочки микросферы. Температура аморфизации оболочки составляет 720 – 770 К и стремится к температуре исходной частицы 300 К.

Для подтверждения выше описанной модели образования полых микросфер проведены экспериментальные исследования на электроплазменном стенде по подбору оптимального режима плазменного воздействия [4]. По результатам экспериментов установлено, что наиболее эффективное плазменное воздействие достигается при технологическом режиме работы электродугового плазмотрона: выходное отверстие анодного узла 25 мм, расход плазмообразующего 0.8 л/с, ток дуги 200 А, напряжение 130 В, расход порошка 3.7 кг/ч. Оценка плазменного воздействия производилась по электронным снимкам (электронный микроскоп Quanta 200 3D) полученных полых микросфер (рис 2) согласно диаграмме Крубьена-Шлосса.

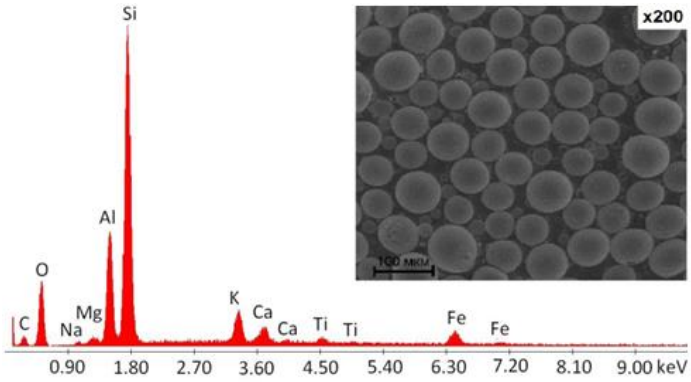


Рис. 2. Электронное изображение и распределение элементного состава микросфер на основе золошлаковых отходов

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлено, что перспективной сырьевой базой для получения микросфер с использованием энергии плазмы являются силикатные отходы техногенного производства (золошлаковые отходы). Установлено, что морфология полученных полых микросфер представлена без дефектов, средний диаметр частиц находится в пределах 90-120 мкм с объемной плотностью 0.3-0.4 г/см^3. Частицы с такими характеристиками наиболее пригодны для практического использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Huidong Liu, Qi Sun, Baodong Wang, Peipei Wang, Jianhua Zou. Morphology and Composition of Microspheres in Fly Ash from the Luohuang Power Plant // Chongqing, Southwestern China Minerals. – 2016. – Vol. 6 (2). – P. 30.

2. Fomenko, E.V., Anshits, N.N., Vasil'eva, N.G. et al. Composition and structure of the shells of aluminosilicate microspheres in fly ash formed on the combustion of Ekibastuz coal // Solid Fuel Chem. – 2016. – Vol. 50. – P. 238.

3. Shekhovtsov V.V., Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G., Gafarov R.E. Plasma treatment of agglomerating aluminosilicate powders based on coal ash // AIP Conf. Pro. – 2017. – Vol. 1800. – P. 020008.

4. Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Kondratyuk A.A., Vitske R. E. Fly ash particles spheroidization using low temperature plasma energy // **IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.** – 2016. – Vol. 156. – P. 012043.

5. Волокитин Г.Г., Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г., Волланд С. Физико-химические процессы получения зольных микросфер с использованием низкотемпературной плазмы // Вестник ТГАСУ. – 2016. – № 3. – С. 139 – 145.

6. Гуляев И.П. Применение низкотемпературной плазмы для получения полых керамических порошков с заданными характеристиками // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т. 57, № 3-3. – С. 123 – 126.

7. Гуляев И.П. Особенности получения и обработки полых частиц диоксида циркония в плазменных потоках // Вестник Югорского государственного университета. – 2009. – № 2. – С. 10 – 22.

Научное издание

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

ВТСНТ-2017

Сборник научных трудов
VI Международной научно-технической конференции
молодых ученых, аспирантов и студентов

Компьютерная верстка *Е.А. Кулинич*

Зарегистрировано в Издательстве ТПУ
Размещено на корпоративном портале ТПУ

Издательство
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ