Министерство образования и науки РФ
Российский фонд фундаментальных исследований
Управление образования и науки Тамбовской области
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
ФГБУН Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А. Г. Мержанова РАН
Научно-образовательный центр ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии»

# «СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА И ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ»

*Материалы X Международной научно-инновационной молодежной конференции*
*24 - 26 октября 2018 г.*

Тамбов 2018

УДК 620.1
ББК 34.4 + 65.291.5

*Конференция проводилась при поддержке РФФИ*
*(проект №18-33-10031\18 мол_г).*

*Сборник подготовлен по материалам, предоставленным авторами в электронном виде, и сохраняет авторскую редакцию. За содержание предоставленных материалов организаторы ответственности не несут.*

**С 56 «Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент»:** материалы X Международной научно-инновационной молодежной конференции: 24 - 26 октября 2018. Под общей редакцией оргкомитета. – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2018. – 412 с.

ISBN 978-5-905724-78-7

Сборник содержит научные статьи и тезисы докладов студентов, аспирантов и молодых научных работников ВУЗов, НИИ и предприятий Российской Федерации и зарубежных стран, вошедших в программу X Международной научно-инновационной молодежной конференции «СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА И ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ».

УДК 620.1
ББК 34.4 + 65.291.5

*© Авторы публикаций, 2018*
*© ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018*
*© Оформление Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2018*

ISBN 978-5-905724-78-7

**ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**
**X Международной научно-инновационной молодежной конференции**
**СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:**
**ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА И ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

**Сопредседатели:**

| | |
|---|---|
| Бузник Вячеслав Михайлович | - академик РАН, д.х.н., профессор, начальник лаборатории «Материалы для арктического климата» Всероссийского института авиационных материалов РАН, г.Москва, Россия; |
| Краснянский Михаил Николаевич | - профессор РАН, д.т.н., профессор, ректор ФГБОУ ВО «ТГТУ», г.Тамбов, Россия. |

**Программный комитет:**

| | |
|---|---|
| Ассовский Игорь Георгиевич | - д.ф.-м.н., зав. лабораторией «Физика горения твердых топлив» Института химической физики им. Н.Н. Семенова, г.Москва, Россия; |
| Баронин Геннадий Сергеевич | - д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «ТГТУ», директор НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», г.Тамбов, Россия - заместитель председателя Программного комитета; |
| Буяновский Илья Александрович | - д.т.н., зав. лабораторией «Методы смазки машин» Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г.Москва, Россия; |
| Валитов Венер Анварович | - д.т.н., ведущий научный сотрудник Института проблем сверхпластичности металлов РАН, г.Уфа, Республика Башкортостан, Россия; |
| Кербер Михаил Леонидович | - д.х.н., профессор, РХТУ им. Д.И. Менделеева, г.Москва, Россия; |
| Мищенко Сергей Владимирович | - д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «ТГТУ», заслуженный деятель науки и техники РФ, г.Тамбов, Россия; |
| Муромцев Дмитрий Юрьевич | - д.т.н., профессор, проректор по научно-инновационной деятельности ФГБОУ ВО «ТГТУ», г.Тамбов, Россия; |
| Dimiter Stavrev | - dr. tech. sci., Professor of Engineering, Technical University, Varna, Bulgaria; |

| | |
|---|---|
| Столин Александр Моисеевич | - д.ф.-м.н., профессор, зав. лабораторией пластического деформирования материалов Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова РАН, руководитель НОЦ ИСМАН, г.Черноголовка, Россия; |
| Стельмах Любовь Семеновна | - д.т.н, вед.н.с. Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова РАН, г.Черноголовка, Россия; |
| Ткачев Алексей Григорьевич | - д.т.н., профессор, зав.кафедрой «Техника и технологии производства нанопродуктов» ФГБОУ ВО «ТГТУ», г.Тамбов, Россия; |
| Туголуков Евгений Николаевич | - д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г.Тамбов, Россия; |
| Устинова Татьяна Петровна | - д.т.н., профессор Энгельсского технологического института СГТУ им. Ю.А. Гагарина, г.Энгельс, Россия; |
| Утяшев Фарид Зайнуллаевич | - д.ф.-м.н., чл.-корр. АН РБ, гл.н.с. Института проблем сверхпластичности металлов РАН, г.Уфа, Россия; |
| Ушаков Николай Владимирович | - ген.директор ООО «Полинит», г.Москва, Россия; |
| Хина Борис Борисович | - д.ф.-м.н., гл.н.с. Физико-технического института НАН Беларуси, г.Минск, Беларусь. |

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

| | |
|---|---|
| Краснянский Михаил Николаевич | - профессор РАН, д.т.н., профессор, ректор ФГБОУ ВО «ТГТУ», г.Тамбов, Россия; |
| Завражин Дмитрий Олегович | - к.т.н., начальник отдела научно-технических программ ФГБОУ ВО «ТГТУ», г.Тамбов, Россия – зам. Председателя Оргкомитета; |
| Баронин Геннадий Сергеевич | - д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «ТГТУ», директор НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», г.Тамбов, Россия; |
| Молоткова Наталия Вячеславовна | - д.п.н., профессор, первый проректор ФГБОУ ВО «ТГТУ», г.Тамбов, Россия; |
| Муромцев Дмитрий Юрьевич | - д.т.н., профессор, проректор по научно-инновационной деятельности ФГБОУ ВО «ТГТУ», г.Тамбов, Россия; |
| Майстренко Александр Владимирович | - к.т.н., доцент, проректор по управлению имущественным комплексом и инфраструктурному развитию ФГБОУ ВО «ТГТУ», г.Тамбов, Россия; |
| Столин Александр Моисеевич | - д.ф.-м.н., профессор, зав. лабораторией пластического деформирования материалов Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова РАН, руководитель НОЦ ИСМАН, г.Черноголовка, Россия; |
| Завражина Кристина Владимировна | - к.э.н., научный сотрудник НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», г.Тамбов, Россия – ученый секретарь Конференции. |

СОДЕРЖАНИЕ

***Пленарные доклады*** ..... 15
*Валитов В. А.*
Исследование механизма формирования ультрамелкозернистой структуры дуплексного типа в никелевом сплаве при деформационно-термической обработке ..... 15
*Вигдорович В. И.*
Индустрия наносистем и принцип неопределённости ..... 32
*Баронин Г. С., Воробьев Ю. В., Ассовский И. Г., Дунаев А. В., Воробьев Ю. Ю., Воронин Н. В.*
Перспективная водотопливная эмульсия ..... 43
*Ельчищева Т. Ф., Ерофеев В. Т.*
Исследование параметров структуры строительных материалов при кристаллизации солей в поровом пространстве ..... 52
*Мухтаров Ш. Х., Валитов В. А.*
Формирование ультрамелкозернистой структуры при низкотемпературной прокатке никелевого сплава с неизоморфными выделениями второй фазы ..... 55
*Попов А. И.*
Импульсная педагогика в подготовке кадров для инновационной экономики ..... 61

***СЕКЦИЯ 1. Материаловедение и твердофазные технологии новых материалов*** ..... 68
*Ляшенко Я. А.*
Моделирование соударения сферических тел с учетом нелокальной пластичности и адгезии ..... 68
*Константинов А. С., Бажин П. М., Столин А. М.*
Особенности холодного одноосного сжатия шихтовой смеси TiB-xTi ..... 71
*Дмитриев О. С., Живенкова А. А., Дмитриев А. О.*
Влияние наполнителя на теплофизические свойства полимерных композитов ..... 72
*Хвостова Л. В., Волкова Н. Е., Черепанов В. А.*
Свойства индивидуальных соединений, образующихся в системе SM-SR-FE-O ..... 75
*Игнатов Н. Н., Овсянников П. О., Кузнецов М. А.*
Теплоемкость кристаллических и аморфных пористых горных пород ..... 77
*Королева И. Л., Лоскутова А. Д.*
Влияние нанообъектов на электрофизические свойства структуры из пористого кремния ..... 80
*Лутовинова Т. А., Чуприкова А. А.*
Твердофазная экструзия наномодифицированных материалов на основе ПА-6 ..... 81
*Бикмухаметова А. А., Галиева Э. В., Валеев И. Ш.*
Влияние радиально-сдвиговой деформации на структуру и свойства никелевого сплава ХН58МБЮД ..... 83

*Гришанов И. М., Герасимова В. М., Зубова Н. Г.*
Структурные особенности и свойства композиционных материалов
на основе модифицированных базальтовых нитей ..... 86
*Васинкина Е. Ю., Калганова С. Г., Арзамасцев С. В., Щербаков А. С.*
Применение СВЧ нагрева для производства
изделий из ненасыщенных полиэфирных смол ..... 89
*Чижиков А. П., Бажин П. М., Столин А. М.*
СВС керамического композиционного материала
на основе эвтектики Al2O3-ZrO2 ..... 92
*Буренина А. И.*
Исследование метода заточки зонда в туннельной микроскопии ..... 93
*Базуева М. В., Макарова А. Э., Волкова Н. Е.*
Структура и кислородная нестехиометрия перовскитоподобных
соединений на основе Ba1-xPrxFe1-yCoyO3-δ ..... 94
*Лоскутова А. Д., Королева И. Л.*
Технология получения порошкового материала железо – карбид вольфрама ..... 97
*Мостовой А. С., Хазов К. Н., Титова А. Д., Кадыкова Ю. А.*
Модифицированные эпоксидные композиты,
наполненные кремнистой породой ..... 99
*Кузнецова А. А., Беляев П. С., Туляков Д. В.*
Использование вторичного полипропилена
в производстве строительных материалов ..... 101
*Болоцкая А. В., Михеев М. В.*
Исследование влияния наночастиц AlN на структуру и свойства
материалов на основе TiB/Ti, полученых методом СВС-экструзии ..... 104
*Буренина А. И., Толстов Н. А.*
Влияние многократного отжига на твердость высокоуглеродистой стали ..... 106
*Бекеров В. Э., Арзамасцев С. В, Устинова Т. П., Герасимова В. М.*
Крышки люков из композиционного материала ..... 108
*Сулицкий О. Ф., Штрекк Д. И., Арзамасцев С. В.*
Усовершенствование процесса ремонта дорожного полотна
с использованием СВЧ – технологий ..... 110
*Классман Е. Ю., Классман П. А.*
Низкотемпературная сверхпластичность титанового сплава ВТ22
с ультрамелкозернистой структурой ..... 113
*Лоскутова А. Д., Королева И. Л.*
Электрофизические свойства порошкового
сплава железо – карбид вольфрама ..... 116
*Королев А. П., Верчёнов В. С., Никитин А. В., Мордасов М. Д.*
Нарушение поверхностного слоя стали при электроэрозионной обработке ..... 118
*Мордасов Д. М., Мордасова Н. А., Корендясев С. П.*
Регистрация фазовых переходов в пленках Ленгмюра ..... 120
*Озеров В. С., Маркидонов А. В.*
Изучение деформации металлического нановолокна
методом молекулярной динамики ..... 123

*Пархимович Н. Ю., Имаев М. Ф.*
Влияние температуры кручения под квазигидростатическим давлением на микроструктуру керамики на основе фазы BI(PB)2223 ..... 126
*Ганеев А. А., Валитов В. А., Утяшев Ф. З., Имаев В. М.*
Влияние температурно-скоростных условий деформации на деформируемость и структуру гранульного сплава ЭП741НП ..... 129
*Желтов А. А., Майникова Н. Ф.*
Определение толщины полимерных покрытий на металлических основаниях ..... 132
*Дмитриев О. С., Баронин Г. С., Попов В. А., Худяков В. В.*
Тепломассоперенос при твердофазной штамповке полимерных нанокомпозитов на основе политетрафторэтилена ..... 135
*Мордасов М. Д., Верчёнов В. С., Никитин А. В.*
Исследование процесса послойного компактирования минеральных материалов ..... 138
*Шарипов И. З., Галиева Э. В.*
Исследование термического расширения твердофазного соединения из разнородных никелевых сплавов ..... 140
*Ярмизина А. Ю., Майникова Н. Ф.*
Определение теплопроводности полимерных покрытий металлических изделий ..... 143
*Ярцев В. П., Клепиков А. С., Зимнухов А. Н.*
Определение предела прочности при сжатии и изгибе асфальтобетонных образцов после пропитки герметиком ..... 146
*Максимова К. А., Румянцева А. А., Герасимова В. М.*
Регулирование свойств базальтовых нитей, используемых для армирования композиционных материалов ..... 148
*Максимович С. В.*
Контроль соответствия прочности бетона на сжатие ..... 152
*Минаков А. А., Плохих А. И.*
Фрактографическое исследование изломов многослойного стального материала 08Х18Н10+08Х18 и нержавеющей стали 08Х18Н10 при циклическом нагружении в условиях чистого плоского изгиба ..... 155
*Буренина А. И., Толстов Н. А.*
Влияние многократного отжига на микроструктуру высокоуглеродистой стали ..... 158
*Моисеев Н. В., Никулина А. Д., Новиков В. А.*
Изучение термодинамических характеристик и режимов горения в процессе растворного СВС оксида цинка ..... 160
*Мостовой А. С., Таганова А. А.*
Влияние микросфер оксида кремния на физико-механические характеристики наполненных эпоксидных композитов ..... 163
*Севостьянов М. А., Опарина И. Б., Леонов А. В.*
Условия спекания прозрачной керамики Al2O3 ..... 165
*Сабадаха Е. Н.*
Влияние пигментной части и объемной концентрации пигментов на биозащитные свойства лакокрасочного покрытия ..... 168

*Сайков И. В., Винтайкин И. Б., Чудаков И. Б., Федотова Н. Л., Макушев С. Ю.*
Биметаллические высокодемпфирующие материалы,
полученные методом сварки взрывом ..... 171
*Санько Е. А.*
Способы определения модуля упругости заполнителя ..... 174
*Морева И. И., Шашков И. В.*
Изучение процесса девулканизации РТИ на валковом оборудовании ..... 176
*Солоненко А. П.*
Синтетические композиты на основе гидроксиапатита и волластонита ..... 179
*Толстов В. А., Мостовой А. С., Теслина Н. В., Кадыкова Ю. А.*
СВЧ-модификация наполненных эпоксидных композитов ..... 182
*Макарчук А. П., Преображенская Е. М.*
Статические испытания образцов из термопластичного полиэфира
на разрывной машине ..... 184
*Ромашкина Л. В., Макеев П. В., Ануфриев И. О., Буравлёв Н. А.*
Расчет геометрических размеров шнекового устройства ..... 187
*Жигалова М. Ю., Ахунова А. Х.*
Формирование твердофазного соединения типа диск-вал
из разноименных сплавов на основе никеля ..... 190
*Ромашкина Л. В., Ануфриев И. О., Шашков И. В.*
Исследование процесса дробления отходов полимерной тары и упаковки ..... 193
*Рахимов Г. Б., Орипов З. М.*
Изучение процессов, протекающих при твердении
и гидратации белитового вяжущего ..... 196
*Прокопец А. Д., Бажин П. М., Столин А. М.*
Получение макрослойных покрытий на основе MAX-фазы
состава TI-AL-C методом свободного СВС-сжатия ..... 198
*Ромашкина Л. В., Макеев П. В.*
Определение содержания гель-фракции в полиэтилене высокого
давления (ПВД) при переработке его на валково-шнековом агрегате ..... 200
*Беляев П. С., Устьян Е. В.*
Получение композиционного материала на основе отходов
TETRAPACK и отходов производства ЦСП ..... 203

***СЕКЦИЯ 2. Технологии наносистем и материалов*** ..... 206
*Малышева И. С., Смольков М. С., Зубова Н. Г.*
Перспективы использования нанотехнологий и наноматериалов
в растениеводстве ..... 206
*Черкашина Н. И., Сидельников Р. В.*
Исследования рабочего температурного режима функционирования
композитов с кристаллическим диоксидом кремния ..... 209
*Преображенская Е. М., Макарчук А. П.*
Метод исследования физико – механических свойств
термопластичного полиэфира ..... 212
*Таров Д. В., Кобзев Д. Е., Титова Г. А., Таров В. П., Шубин И. Н., Дьячкова Т. П.*
Применение углеродных нанотрубок, функционализированных
стеаратом титана в композитах на основе полиэтилена ..... 214

*Козерожец И. В., Семенов Е. А., Панасюк Г. П.*
Получение наноразмерных частиц бемита
при разных температурах гидротермальной обработки ..... 216
*Листунова О. С.*
Нанокомпозиты и их применение ..... 217
*Преображенская Е. М., Макарчук А. П.*
Исследование характера разрушения образцов при испытаниях
на разрывной машине ..... 220
*Бакунин Е. С., Образцова Е. Ю., Рухов А. В.*
Вопросы электрохимического синтеза нанографитов ..... 222
*Батищев В. В., Светличный А. М., Житяев И. Л.*
Получение пористого карбида кремния методом
электрохимического травления ..... 224
*Бесперстова Г. С., Неверова М. А., Буракова Е. А., Степанов А. М.*
Влияние термического разложения на характеристики катализатора
синтеза углеродных наноматериалов ..... 227
*Козерожец И. В., Семенов Е. А., Панасюк Г. П.*
Синтез и исследование наноразмерных порошков
оксидов и гидроксидов алюминия ..... 230
*Данилов Е. А., Самойлов В. М., Тимощук Е. И.,Орлов М. А., Галимов Э. Р.*
Получение высокопористых углеродных материалов с возможностью
регулирования коэффициента теплопроводности в широких пределах
из различных типов сырья методами ориентированной карбонизации ..... 231
*Зайцев И. А., Блохин А. Н., Сухоруков А. К.,*
*Ящишин Н. Ю., Кобзев Д. Е., Комбарова П. В.*
Влияние фторирования на дисперсность
УНТ в эпоксидном мономере BFE-170 ..... 234
*Буракова Е. А., Неверова М. А., Бесперстова Г. С., Степанов А. М.*
Катализаторы для получения углеродных наноструктурных материалов ..... 237
*Данилов Е. А., Самойлов В. М., Находнова А. В., Пономарева Д. В.*
Сверхтонкие пленки наночастиц серебра – применение метода
самосборки для получения новых типов проводящих покрытий ..... 240
*Парамонова Н. В., Хробак А. В., Иконников В. С.*
Применение пленочных ИК-нагревателей на основе полимеров,
модифицированных графеном для отопления жилых помещений ..... 242
*Ягубов В. С., Щегольков А. В.*
Применение углеродных нанотрубок для создания электропроводящего
хлоропренового каучука с эффектом саморегулируемого тепловыделения ..... 245
*Ящишин Н. Ю., Блохин А. Н., Сухоруков А. К.,*
*Зайцев И. А., Кобзев Д. Е., Комбарова П. В.*
Влияние фторирования и дисперсности на прочностные
характеристики эпоксидного связующего BFE-170 ..... 248
*Родионов Д. А., Лазарев Д. С., Головин Ю. М., Хорохорина И. В.*
О некоторых особенностях влияния воды на структурные превращения
в композиционных мембранах ..... 250

*Хан Ю. А., Титова Г. А., Чапаксов Н. А.,*
*Столяров Р. А., Дьячкова Т. П., Першин В. Ф.*
Структурные изменения конических углеродных нанотрубок
при механической обработке и окислении ..... 253
*Рыжкин В. Ю., Лазарев С. И., Головин Ю. М., Ковалев С. В.*
Особенности исследования морфологии поверхности
нанофильтрационных мембран ОПМН-П и ОФАМ-К ..... 256
*Климин В. С., Резван А. А., Морозова Ю. В.*
Влияние режимов плазменной обработки наноструктур A3B5,
модифицированных методом ЛАО ..... 259
*Образцов Д. В., Образцова Е. Ю.*
Синтез катализатора в вакууме непосредственно
на поверхности электродов топливного элемента ..... 262
*Поликарпов В. М., Головин Ю. М., Лазарев С. И., Левин А. А.*
Внесение добавок в твердофазный сверхмолекулярный полиэтилен
и его реакция на данные добавки ..... 264
*Попова А. А., Шубин И. Н.*
Нанотехнологии в машиностроении как важнейший элемент
научно-технической революции ..... 266
*Климин В. С., Резван А. А.*
Вертикально ориентированные углеродные наноструктуры
как материал для детектора газов ..... 268
*Образцова Е. Ю., Образцов Д. В., Бакунин Е. С., Рухов А. В.*
Синтез многослойных графеновых структур электрохимической
эксфолиацией графита в кислых средах ..... 270
*Щегольков А. В.*
Применение механоактивации углеродных нанотрубок
при наномодифицировании эластомеров ..... 272
*Тагиев Б. Г., Ибрагимов Р. А., Сафарзаде А. А., Бахышев Р. А.*
Локальное оксидирование поверхности слоистых
полупроводников методом силовой зондовой микроскопии ..... 275
*Щегольков А. В.*
Электролиты для магний – графенового аккумулятора ..... 278
*Шишкин М. И., Цветкова О. Ю., Яшина Н. Ю.*
Структура и рекомбинационные свойства
субмикронных частиц полупроводников ..... 280
*Слдозьян Р. Д., Толчков Ю. Н., Малютина Е. И., Михалева З. А.*
Влияние наноразмерных модификаторов
на физико-механические свойства легких бетонов ..... 283

***СЕКЦИЯ 3. Химико-технологические процессы и системы*** ..... 285
*Абдирахимов И. Э., Буронов Ф. Э.*
Ингибитор коррозии на основе кремнийсодержащей полимерной композиции ..... 285
*Котенев С. И., Абоносимов О. А., Лазарев Д. С.*
Исследование эффективности электрохимической мембранной
очистки технологических растворов от сульфата меди ..... 288

*Султонов Н. Н.*
Реконструкция фильтров для очистки раствора амина
от механических примесей и смол ..... 291
*Садыков Т. Т., Хафизов Р. Р., Травкина О. С.*
Модифицирование гранулированного цеолита ZSM-5
с иерархической пористой структурой постсинтетическими обработками ..... 292
*Куликова Д. С., Суворова Ю. А., Парамонова Е. В.*
Утилизация карбонатнокальциевых отходов, образующихся
при водоподготовке на предприятии топливно-энергетического комплекса ..... 294
*Абдирахимов И. Э., Буронов Ф. Э.*
Очистка и восстановление почв после загрязнения нефтью и нефтепродуктами ..... 296
*Фомин В. М., Кобелева С. П.*
Особенности со-диффузии фосфора и галлия в германии
при формировании 1 каскада мультикаскадного солнечного элемента ..... 299
*Галяутдинова Л. С., Травкина О. С.*
Синтез и изучение свойств гранулированного цеолита
структурного типа MFI без связующих веществ ..... 302
*Султонов Н. Н.*
Анализ эффективности работы основного технологического
оборудования установки аминовой сероочистки ..... 304
*Чудов К. А., Щегольков А. В., Левченко К. С., Гребеников Е. П.*
Синтез новых электрохромных 4,5-бис-(пиридинил)изоксазолов ..... 307
*Салохиддинов Ф. А., Самадов А. Х.*
Процессы деформации коллектора, влияющие
на продуктивность скважин с АВПД ..... 309
*Хохлов П. А., Лазарев Д. С., Шестаков К. В.*
Исследование структуры гетерогенных ионообменных мембран ..... 312
*Карапузов О. Г.*
Особенности вакуумной цементации зубчатых колес из теплостойких сталей ..... 315
*Султонов Н. Н.*
К вопросу сорбционной способности сорбента
терморасщепленного графитового (СТРГ) для нефти и нефтепродуктов ..... 318
*Коновалов Д. Н., Ковалев С. В., Лазарев С. И., Ковалева О. А.*
Применение электробаромембраного аппарата плоскокамерного типа ..... 319
*Находнова А. В., Самойлов В. М., Тимощук Е. И., Данилова Е. А., Пономарева Д. В.*
Контроль технологических параметров получения углеродных волокон
на основе полиакрилонитрила методом рамановской спектроскопии ..... 322
*Мачнева А. Н.*
Определение размера частиц сушеной груши, вносимой в пряничное тесто ..... 323
*Дустов А. Ю., Рахматов Х. Б.*
Расширение Шуртанского ГХК с производством
дополнительного полиэтилена ..... 326
*Малышева И. С., Смольков М. С., Зубова Н. Г.*
Исследование сорбционных и физико-механических свойств
модифицированных базальтовых нитей ..... 329

*Москвин Р. Ю., Бычкова Е. В.*
Электретные композиционные материалы на основе эпоксидной смолы 332
*Курносов Д. А., Мкртчян Э. С., Буракова И. В., Бураков А. Е., Нескоромная Е. А.*
Удаление ализаринового красного - анионного красителя
из водных растворов углеродными материалами 335
*Абдирахимов И. Э, Буронов Ф. Э.*
Использование твердофазной спектрофотометрии
для определения ионов рения в нефтепродуктах 337
*Паршкова Е. С., Зубова Н. Г.*
Сравнительный анализ свойств нитей, модифицированных
при разных технологических режимах 340
*Шарова П. Д., Шибаков И. А., Ченцова Е. В.*
Роль буферирующих веществ в формировании
гальванического осадка цинк-никель 343
*Мкртчян Э. С., Курносов Д. А., Буракова И. В., Бураков А. Е., Бабкин А. В.*
Нанопористый материал для извлечения органического
красителя - малахитового зеленого 345

***СЕКЦИЯ 4. Механика и математическое моделирование
новых материалов и технологий*** 347
*Кисель Ю. Е., Лысенко А. Н.*
Применение упрочняющих покрытий для восстановления деталей машин 347
*Кузнецова Н. В., Селезнев А. Д., Езерский В. А.*
Планирование экспериментальных исследований
физико-механических характеристик мелкозернистого бетона
с заполнителем из измельченных оптических дисков 349
*Байдышев В. С.*
Компьтерное моделирование формирования янус-подобных
наночастиц Cu-Au в методе газофазного синтеза 352
*Балашов А. А., Чупрынина С. А.*
Прогнозирование результатов экспериментальных исследований
с помощью нейросетевых технологий 355
*Липунов В. Н., Липунова Д. А., Маркидонов А. В.*
О возможном механизме роста вакансионной поры
при радиационном облучении материала 358
*Ахунова А. Х., Галиева Э. В.*
Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного
состояния в образцах из разноименных сплавов на основе Ni
при их сварке давлением со сдвигом 361
*Клявлина А. И., Рысаева Л. Х.*
Расчет констант упругости фуллерита разного состава 364
*Турсунов Ш. С.*
Материалы для машин и механизмов теплоэнергетики 366
*Хачатурова Т. А., Онищенко И. Д.*
Динамические характеристики проводящих гетероструктур 368

*Клявлина А. И., Рысаева Л. Х., Баимова Ю. А.*
Влияние скорости деформации на формирование
структуры углеродных аэрогелей ..... 371
*Сафина Л. Р., Баимова Ю. А.*
Взаимодействие полиморфов углерода с наночастицами никеля ..... 374
*Иванова Э. С., Зорин А. С.*
Анализ температурного режима конвективной
вакуум-импульсной сушилки ..... 377
*Турсунов Ш. С.*
Состояние и перспективы рационального использования
и снижения потерь топлива и смазочных материалов ..... 379
*Мокрозуб В. Г., Карева О. Х., Соловьева Т. И.*
Выбор конструкционного материала технологического оборудования ..... 382
*Сафина Л. Р.*
Плавление нанокластера никеля на поверхности графена ..... 384
*Мордасов М. Д., Мордасов Д. М.*
Разработка окулярной камеры ..... 386
*Никулин С. С., Кузнецов А. В., Левин А. Г.*
Исследование метода контроля качества двухслойных изделий ..... 389
*Тарасов Д. С., Тимофеев Н. А.*
Применение вспененного полиэтилена для утепления
ограждающих конструкций зданий ..... 391
*Мокрозуб В. Г., Попов А. В, Мокрозуб В. А.*
Онтология для решения задач синтеза технологического оборудования ..... 393
*Ахунова А. Х., Валеева А. Х., Валеев И. Ш.*
Влияние скорости противодавления на напряженно-деформированное
состояние заготовки при равноканально-угловом прессовании ..... 395
*Сыромясов А. О., Попов А. И., Головенко М. В.*
Равновесие рабочих тел в шаровой мельнице ..... 398

***СЕКЦИЯ 5. Инновационный менеджмент в сфере высоких технологий*** ..... 400
*Попова И. Ю., Дмитриева Е. Л.*
Использование венчурного капитала для реализации
высокотехнологичных инвестиционных проектов ..... 400
*Коробова О. В., Швецова Д. А.*
Необходимость определения инвестиционной
привлекательности предприятия ..... 403
*Ворожейкин В. С.*
Принципы планирования и управления
высокотехнологичным машиностроительным предприятием ..... 404
*Калюжная Е. С.*
Инновационный менеджмент в сфере высоких технологий ..... 407
*Ермолаева А. М., Парамонова Н. В., Хробак А. В.*
Экономические перспективы наномодифицированных
теплоаккумулирующих материалов для энергоэффективных домов ..... 409

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРЫ ДУПЛЕКСНОГО ТИПА В НИКЕЛЕВОМ СПЛАВЕ ПРИ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ*

**Валитов В. А.**
***Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа***
***Valitov_VA@mail.ru***

Образование структуры типа микродуплекс в дисперсионно-твердеющих жаропрочных никелевых сплавах (ЖНС) происходит в сложных условиях взаимодействия процессов рекристаллизации и выделения упрочняющей γ′-фазы [1-6]. Закономерности формирования такой структуры в основном рассматривали для случая статической рекристаллизации низколегированных сплавов. Следует отметить, что развитие рекристаллизации в значительной мере зависит от размеров частиц γ′-фазы, расстояния между ними, типа связи с матрицей. Влияние этих факторов на образование микродуплекса при горячей деформации, а также температурно-скоростных условий последней недостаточно исследовано.

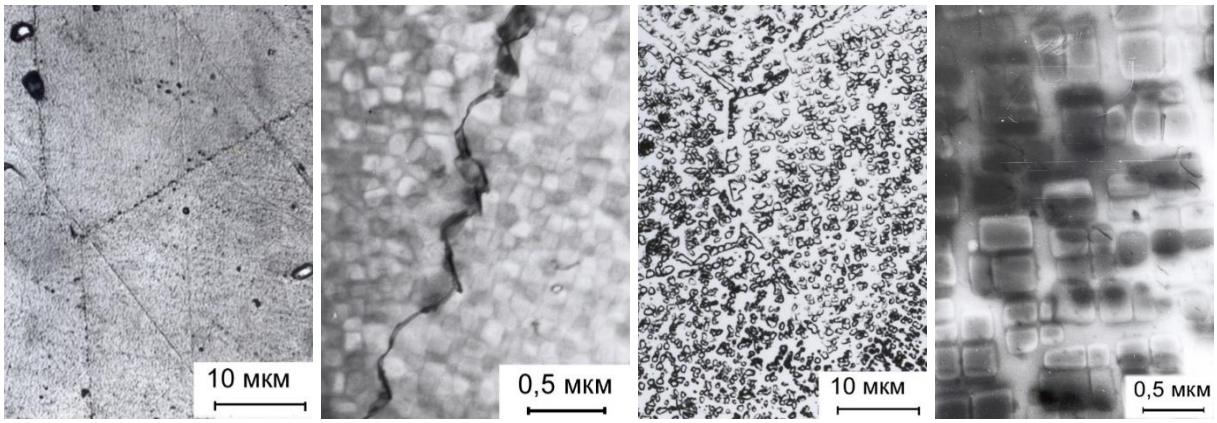
В данной работе представлены результаты систематических исследований влияния режимов термической обработки и горячей деформации на трансформацию крупнозернистой микроструктуры никелевого сплава, упрочняемого изоморфной γ′-фазой на основе интерметаллида Ni3(Al,Ti), в микроструктуру типа микродуплекс.

Материалы и методики исследования.

В качестве материала исследования выбрали жаропрочный сплав на основе никеля ЭП962, содержащий 45 % γ′-фазы и имеющий температуру ее полного растворения 1150 °С. Химический состав сплава приведен ниже: С-0,1; Cr-13,09; W-2,82; V-0,36; Mo-4,63; Al-3,22; Ti - 2,64; Fe-0,58; Co-10,74; Nb - 3,44; Ni- осн. (мас.%). Перед деформацией образцы, вырезанные из горячепрессованного прутка, подвергали гомогенизационному отжигу при температуре 1180 °С в течение 1 ч. Часть образцов с температуры гомогенизации охлаждали на воздухе (состояние 1), а другую - охлаждали с печью со скоростью 20-30 °С/ч до 900 °С (состояние 2), далее на воздухе. Образцы диаметром 8 мм и высотой 12 мм осаживали на установке 1231У-10 в изотермических условиях при 1000-1150 °С со степенями от 2 до 75 % и скоростями деформации 10-5 - 10 -1 с-1. Выдержка образцов при температуре испытаний перед деформацией составляла 25 мин. Для установления особенностей изменения микроструктуры при наклепе и термическом воздействии часть образцов подвергали холодной деформации при 20 °С на 10 и 50 % и последующему отжигу при температуре 1100 °С в течение 1 ч, а также отжигу недеформированных образцов при той же температуре длительностью от 0,5 до 100 ч. Микроструктуру закаленных с температуры испытания в воде образцов изучали методами оптической («Неофот-32», «Эпиквант») и электронной (BS-540, JEM-2000EX, JSM-840) микроскопии. Фольги изготавливали по методике, изложенной в работе [7].

Результаты исследования и их обсуждение.

Исходная микроструктура. Металлографические исследования показали, что после гомогенизирующего отжига в сплаве формируется равноосная крупнозернистая микроструктура со средним размером зерен γ - фазы 80 мкм. При этом состояние 1 характеризуется наличием дисперсных когерентных частиц γ′ - фазы размером 0,1 мкм, гомогенно выделенных в объеме зерен матрицы (рис. 1). В то же время в состоянии 2 внутризеренная γ′ - фаза скоагулирована до размера 0,5 мкм, имеет преимущественно кубоидную форму и частично нарушенную когерентность, о чем свидетельствовали отдельные дислокации несоответствия на межфазных границах.




а) б) в) г)

Рис. 1. Микроструктура сплава ЭП962 после гомогенизирующего отжига и последующего охлаждения на воздухе (состояние 1) и с печью (состояние 2): а), б) - состояние 1, в), г) - состояние 2.

Среднее расстояние между частицами составляет 0,25 мкм. У границ зерен ширина зон свободных от выделений достигает 1...2 мкм. Зернограничные выделения γ′ -фазы в 2...3 раза крупнее внутризеренных, имеют как правило глобулярную форму, частично когерентную границу с одним зерном и высокоугловую с другим граничащим зерном.

Следует отметить, что формирование микродуплексной структуры является сложным процессом, определяемым не только условиями гетерогенизации структуры, но также фазовыми и микроструктурными изменениями, имеющими место при нагреве и горячей деформации. Рассмотрим роль каждого из этих процессов последовательно.

Гетерогенизация. Изучали изменение морфологии, количества и размера выделений γ′-фазы при нагреве сплава до 1100 °С. Как видно из рис. 2, объемная доля γ′-фазы уменьшается до равновесной при выдержке, но при этом увеличивается размер и расстояние между частицами γ′-фазы.

Вместе с ростом размера частиц γ′-фазы происходит изменение структуры межфазных границ. Для состояния 1 характерным является выстраивание кубоидных частиц γ′-фазы в цепочки, образующие пространственную "квазипериодическую" решетку, типичную для никелевых сплавов [8, 9]. Когерентность кубоидных частиц γ′-фазы сохраняется после выдержек в течение 2...8 час. ( рис. 3), хотя имеет место рост размера γ′ -фазы до 0,4 мкм. Лишь после длительной выдержки в течение 50...100 час. в этом состоянии наблюдается частичное

нарушение когерентности на межфазной границе частиц γ′-фазы, укрупнившихся до размера 0,71...0,86 мкм.

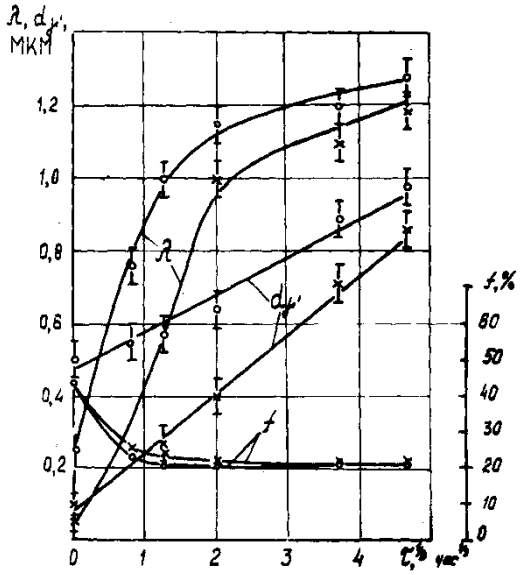



Рис. 2. Зависимости изменения параметров γ′-фазы от времени отжига при 1100°С жаропрочного никелевого сплава ЭП962:
f - объемная доля γ′ -фазы;
λ - межчастичное расстояние;
dγ′- размер частиц γ′ -фазы;
x- состояние 1 , o - состояние 2;
τ, час – время выдержки.

В состоянии 2 интенсивно протекают процессы сфероидизации, коалесценции частиц γ′-фазы, в результате которой происходит изменение структуры межфазных γ / γ′ границ. Если в начальный момент большинство границ γ / γ′ были когерентны, то уже после выдержки более 30 мин. на межфазных границах γ / γ′ появляются дислокации несоответствия (рис.4б,в,д,е.), обусловливающие частичную потерю когерентности. На рис. 4 видно, что поверхность раздела γ / γ′ содержит дислокации несоответствия, имеющие согласно [ 10 ] вектор Бюргерса типа a/2 < 110 > . Длительный отжиг образцов (50...100 час.) в состоянии 2 способствовал укрупнению частиц γ′-фазы до размера 0,89...0,98 мкм, но не привел к преобразованию частично когерентных межфазных границ в некогерентные общего типа.

Из рис. 3 видно, что в обоих состояниях наблюдается линейная зависимость размера частиц dγ′ от корня кубического из продолжительности отжига, т.е. соответствует закону Лившица-Слезова-Вагнера [11].

Итак, после нагрева и выдержки при 1100 °С в течение 0,5...8 час., характерных для процессов горячей деформации, в состоянии 2 имеет место гетерогенизация структуры - интенсивная коагуляция γ′-фазы и образование частично когерентных межфазных границ.

Механические_свойства. Гетерогенизация микроструктуры и температурно-скоростные условия деформации существенно влияют на напряжение течения и вид кривых σ-ε (рис. 5). При всех температурах испытания напряжения течения сплава в состоянии 1 заметно больше, чем в состоянии 2. Чем больше температура и меньше скорость деформации, тем меньше величина пика σ-ε на кривых σ-ε. По достижении температуры 1050 °С и скорости $10^{-3}c^{-1}$ на кривых σ-ε отмечается установившаяся стадия течения, протяженность которой возрастает с дальнейшим увеличением температуры испытания и уменьшением скорости деформации.

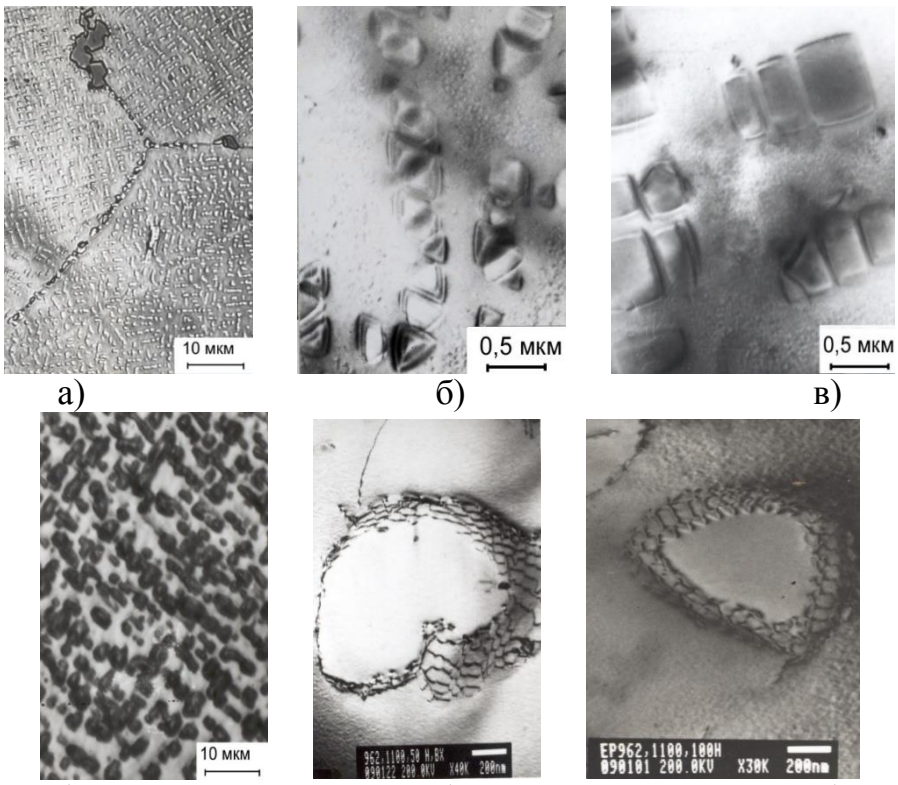



Рис. 3. Микроструктура сплава ЭП962 в состоянии 1
после изотермического отжига при 1100 °С: а), б), в) - время выдержки 8 час.; г), д) - 50 час.; е) - 100 час.

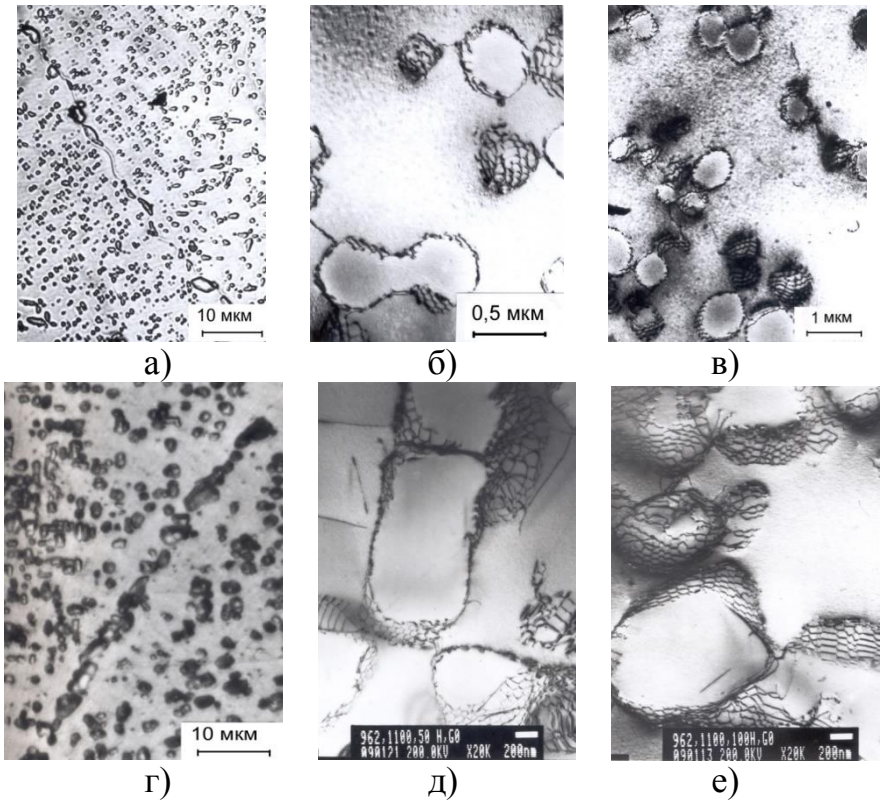



Рис. 4. Микроструктура сплава ЭП962 в состоянии 2
после изотермического отжига при 1100 °С: а), б) - время выдержки 2 час.; в) - 8 час.; г), д) - 50 час.; е) - 100 час.

Состояние сплава также влияет на характер кривых σ-ε, что особенно заметно при температуре испытания 1100 °С. Так при деформации сплава в состоянии 2 на кривой σ-ε отсутствует пик напряжения течения и, кроме того, на ней отмечается осцилляция напряжения течения. Оценка коэффициента скоростной чувствительности напряжения течения показала, что в состоянии 2 наибольшее его значение m = 0,31 достигается при 1100 °С в интервале скоростей $10^{-5}$…$10^{-3}$ $с^{-1}$ при степени деформации 50%, хотя при ε =5% коэффициент составил 0,23 . Для состояния 1 коэффициент m в исследованном температурно-скоростном интервале не превышал 0,16.

Максимально допустимая степень деформации, выше которой на боковой поверхности образцов появляются трещины при 1100 °С и скорости деформации 10-3 с-1 составила 60% и была в 1,5...2 раза больше чем в состоянии 1. При снижении температуры до 1000 °С или увеличении скорости деформации до $10^{-2}$...$10^{-1}$ $с^{-1}$ в состоянии 2 она уменьшалась на 15...30%.

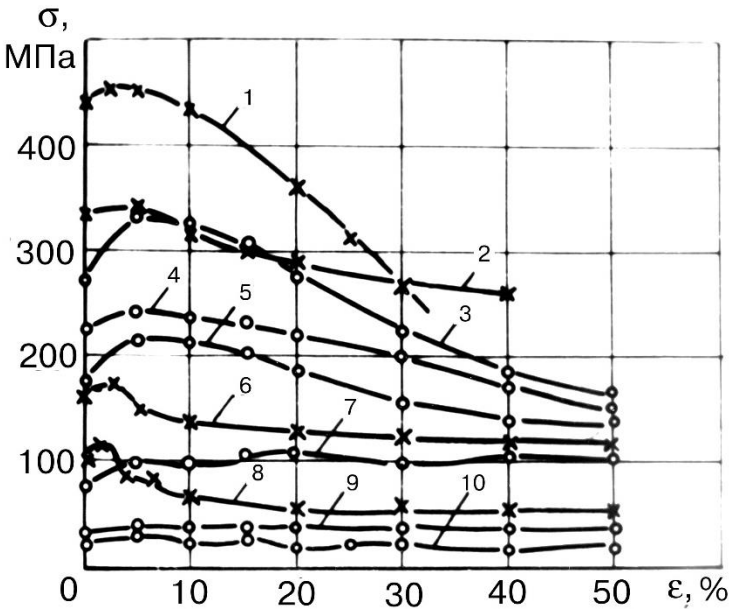


Рис. 5. Зависимости напряжения течения сплава ЭП962 от температуры и скорости деформации: x - состояние 1, o - состояние 2. $10^{-3}$ $с^{-1}$: 1, 3 - 1000°С; 2, 5 - 1050°С; 6, 7 – 1100 °С; 9 – 1150 °С. $10^{-1}$ $с^{-1}$: 4 – 1100 °С; $10^{-5}$ $с^{-1}$: 8, 10 – 1100 °С.

Холодная деформация и последеформационный отжиг. Гетерогенизация оказывает значительное влияние на характер пластического течения и вид формируемой при рекристаллизации микроструктуры.

Оптическая металлография показала, что после холодной деформации на 50 % в состоянии 1 наблюдаются грубые полосы, являющиеся, по всей видимости, полосами локализации деформации, которым согласно электронно-микроскопическим исследованиям соответствуют участки фольги с повышенной плотностью дислокации (рис. 6). Между тем, несмотря на достаточно высокую плотность дислокации субструктура в этом состоянии не образуется.

Отжиг холоднодеформированных образцов привел к развитию рекристаллизации, характер протекания которой существенным образом зависит от степени предварительной деформации и состояния γ′ -фазы и согласуется с результатами исследований приведенных с работе [3]. В состоянии 1 рекристаллизация происходит крайне неравномерно, преимущественно вблизи исходных границ зерен. При этом характерным является то, что частицы γ′-фазы выделены в рекристаллизованных зернах в основном в ламельной форме и когерентно связаны с матрицей (рис. 6 д, е).

В состоянии 2 характер металлографической картины иной, чем в состоянии 1. Следов грубых полос скольжения не наблюдается (рис. 7).

Повышение степени предварительной деформации с 10 до 50 % приводит не только к значительному увеличению доли рекристаллизованного объема, но и существенному изменению морфологии выделений γ′-фазы. В этом случае наряду с ламельной формой в микроструктуре присутствуют частицы γ′ -фазы глобулярной формы с частично нарушенной когерентностью. Микроструктура разнозернистая: наряду с зернами γ -фазы размером 3...10 мкм присутствуют более крупные зерна размером до 40 мкм. В нерекристаллизованных участках сохранилась дисперсная γ′ -фаза.

Изучение тонкой микроструктуры показало, что при степени деформации 50% формируется субструктура. Подтверждением этого может служить размытие рефлексов на электроннограмме (рис. 7, г.).

При меньшей степени деформации (10 %) частицы γ′ -фазы не перерезаются дислокациями, плотность которых наиболее высока вблизи межфазной поверхности раздела γ/ γ′. В то же время разориентировки между микрообластями не выявляются.

В результате отжига образцов состояния 2, деформированных на 10%, рекристаллизация развивалась преимущественно вблизи исходных границ зерен. При этом в рекристаллизованных зернах размером до 20 мкм присутствовали частицы γ′-фазы глобулярной формы. Важно отметить, что границы рекристаллизованных зерен, мигрирующие в деформированную матрицу имеют извилистый вид, выгибающийся между скоагулированными частицами γ′ -фазы, контактирующими с границей (рис. 7, б).

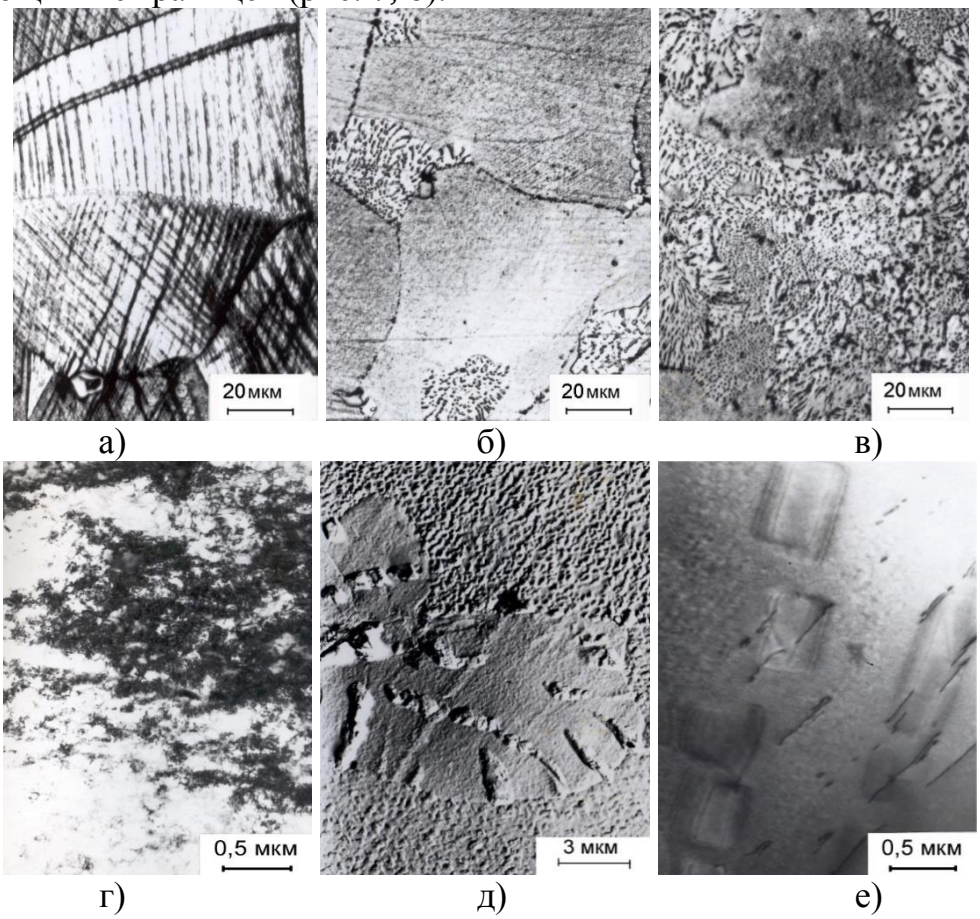
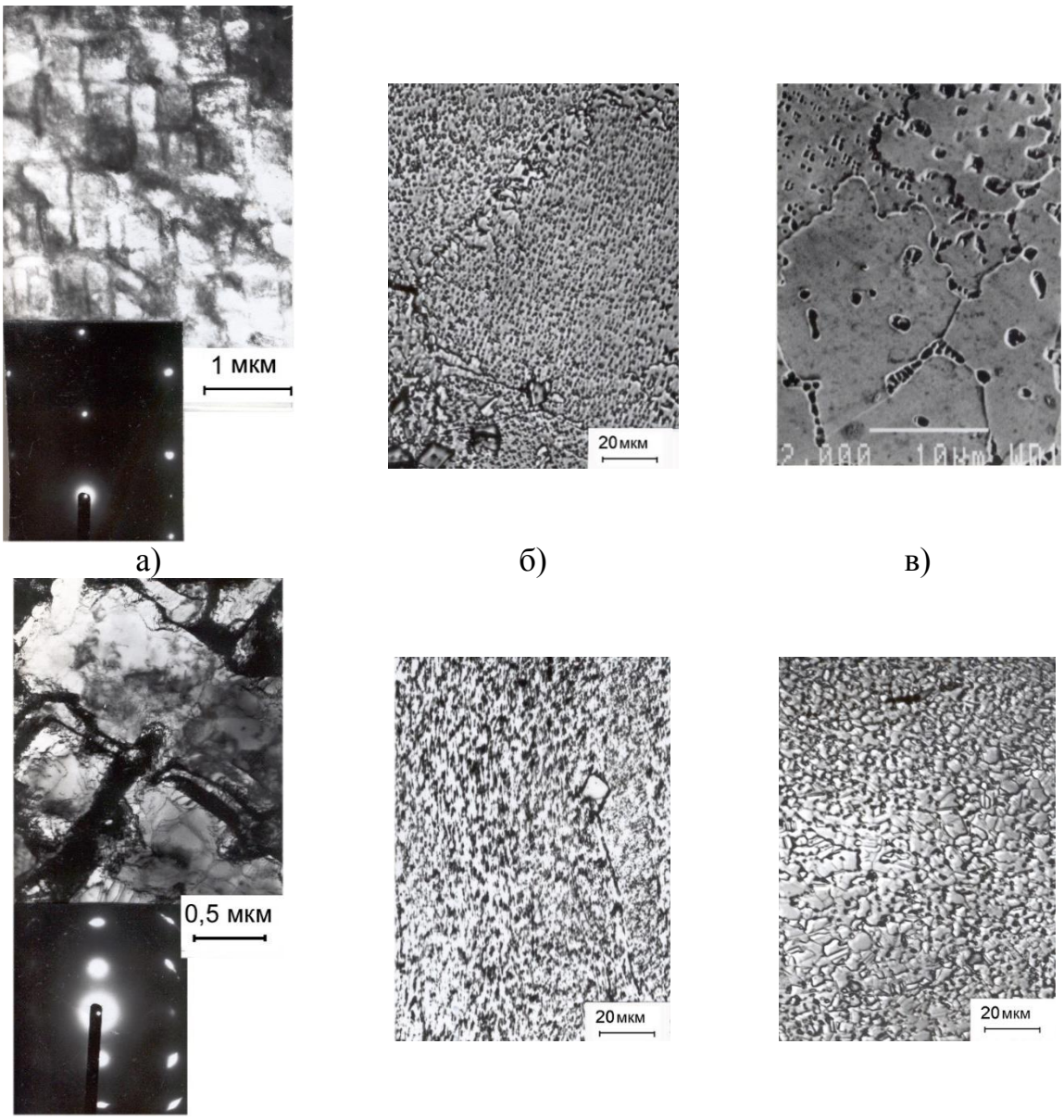



Рис. 6. Микроструктура сплава ЭП962 в состоянии 1 после холодной деформации и отжига: а), г) - ε = 50 %; б), д) - ε = 10 % + 1100 °С, 1 час. в), е) - ε = 50 % + 1100 °С , 1 час.




а) б) в)

г) д) е)

Рис. 7. Микроструктура сплава ЭП962 в состоянии 2 после холодной деформации и отжига: а) - ε = 10 %; г), д) - ε = 50 %; б), в) - ε = 10 %; + 1100 °С, 1 час; е) - ε = 50 %; + 1100 °С, 1 час.

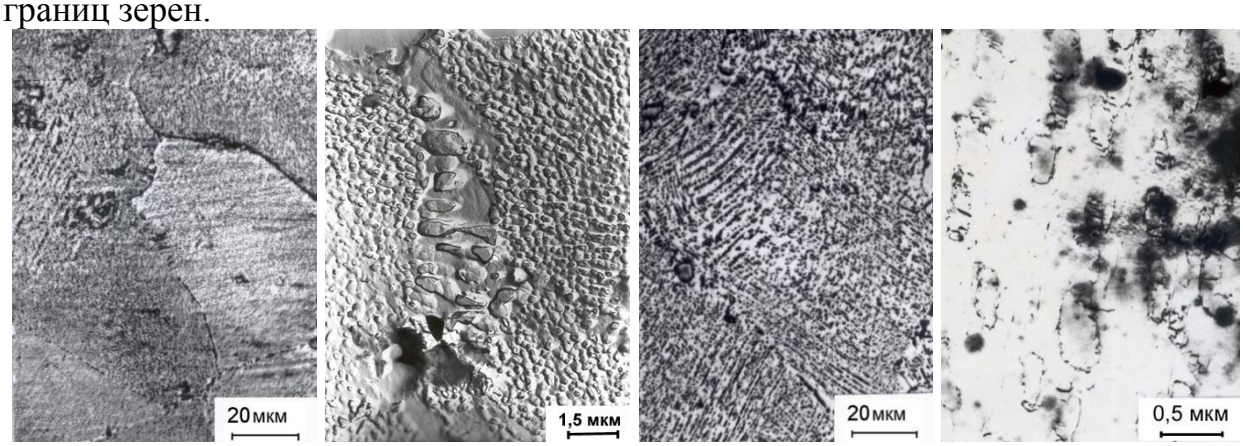
Полностью рекристаллизованная микроструктура типа микродуплекс с размером зерен γ′ и γ′-фаз соответственно 4,2 и 1,3 мкм была сформирована в образцах, деформированных на 50%. В полученной микроструктуре практически вся γ′-фаза выделена по границам рекристаллизованных зерен γ -фазы и имеет некогерентные межфазные границы общего типа.

Горячая деформация. Гетерогенизация микроструктуры существенно влияет также на процессы структурообразования при горячей деформации. В состоянии 1 после горячей деформации на 5 % при 1100 °С со скоростью $10^{-5}$ $с^{-1}$ в приграничных областях исходных зерен выявляются отдельные ячейки-зерна с частицами γ′-фазы ламельной формы. При этом внутри зерен наблюдается тенденция к выстраиванию частиц γ′-фазы в цепочки, более длинные чем при отжиге, и их ориентированный рост преимущественно в одном и том же кристаллографическом направлении в пределах отдельных зерен γ′-фазы (рис. 8). С уве-

личением степени деформации до 50% ориентированность частиц γ′-фазы и изменение их формы проявляются более четко. Так средний размер внутризеренных частиц γ′-фазы в продольном направлении составил 1,5 , а в поперечном направлении 0,4 мкм.

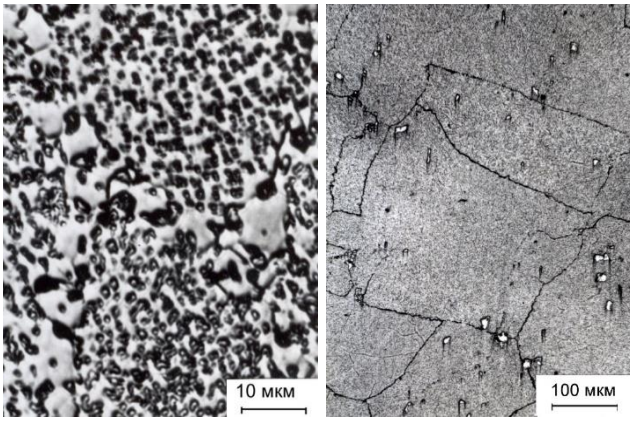
Одновременно с этим в зонах свободных от выделений происходит образование новых рекристаллизованных зерен γ′-фазы размером 3,7 мкм, содержащих выделения γ′-фазы как ламельной, так и глобулярной формы. При скоростях деформации $10^{-3}$ $с^{-1}$ и выше частицы ламельной формы, когерентно связанные с матрицей, не образуются. После интенсивной деформации на 55...75 % при 1100 °С со скоростью $10^{-3}$ $с^{-1}$ новые рекристаллизованные зерна размером 3...4 мкм формируются преимущественно по границам исходных зерен (рис. 9, а). По морфологическим признакам такая структура может быть отнесена к структуре типа "ожерелье" [19].

Деформация с меньшими степенями (20... 30%) и скоростью $10^{-3}$ $с^{-1}$ не приводит к рекристаллизации (рис. 9, б). Вместе с тем, кратковременный последеформационный отжиг ( 1100°С, 1 час. ) приводит к извилистости исходных границ зерен.




а) б) в) г)

Рис. 8. Микроструктура сплава ЭП962 в состоянии 1 после горячей деформации при 1100 °С со скоростью $10^{-5}$ $с^{-1}$: а), б) - ε = 5 % , в), г) - ε = 50 %.




а) б)

Рис. 9. Микроструктура сплава ЭП962 в состоянии 1 после горячей деформации при 1100 °С со скоростью $10^{-4}$ $с^{-1}$: а) - ε = 75 %; б) - ε = 25 % + 1100 °С, 1 час.

Развитие динамической рекристаллизации с образованием МК структуры типа микродуплекс наблюдается при горячей деформации сплава в состоянии 2. При этом средний размер зерен γ и γ′-фаз в микродуплексе, а также доля рекристаллизованного объема уменьшаются со снижением температуры и соответствующим ростом отношения объемной доли γ′-фазы к ее размеру после гетерогенизирующего отжига f / dγ′ ( табл. 1. и 2 ). При изучении эволюции микроструктуры было установлено следующее. После деформации при 1100°С на 5% со скоростью $10^{-5}$ $с^{-1}$ происходит образование в исходных крупных зернах матрицы слаборазориентированных (менее 1°) фрагментов-субзерен, размер которых определяется расстоянием между частицами γ′-фазы. Важно отметить, что приграничные субзерна крупнее внутризеренных и имеют разориентировку, близкую к высокоугловой. Как видно на рис. 10, б, в дислокации несоответствия на межфазной поверхности γ/ γ′ переплетены с дислокациями, составляющими субграницы в матрице. Увеличение степени деформации до 10...20 % приводит к образованию вдоль исходных границ цепочки мелких рекристаллизованных зерен, а внутри деформированных зерен к формированию более тонких стенок субграниц. При этом заметно возросла разориентировка между субзернами, средний размер которых составил 2,2 мкм.

На межфазной поверхности частиц γ′-фазы, укрупнившихся до величины 1±0,2 мкм, уже не выявляются отдельные дислокации, что очевидно свидетельствует о практически полной потере когерентности и образовании межфазной границы общего типа. Деформация со степенью 50 % способствовала увеличению рекристаллизованного объема до 43 %. Наряду с этим в нерекристаллизованных областях наблюдается дальнейшее увеличение угла разориентировки между субзернами вплоть до высокоугловой в отдельных участках, где присутствуют наиболее крупные субзерна размером 3±0,3 мкм. Средний размер зерен γ и γ′ -фаз в рекристаллизованных областях составил соответственно 6,8 и 1,6 мкм.

Таблица 1.

Размеры рекристаллизованных зерен (dγ) и их удельный объем (V) после горячей деформации при 1100 °С на 50% со скоростью $10^{-3}с^{-1}$.

| Температура деформации, °С | 1000 | 1050 | 1100 | 1125 |
|---|---|---|---|---|
| dγ | 2,4 | 3,5 | 4,6 | 6,7 |
| V | 7 | 16 | 33 | 69 |
| f/ drγ' | 0,73 | 0,57 | 0,36 | 0,2 |

f – объемная доля γ'-фазы; drγ'-размер частиц γ'-фазы после гетерогенизирующего отжига.

Таблица 2.

Изменение объемной доли (V) рекристаллизованных зерен от степени и скорости деформации при 1100 °С.

| Скорость деформации, $с^{-1}$ | Степень деформации, % | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 10 | 20 | 40 | 50 | 75 | 75* |
| $10^{-3}$ | 0 | 4 | 11 | 26 | 33 | 53 | 95 |
| $10^{-5}$ | 4 | 9 | 18 | 39 | 43 | 76 | - |

*Дробная деформация за 2 перехода с последеформационными отжигами при 1100 °С в течение 2 и 8 час.

EBSD анализ изменения разориентировок границ в сплаве ЭП962. Были проведены исследования изменения углов разориентировок границ в сплаве после деформации при 1100 °С со скоростью $7*10^{-4}c^{-1}$ с различными степенями деформации (30, 55, 75 %).

С увеличением степени деформации наблюдается незначительное изменение среднего размера рекристаллизованных зерен в процессе деформации при указанных режимах деформации (таблица 3). В то же время доля рекристаллизованного объема возрастает до 77 %. При анализе изменения удельных разориентировок микрообластей в пределах вытянутых исходных зерен (разориентировка point to origin) было обнаружено следующее. Исходные зерна в процессе деформации претерпевают меньший изгиб, чем в нихроме (значение удельной разориентировки в зернах даже после деформации на ε = 75 % удельная разориентировка составляет 0,12 °/мкм. По сравнению с нихромом это низкие значения. Возможно, в сплаве ЭП962 наличие скоагулированных частиц γ′-фазы препятствует сильному изгибу матричных зерен и способствует более однородному распределению деформации.

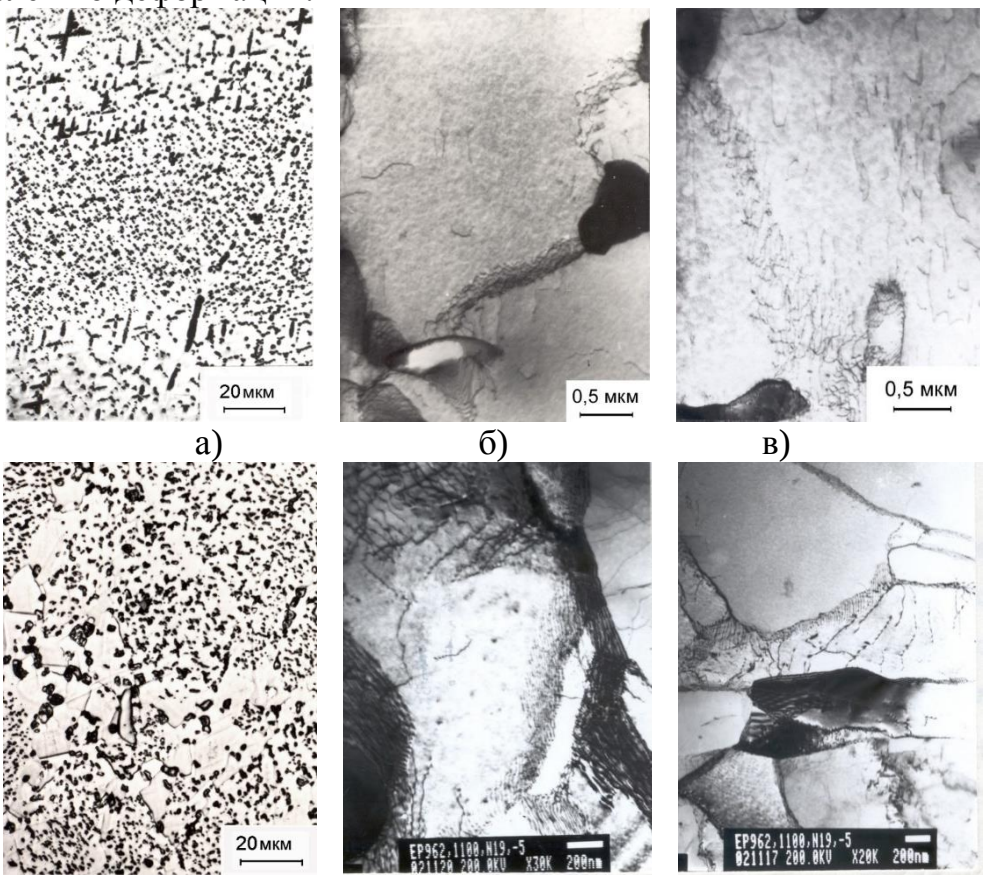



Рис. 10. Микроструктура сплава ЭП962 в состоянии 2 после горячей деформации при 1100 °С со скоростью $10^{-5}$ $c^{-1}$:
а), б), в) - ε = 5 % ; г), д), е) - ε = 50 %.

Таблица 3.

Объемная доля (Vрек) рекристаллизованных зерен и их средний размер после деформации при 1100 °С со скоростью $7*10^{-4}c^{-1}$ деформации.

| ε, % | 30 | 55 | 75 |
|---|---|---|---|
| Vрек, % | 28 | 52 | 77 |
| d рек, мкм | 4 | 3,76 | 3 |

Таблица 4.

Изменение удельных разориентировок в пределах вытянутых исходных зерен (разориентировка point to origin)

| ε, % | 30 | 55 | 75 |
|---|---|---|---|
| Θ/D, о/мкм | 0,26 | 0,1 | 0,12 |

Θ/D, (о/мкм), где Θ - общая разориентировка в конце исходного зерна по отношению к началу зерна, о, D – длина вытянутого зерна, мкм.

В процессе пластической деформации исходные зерна разбиваются на области, разориентированные друг относительно друга. С увеличением степени деформации от 30 до 75 % размер этих областей уменьшается с 4,6 мкм до 3,1мкм (таблица 5). С увеличением степени деформации разориентировка между областями немного увеличивается с 2,4 до 3 град. Интересно отметить, что размер микрообластей примерно соответствует размеру субзерен при соответствующих степенях деформации, значения которых были получены по результатам электронно-микроскопических исследований.

Таблица 5.

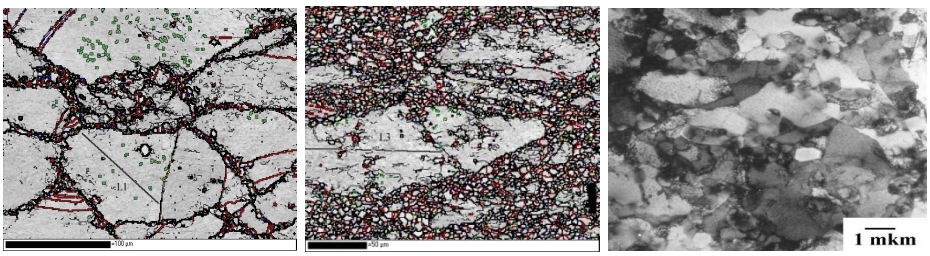
Влияние степени деформации на размер микрообластей и среднюю разориентировку между микрообластями.

| Степень деформации ε, % | 30% | 55% | 75% |
|---|---|---|---|
| Средняя разориентировка между микро областями внутри деформированных зерен, град. | 2,4 | 2,5 | 3,0 |
| Средний размер микрообластей, мкм | 4,6 | 4,4 | 3,1 |

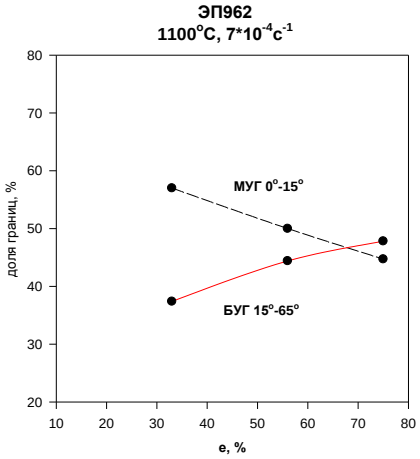
По изменению доли малоугловых границ (МУГ) и большеугловых границ (БУГ) на начальном этапе деформации (10-30 %) данных нет. Предполагается, что на этом этапе происходит образование субзеренной структуры, что приводит к увеличению доли МУГ и соответственно уменьшению доли БУГ исходных зерен, о чем свидетельствуют ранее приведенные данные электронно-микроскопических исследований. При увеличении степени деформации до 30 и далее до 50 и затем до 75 % происходит постепенное увеличение доли большеугловых разориентировок (рис. 11).

В то же время количество малоугловых разориентировок уменьшается. Анализ распределений углов разориентировок показал (рис. 11), что при увеличении степени деформации с 30% до 75% наблюдается преобразование МУГ в БУГ. Об этом свидетельствуют уменьшение доли МУГ (до 45 %) и увеличение доли БУГ (до 48%). Это свидетельствует о формировании в процессе горячей деформации малоугловых границ (субграниц) и их последующей трансформации в большеугловые границы новых рекристаллизованных зерен. В данном сплаве наблюдается гораздо меньшая доля специальных границ (4 %), чем в нихроме. Но количество специальных границ с увеличением степени деформации с 30 до 75 % немного увеличивается до 7,8 %.

Влияние температуры и скорости деформации. Аналогичные микроструктурные изменения происходили при более высоких скоростях деформации. Так при скоростях деформации $10^{-3}$ $с^{-1}$ и выше образовывалась субзеренная структура с повышенной плотностью дислокации, в которой наряду с равноосными субзернами выявлялись субзерна игольчатой формы (рис.12, б).




а) б) в)




г)

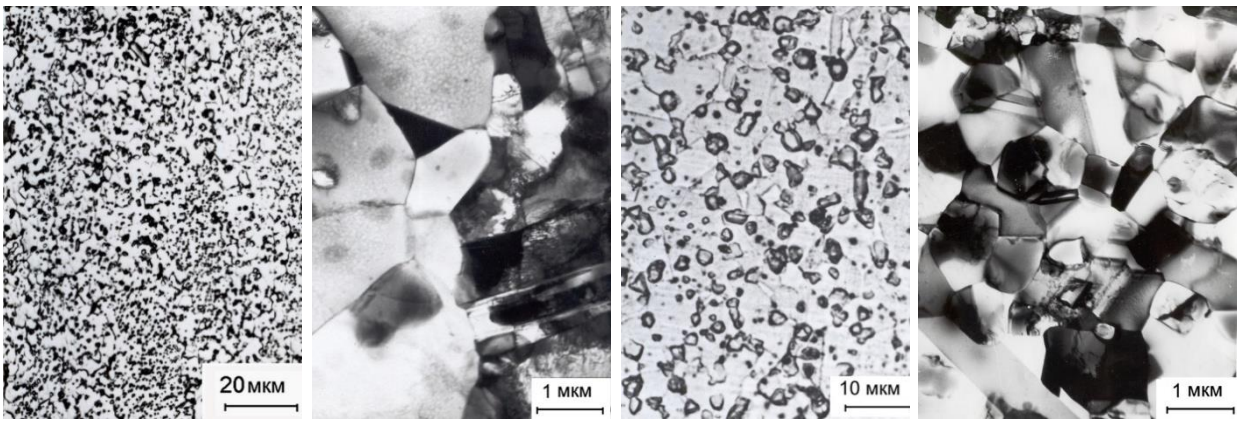
Рис. 11. Изменение микроструктуры (а, б, в) и доли МУГ и БУГ (г) в зависимости от степени деформации (1100 °С, $\acute{\varepsilon} = 7 \cdot 10^{-4}$ $с^{-1}$); а) – 30 %; б), в) – 75 %.

Следует отметить, что появление субзерен игольчатой формы в исследованном температурно-скоростном интервале соответствовало состоянию материала, деформированного со скоростями $10^{-3}$ $с^{-1}$ и выше и со степенями, превышающими максимально допустимую до образования на поверхности образцов первых трещин.

С увеличением степени деформации разориентировка между субзернами возрастает, хотя и менее интенсивно, чем при 1100 °С. Вероятно поэтому даже после интенсивной деформации при 1000 °С на 72 % со скоростью $10^{-3}$ $с^{-1}$ между субзернами сохраняется малоугловая разориентировка. Лишь при более низкой скорости деформации $10^{-5}$ $с^{-1}$ субзеренная структура трансформируется в зеренную с высокоугловыми межфазными и межзеренными границами, однако доля рекристаллизованного объема при этом незначительна (рис. 13).

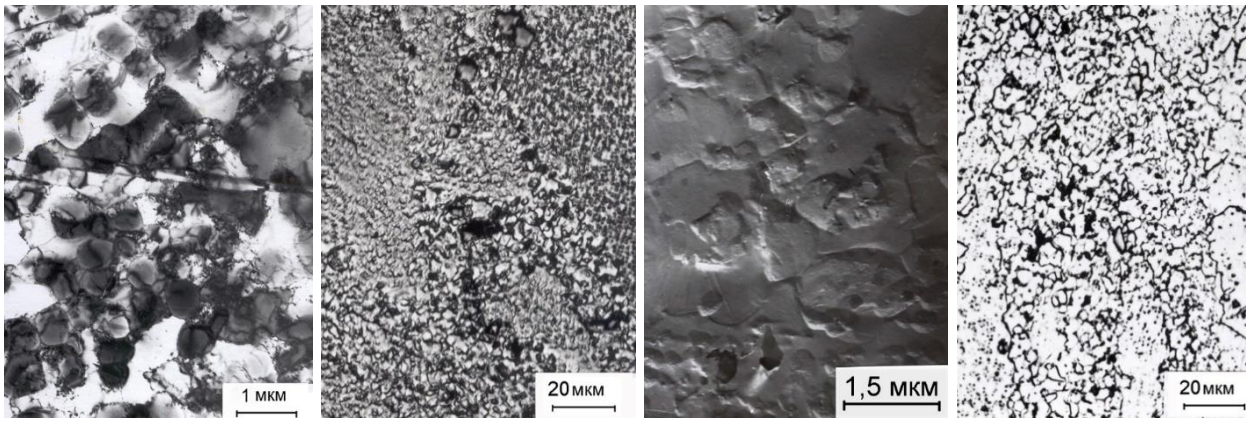
Снижение температуры деформации с 1100 до 1000 °С способствует формированию менее совершенной субзеренной структуры. Повышение температуры деформации до 1125 °С привело к значительному уменьшению объемной доли γ′-фазы и интенсивному развитию рекристаллизации. В то же время полученная микроструктура неоднородная. Помимо зерен γ′-фазы размером 5 мкм в микроструктуре встречаются зерна размером до 40 мкм.

Поскольку в результате горячей деформации на 75 % образцов в состоянии 2 рекристаллизация не охватила всего объема материала, важно было оценить влияние последеформационного отжига, а также дробности деформации и изменения скорости деформации. Оказалось, что даже проведение кратковременного отжига в течение 30 мин. способствовало протеканию процессов коалесценции субзерен, уменьшению плотности дислокации и увеличению рекристаллизованного объема.




а) б) в) г)

Рис. 12. Микроструктура сплава ЭП962 после деформации при 1100 °С со скоростью $10^{-3}$ $с^{-1}$ на ε = 75 %: а), б) - осадка за 1 переход; в), г) - осадка за 2 перехода с последеформационными отжигами при 1100 °С в течение 2 и 6 час.




а) б) в) г)

Рис. 13. Микроструктура сплава ЭП962 после горячей деформации: а), б), в) – 1000 °С ; г) – 1125 °С; а), г) - 10-3с-1; б), в) - 10-5с-1.

Проведение же деформации за 2 перехода, например, со скоростью $10^{-3}$ $с^{-1}$ и суммарной степенью 75% при 1100°С и последующим отжигом в течение 2 и 8 час. позволило практически во всем объеме материала сформировать микродуплексную микроструктуру ( табл. 3, рис. 12 ). Кроме того в случае повышения на 2 порядка начальной скорости деформации при 1100 °С после степени ε = 50 % (Vрек = 39 %) до 10-2 с-1 позволило увеличить рекристаллизованный объем до 80 %, тем самым на 20 % превысить его по сравнению с материалом, деформированным на ту же степень деформации со скоростью $10^{-4}$ $с^{-1}$.

Приведенные выше результаты исследования процесса трансформации крупнозернистой матричной микроструктуры в МК типа микродуплекс позволяют выявить его закономерности и особенности, обусловленные состоянием γ′-фазы и условиями обработки.

Сравнительный анализ механических свойств и микроструктурных изменений сплава ЭП962 в двух состояниях свидетельствует, что гетерогенизация микроструктуры, приводящая к укрупнению частиц γ′-фазы, увеличению расстояния между ними и трансформации когерентных границ γ/γ′ в частично когерентные, способствует существенному повышению пластичности и снижению напряжения течения и создает наиболее благоприятные условия для формирования микродуплексной микроструктуры.

Положительное влияние гетерогенизации микроструктуры проявляется прежде всего в изменении характера дислокационного скольжения как в условиях холодной так и горячей деформации. Для материала с дисперсными полностью когерентными с матрицей частицами γ′-фазы (состояние 1 ) характерно грубое скольжение, которое согласно [3] обусловлено перерезанием частиц дислокациями и малым числом задействованных систем скольжения [12]. Об этом свидетельствуют прежде всего грубые следы скольжения в холоднодеформированном материале, а в горячедеформированном - ориентированный рост частиц γ′-фазы, наблюдаемый согласно [13] в случае развития скольжения преимущественно в одной кристаллографической плоскости. Между тем в сплаве в состоянии 2 со скоагулированными частицами γ′-фазы, когда заметно увеличивается расстояние между частицами и межфазные границы становятся частично когерентными, развивается множественное скольжение, что способствует формированию разориентированной ячеистой (после холодной деформации) или динамически полигонизованной (после горячей деформации) структуры.

Столь значительные различия в характере дислокационного скольжения в сплаве в состояниях 1 и 2 приводят к существенным отличиям в кинетике рекристаллиэационных процессов и соответственно получению различных микроструктур. При этом необходимо отметить, что формирование микроструктуры происходит в условиях взаимодействия процессов рекристаллизации и выделения γ′-фазы, на соотношение которых значительное влияние оказывает состояние γ′-фазы. В сплаве в состоянии 1, когда образование зародышей рекристаллизации затруднено, ведущая роль принадлежит процессам выделения, которые при низких скоростях деформации ($10^{-5}$ $c^{-1}$) приводят к образованию в приграничных областях ячеек-зерен с когерентными частицами γ′-фазы ламельной формы, а при более высоких скоростях обусловливают развитие рекристаллизации только в зонах, свободных от выделений. В то же время в состоянии 2 развитие множественного скольжения способствует образованию многочисленных зародышей рекристаллизации, в результате чего в материале формируется микродуплексная микроструктура.

Наблюдаемое в материале со скоагулированными выделениями γ′ -фазы преобразование крупнозернистой микроструктуры в микродуплексную при горячей деформации происходит по механизму, существенно отличающемуся от описанных в работах [1, 3 - 4, 14]. Как следует из результатов эксперимента, в отличие от статической при динамической рекристаллизации формирование высокоугловых межфазных и межзеренных границ протекает путем взаимодействия решеточных дислокации с границами зерен и фаз и обусловлено действием специфических механизмов, в том числе, сверхпластической деформации.

В процессе горячей деформации в температурно-скоростном режиме СП исследуемого сплава [15] происходит непрерывный процесс внесения и накопления дислокации на частично когерентной межфазной поверхности раздела γ / γ′ (рис. 10), являющейся эффективным барьером для термически активируемого движения дислокации [16]. Это ведет к дальнейшему нарушению когерентности вплоть до полной ее потери и увеличению искажения матрицы около частиц γ′-фазы. Торможение решеточных дислокации частично когерентными выделениями γ′-фазы, значительные локальные напряжения кристаллической решетки вблизи частиц γ′-фазы активизируют множественное внктризеренное дислокационное скольжение, обусловливающее формирование в матрице субзеренной

структуры. Одновременно с преобразованием исходных низкоэнергетических частично когерентных межфазных границ $\gamma$ / $\gamma'$ в некогерентные с ростом степени деформации происходит также увеличение угла разориентировки между субзернами и постепенное их преобразование в зерна с высокоугловыми границами. Важно подчеркнуть, что внесение решеточных дислокации в межфазную границу, а также большая протяженность малоугловых границ по-видимому способствуют активизации диффузионных процессов [1, 17] в результате чего более быстро происходит перестройка частично когерентных межфазных границ в некогерентные и укрупнение частиц $\gamma'$-фазы. Это предположение подтверждают данные количественного анализа ,согласно которым скорость роста частиц $\gamma'$-фазы в горячедеформированном ( или при отжиге холоднодеформированного)материале более чем на 2 порядка выше по сравнению с ростом частиц в недеформированной матрице.

Образование вдоль исходных границ зерен матрицы цепочки мелких рекристаллизованных зерен и условия деформации, соответствующие температурно-скоростному режиму СП материала стимулируют действие специфического механизма деформации - ЗГП [1, 18]. Действительно, при малых степенях деформации (10-20 %), когда рекристаллизованный объем невелик ($\leq$ 18%), ЗГП затруднено. С увеличением степени деформации ЗГП развивается интенсивнее, о чем свидетельствует рост коэффициента m до 0,31 . Это обусловливает возникновение локальных напряжений на высокоугловых границах, являющихся эффективными источниками и стоками решеточных дислокации [1, 18], и по-видимому может способствовать генерированию решеточных дислокации в субзерна. Повышение напряжения течения на кривых $\sigma-\varepsilon$ связано вероятно с ростом плотности дислокации в субзернах, а снижение напряжения с преобразованием малоугловых границ субзерен в высокоугловые, вследствие чего резко ускоряются процессы диссоциации решеточных дислокации, которые в свою очередь приводят к развитию стимулированного ЗГП [1, 18].

Необходимо отметить, что рассмотренные выше особенности формирования микродуплексной структуры наблюдаются в определенных условиях обработки - в температурном интервале 1000 – 1125 °С при соотношении объемной доли $\gamma'$-фазы к ее размеру после гетерогенизирующего отжига от 0,2 до 0,73.

Между тем рассмотренный выше механизм структурообразования при деформации в той же температурной области практически полностью подавляется, когда в материале присутствует дисперсная когерентная $\gamma'$ -фаза (состояние 1) с соотношением $f / d\gamma' \geq 0{,}73$ . В этом случае образование микродуплекса происходит только после интенсивной деформации (80...99 %) по иному механизму, заключающемуся в растворении мелких частиц $\gamma'$-фазы в мигрирующих границах с последующим выделением ($\gamma'$ -образующих элементов на ее растущих зернах [1, 3, 4, 19]. При температурах, близких к Тп.р.$\gamma'$ , когда $f /d\gamma' < 0{,}2$ динамическая рекристаллизация развивается чрезвычайно интенсивно, что согласуется с данными работы [4], в которой отмечается переход от замедленной к ускоренной рекристаллизации, в двухфазных сплавах при меньшем в 2 раза отношении $f /d=0{,}1$ . Очевидно из-за малой объемной доли $\gamma'$-фазы при температуре деформации будет формироваться субзеренная структура с весьма крупными ячейками, которая обусловит преобразование ее в МК структуру матричного типа, в которой большая часть $\gamma'$-фазы выделится внутри рекристаллизованных зерен в процессе охлаждения с температуры деформации.

Наряду с состоянием γ′-фазы на формирование микродуплексной структуры существенное влияние оказывают условия горячей деформации. Интересно отметить, что после интенсивной деформации на 75 % рекристаллизация не охватила всего объема материала (см. табл. 3) очевидно также по причине локализации СП деформации в мелкозернистой зоне.

Как показали эксперименты, для получения в материале полностью рекристаллизованной микроструктуры деформацию в заключительной стадии (≥ 50 %) предпочтительно вести в третьем скоростном интервале СП ($10^{-2}$ - $10^{-1}$ $с^{-1}$). Это объясняется тем, что при переходе к третьему скоростному интервалу СП затрудняется действие основного механизма СП деформации - ЗГП, зато возрастает роль ВДС, обеспечивающего дополнительную накачку дислокации в субграницы и последующую их трансформацию в высокоугловые границы. В то же время при повышенных скоростях деформации $10^{-2}$ - $10^{-1}с^{-1}$ существенно снижается интенсивность развития динамической рекристаллизации, при этом в нерекристаллизованных областях формируется субструктура с повышенной плотностью дислокации и неблагоприятной игольчатой формой субзерен. В этом случае весьма эффективной оказывается дробная деформация с последеформационными отжигами, в результате которой имеет место дальнейшее развитие процессов, начавшихся в ходе динамической рекристаллизации, что согласуется с представлениями изложенными в работах [1, 20]. Поскольку при дробной обработке протекают процессы, характерные как для статической, так и динамической рекристаллизации, одновременно с рассмотренным выше механизмом образования микродуплекса путем трансформации субзеренной структуры в зеренную и частично когерентных частиц γ′-фазы в некогерентные может действовать другой механизм, в котором образование зародышей рекристаллизации обусловлено расщеплением межфазной границы между скоагулированной частицей γ′ -фазы и γ -фазой.

Итак, проведенные исследования показали, что на развитие рекристаллизации в никелевом сплаве существенное влияние оказывают размер γ′-фазы, расстояние между частицами γ′-фазы и состояние межфазных границ γ/γ′. Предварительная гетерогенизация микроструктуры, приводящая к увеличению размера частиц γ′-фазы, межчастичного расстояния и преобразованию когерентных межфазных границ в частично когерентные последующая обработка в температурно-скоростных условиях СП обеспечивают наиболее благоприятные условия для получения микродуплексной структуры в высоколегированном никелевом сплаве. В ходе динамической рекристаллизации происходит формирование субзеренной структуры и ее постепенная трансформация в зерна с высокоугловыми границами, при этом частично когерентные выделения частиц γ′-фазы трансформируются в некогерентные частицы-зерна с произвольной ориентацией относительно зерен матрицы.

**Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 18-19-00685.*

Список используемых источников.

1. Кайбышев, О. А. Утяшев, Ф. З. Сверхпластичность, измельчение микроструктуры и обработка труднодеформируемых сплавов. – М:. Наука, 2002. – 438 с.

2. Porten, A., Palph., B. The recrystallization of nickel-base superalloys // J. Mat. Sci. – 1981. – V. 16. – № 3. – P. 707-713.

3. Суховаров, В. Ф. Прерывистое выделение фаз в сплавах. – Новосибирск: Наука, 1983. – 168с.

4. Рекристаллизация двухфазных сплавов: Рекристаллизация металлических материалов / Е. Хорнбоген, И. Кестер. – М.: Металлургия, 1982. – С. 165 - 202.

5. Рекристаллизация в никелевых суперсплавах. I. Рекристаллизация в поликристаллических материалах / Н. Д. Бахтеева, Н. И. Виноградова, С. Н. Петрова // ФММ. – 2003. – Т. 95. – № 2. – С. 66-71.

6. Бахтеева, Н. Д. Особенности формирования микроструктуры в жаропрочных сплавах на никелевой основе при термическом и механическом воздействиях // Технология металлов. – 2006. – № 7. – С. 15-26.

7. Электролит для приготовления фольг из жаропрочных никелевых сплавов / Г. Н. Алешин, А. Л. Асаев, М. Ф. Имаев // Заводская лаборатория. – 1987. – № 6. – С. 56-57.

8. Исследование тонкой структуры никельхромовых сплавов на просвет / Н. С. Герчикова, С. Т. Кишкин, Э. В. Поляк и др // Электронно-микроскопические исследования структуры жаропрочных сплавов и сталей. – М.: Металлургия, 1969. – С. 20 - 29.

9. О последовательности развития квазипериодической структуры в сплавах Cu-Ni-Al-Mg / Л. С. Апарова, В. И. Езерский, А. Д. Коротаев // ФММ. – 1981. – Т. 52. – № 2. – С. 329-336.

10.. An electron microscope investigation of interfacial structure of semi-coherent precipitates / G. C. Weatherley, R. B. Nickolson // Phil. Mag. – 1968. – V. 17. – P. 801-831.

11. Мартин, Дж. Микромеханизмы дисперсионного твердения сплавов. – Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1983. – 167 с.

12. Мартин, Дж., Доэрти, Р. Стабильность микроструктуры металлических систем. – Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1978. – 280 с.

13. Tien, J. K., Copley, S. M. The Effekt of Orientation and Sense of Applied Uniaxial Stress on the Morphology of Coherent Gamma Prime Precipitates in Stress Annealed Nickel-base Su-peralloy Cristals // Met. Trans. – 1971. – V 2. – P. 543 - 553.

14. Koster, U. Recristallization Involving a Second Phase // Met. Sci. – 1974. – V. 8. – P. 151–162.

15. Влияние содержания γ′-фазы на режимы подготовки структуры и сверхпластичность жаропрочных никелевых сплавов / О. А. Кайбышев, Ф. З. Утяшев, В. А. Валитов // МиТОМ. – 1989. – № 7. – С. 40 - 44.

16. Исследование барьерного эффекта межфазной границы при установившейся высокотемпературной ползучести микрое-лойных материалов Ре /Си / А. Ф. Белявин, Б. А. Мовчан, Л. Н. Нероденко // Металлофизика. – 1988. – Т. 10. – № 2. – С. 59 - 63.

17. Dahlen, M., Winberg, L. The influence of precipitation of the recrystallization of the nickel – based superalloy // Acta Met. – 1981. – V. 28. – P. 41 - 50.

18. Кайбышев, О. А., Валиев, Р. З. Границы зерен и свойства металлов. – М.: Металлургия, 1987. – 214 с.

19. The development of the "necklace" structure in a powder-produced nickel-base Super-alloy / J. W. Bee, A. R. Jones, P. P. Howell // J. Mater. Sci. – 1980. – V. 15. – P. 337 - 344.

20. Бернштейн, М. Л. Структура деформированных металлов. – М.: Металлургия, 1977. – 432 с.

# ИНДУСТРИЯ НАНОСИСТЕМ И ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

**Вигдорович В. И.**[1, 2]
[1]*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов*
[2]*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов*
**vits21@mail.ru**

Первыми работами по наноматериаловедению, по-видимому, принято считать публикации Гляйтера [1] с соавторами [2].

Однако ещё с 1961 по 1966 гг Щербаковым А. М. с сотрудниками была опубликована серия работ [3-5], в которой авторы показали, в частности, наличие связи теплоты испарения со свободной поверхностной энергией [3]:

$$\Delta H_{исп} = a2\,(1-\alpha T)/r \qquad (1)$$

где $a2 = 2\,\sigma/\rho$ – капиллярная постоянная, $\alpha$ – температурный коэффициент, $\sigma$ – поверхностное натяжение, T – абсолютная температура, $\rho$ – плотность вещества и r – эффективный размер частиц и получили зависимость поверхностного натяжения от эффективного размера частиц [4]:

$$\sigma_{(г)} = \sigma_{\infty}\left(1-\frac{a}{r}\right)^{-1} \qquad (2)$$

Ранее зависимость, подобная (2), получена в [6]:

$$\sigma_{(г)} = \sigma_{\infty}\left(1+{}^{2\delta}/_{r}\right)$$

где $\delta$ - расстояние между эквимолярной разделяющей поверхностью и поверхностью натяжения. Индекс «∞» характеризует принадлежность частиц к микро- или макрообъектам (материнская фаза по терминологии академика РАН Русанова А.И.).

Много ранее зависимость, подобная (1), была получена в [7], а Стребейко П.Э. в 1939 г выполнил по этой тематике диссертационную работу [8].

Однако публикации [3 - 8] не вызвали каких-либо резонансных явлений в обществе, хотя, по существу, и явились зародышем теоретического наноматериаловедения.

Напротив, работы [1, 2] и последующие публикации в этом направлении привели к совершенно необоснованным и неоправданным представлениям, чуть ли не связанным с рождением новой эры в промышленной и социально-экономической ситуации вообще. Вездесущие средства массовой информации поставили вопрос о новой эре – эре наноматериалов. Не будем подробно останавливаться на этом, сошлёмся лишь на [9, 10].

На исследования по этой тематике, особенно прикладного характера, обещающие быстрое решение с внедрением выдающихся результатов, направлялись и направляются до сих пор крупные средства. И сегодня разви-

тие индустрии наносистем является одним из приоритетных направлений научных и особенно прикладных исследований. Между тем достаточно быстро стало понятно, что без развития серьезных теоретической базы ближайшие 25-30 лет говорить о нанотехнологиях не приходится, а говорить об экономических и технологических эффектах в 20-30% не имеет смысла. Хорошо известно, что производительность труда в Японии в 5-6 раз выше, чем в РФ и без нанотехнологий.

Первые ощутимые удар по возникшей шумихе о наноматериалах и нанотехнологиях нанес покойный академик ран Ю. Д. Третьяков [11], много внимания уделявший этим вопросом [12-13], и предложивший свой взгляд на этапы развития теоретического материаловедения и, в целом, индустрии наносистем (рис. 1) [11]. На рис. 1 участок 1 - 2 характеризует период гиперболизированных ожиданий, участок 2 - 3 период разочарований, минимум 4 - потенциальная яма разочарований, участок 4 - 5 - период создания систематических представлений о нанообъектах индустрии наносистем.

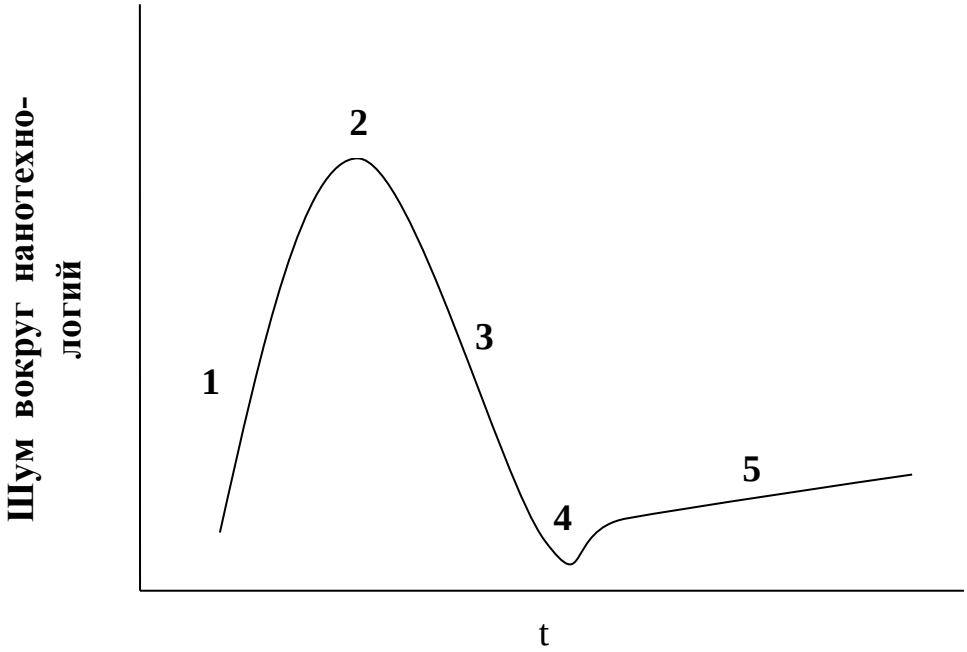



Рис. 1. Этапы развития нанотехнологий по Ю.Д. Третьякову [11].

Ранее чрезвычайные сложности теоретических представлений, связанных с нанообъектами (эффективный размер 1 - 100 нм) и особенностями их возможных взаимодействий показаны в работе [14] в связи с оценкой химической активности подобных объектов. Её авторы получили зависимость:

$$C_r = C_\infty \exp[(2\sigma/r)(\Delta V/K_Б T)] \quad (3)$$

где $C_r$ и $C_\infty$ - соответственно средние концентрации вакансий в веществе с эффективным размером частиц r и макрофазе, $\Delta V$ – изменения в объёме при замене атома вакансией, $k_Б$ - константа Больцмана.

Затем в серии работ [15-19] возникающие сложности в термодинамике наносистем были рассмотрены более подробно и высказаны представления об особом крайне неустойчивом наносостоянии вещества и роли малокомпонентных кластеров в этих процессах [19].

Таким образом, рассматривая возможности индустрии наносистем, необходимо постоянно иметь в виду и особенности в закономерностях поведения наноструктурированных материалов. Следует отдавать себе отчет в том, что подобные термодинамические, кинетические и структурные особенности, как правило, играют решающую роль в процессах, протекающих в наносистемах и с наносистемами, определяя функциональные свойства объектов индустрии наносистем [15 – 21].

Целью настоящего сообщение является получение и обсуждение дополнительных данных, характеризующих особенности поведения наноразмерных частиц в химических процессах, в том числе и в процессах окисления углеводородов (сгорание топлива), поверхностных явлениях, обусловленных наличием нанообъектов в смазочных материалах.

Прежде всего, укажем на наличие некоторого наносостояния вещества [15], характерного для определённых идеализированных условий существование наносистемы, когда поверхность наночастиц не взаимодействует с окружающей средой. В первом приближении, это некоторое промежуточное состояние вещества между существованием его в виде отдельных атомов и молекул с их очень малой энергией кооперативного взаимодействия и, напротив, в виде конденсированной фазы с размером частиц более 100 нм. Это состояние, когда многократно повышена реакционная способность активных центров, но которое крайне неустойчиво. Подобными являются системы типа, например, метастабильной свежеобразованной поверхности металла, ювенильные высокоактивные центры которой быстро блокируются молекулами веществ, адсорбирующимися из окружающий среды [16, 20, 21].

Несомненно, что всякое взаимодействие наноструктурированых веществ (НСВ) независимо от их химической природы имеет общие термодинамические особенности. Дело в том, что применительно к НСВ эффективный размер частиц становиться термодинамическим параметром, от которого зависят свойства вещества также или даже более существенно, чем, например, от температуры. В частности, химический потенциал вещества ($\mu\infty$) при некотором избранном стандартном состоянии, выбираемом достаточно произвольно, является постоянным только для массивных частиц с эффективным параметром $r > 100$ нм. В наноразмерной области дисперсности вещества при прочих неизменных условиях действительна зависимость [17, 20, 21].

$$\mu i = \mu i,\infty + fi\,(r),\ i = \overline{1 \ldots k}\ , \qquad (4)$$

где r - термодинамический параметр.

Принципиальное решение проблемы наноразмерности предложено в [14]. Постулировано, что поверхностная энергия является функцией дисперсности частиц и наличия дефектов. А связь концентрации вакансий с размером частиц передается выражением (3). Величина r играет роль термодинамического параметра [14]. При $r \leq 10$ нм вклад концентрации вакансий становится существенным.

При диспергировании появляется дополнение $\Delta\Delta G$, равное [14]:

$$\delta G = \frac{2M\delta}{\rho} N_A d - k_Б T(Ca - C\infty),$$

т.е. δG = ΔΔG, где M – молярная масса, ρ - плотность, Ci – удельная концентрация вакансии (в расчете на атом), NA – число Авогадро.

Тогда, по [14], величина изменения свободной энергии Гиббса ΔGp для реакции типа νиA → νпB передается зависимостью:

$$\Delta Gi = \Delta Ga + \sum_{i=1}^{n} \nu и,i\ \delta Gи,i - \sum_{i=1}^{n} \nu п,i\ \delta Gu,i$$

и ΔGмассива > ΔGa, следовательно, возможно изменение знака ΔG и направление самопроизвольного течения процесса, νп и νи – стехиометрические коэффициенты соответственно продуктов реакции и исходных веществ [14]. По оценкам [14], и ΔΔG находится в пределах 10…100 кДж/моль.

Согласно [14], в случае эффективных малых размеров частиц функции f(r) можно придать вид:

$$f(r) = \{kk[C\infty \exp(2\sigma/r)(\Delta V/kБT)]\},$$

где kk – коэффициент корреляции, принимающий значения -1 или +1 в зависимости от характера изменения термодинамического характера.

Тогда широко известное уравнение первого начала термодинамики, когда, помимо механической работы имеет место превращения вещества [22]:

$$\partial Q = du + pdv + \sum_{i=1}^{k} \mu_i\, dn_i$$

принимает вид

$$\partial Q = du + pdv + \sum_{i=1}^{k} \left[\mu_{i,\infty} + f_i(r)\right] dn_i$$

Для того же случая вместо уравнения [22]:

$$dU = TdS - pdv + \sum_{i=1}^{k} \mu_i\, dn_i$$

Следует использовать зависимость [17, 20, 21]:

$$dU = TdS - pdv + \sum_{i=1}^{k} \left[\mu_{i,\infty} + f_i(r)\right] dn_i$$

Следовательно, изменение внутренней энергии системы связано с эффективным размером частиц любого из претерпевающих превращение веществ. При этом в качестве химического взаимодействия следует рассматривать не только процессы типа

$$aA + bB \rightarrow cC + dD,$$

но и адсорбционные явления, взаимную растворимость веществ в твёрдом состоянии и многие смежные с ними.

Те же особенности характерны для связи изменения свободной энергии Гельмгольца (F) и Гиббса (G) с термодинамическими параметрами системы

$$dF = -pdv - SdT + \sum_{i=1}^{k} \mu_i \, dn_i$$

$$dG = Vdp - SdT + \sum_{i=1}^{k} \mu_i \, dn_i$$

и др., когда в случае наноструктурированных систем последний член правой части уравнения должен быть учтён в виде:

$$\sum_{i=1}^{k} \left[\mu_{i,\infty} + f_i(r)\right] dn_i$$

Известно, что малоатомные кластеры играют подчас решающую роль в процессах с участием наноразмерных частиц [19]. Согласно [19], уравнение (1) для подобных кластеров Cuρ, Agρ, Auρ принимает вид:

$$\mu i = \mu i,\infty + fi\ (\rho),$$

где ρ – число атомов в малоатомном кластере.

Существенное влияние должно, несомненно, оказывать наносостояние вещества и на кинетику процессов, протекающих с его участием. Можно рассмотреть влияние эффективных размеров наночастиц на кинетические показатели процессов – константы скоростей прямых или обратных реакций, коэффициенты диффузии, состав промежуточных комплексов и т.д. Но целесообразнее оценивать влияние эффективных параметров наноразмерных частиц на интегральный кинетический фактор - энергию активации EA. Известно, что величина EA подчиняется уравнению Аррениуса [24].

$$EA = -\ln(k/B)RT$$

где k- константа скорости, T – абсолютная температура, B – предэкспоненциальный множитель, R – универсальная газовая постоянная. Отметим, что B и EA не зависят или почти не зависят от температуры в определённом её интервале. Однако, подобная картина имеет место лишь для макроразмерных (r > 100 нм) участников химических процессов.

В случае наноструктурированых систем при T = const несомненно наличие зависимости

$$EA = f(r). \qquad (5)$$

Возможные варианты зависимости (3) графически представлены на рис. 2. Их вид вытекает из данных рис. 3 и более широко из результатов, приведенных в [24].

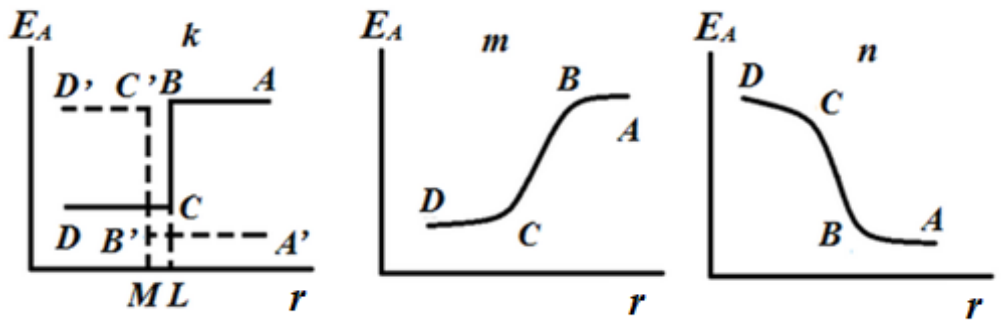



Рис. 2. Некоторые типы зависимости EA = f(r) для наносистем.

Рассмотрим вид зависимости (5) более подробно. На рис. 2k (сплошная линия) и рис. 2m имеет место снижения величины EA с уменьшением эффективного размера частиц. Одновременно на рис. 2k (пунктир) и 2n наблюдается повышение EA с уменьшением эффективного размера r. Рис 2k характеризует скачкообразный, рис. 2m и 2n, протяженный тип зависимости EA от r.

На рис. 2k в области величин r, соответствующих участку AB, взаимодействуют микро - или наноструктуры (r < 100нм), которые не обладают наноэффектом. При этом под наноэффектом понимается влияние эффективного параметра частиц на EA, обусловленную энергетикой процесса, а не абсолютные значения их эффективных размеров или удельной поверхности (Sуд), которые связаны между собой зависимостью [25, 26]:

$$S_{уд} = \gamma / r$$

где Sуд характеризует отношение эффективной поверхности частиц к их объему, γ – безразмерная константа, определяемая формой частиц, r – их эффективный параметр, как определено ранее. В точках, соответствующих r = L или r = M (рис. 2k), происходит резкое изменение рассматриваемого кинетического параметра, в данном случае EA. При этом L и M не являются фундаментальными константами, независимыми от природы систем и условий, при которых протекает взаимодействие.

С последующими изменениями r, т.е. при r < L или r < M (рис. 2k) система наноструктурирована и находиться в наносостоянии, которое нарушается внешним воздействием (в частности, адсорбцией микропримесей воздуха). Завершается это состояние по мере снижения величины r переходом к атомным и молекулярным системам (газы).

Легко видеть, что рассматриваемый характер EA, может, в принципе, привести как к возрастанию, так и к снижению энергии активации процесса. В технологическом плане интересны оба маршрута. Маршрут ABCD (рис 2k) ведёт к повышению скорости реакции и, следовательно, интересен по отношению к процессам, связанным с получением целевого продукта (ЦП). Маршрут A'B'C'D' (рис. 2k) является позитивным по отношению к скорости накопления побочных продуктов (ПП), снижающих выход по ПП и способных к образованию высокотоксичных ПП.

Вместе с тем, вариант, показанного на рис. 2k, является лишь частным случаем. Более вероятны зависимости, приведённые на рис. 2m и 2n. Характерный, экспериментально наблюдаемый пример подобной зависимости приведен на рис. 3 [10].

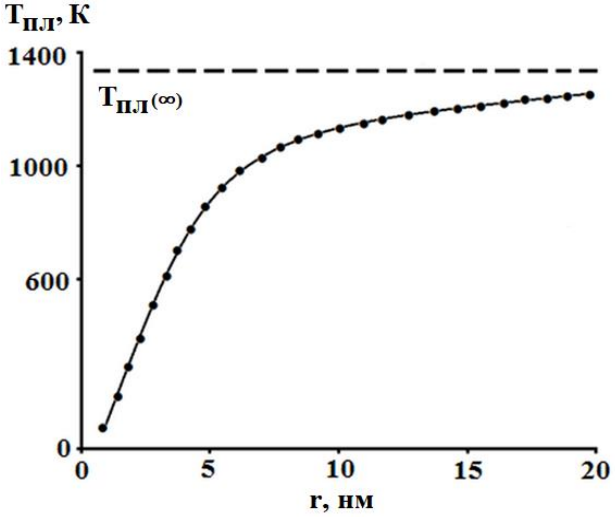



Рис. 3. Зависимость температура плавления золота от размера частиц [26].

Следует отметить, что в силу неустойчивости наносостояния системы процессы с участием наноструктурированых материалов протекают вдали от равновесного (стационарного) состояния. Подобная ситуация приводит к значительному возрастанию роли флуктуаций и случайных процессов, в частности, связанных с адсорбцией продуктов из атмосферного воздуха, носящих стохастический характер. Такая картина достаточно подробно проанализирована в [22] на примере сравнительно простого случая бифуркаций, как общего свойства процессов, описываемых нелинейными дифференциальными уравнениями, имеющими несколько случайных решений.

Согласно [22], при нахождении системы в состоянии, далеком от равновесия, устойчивость направления процесса не обеспечивается. Необходимые условия неустойчивости системы рассмотрены в [22]. Вдали от области, близкой к равновесию, что характерно для наноразмерных частиц, принимающих участие в химических процессах, возможно наличие множества состояний и отсутствие прогнозируемости. Согласно [22], потерю устойчивости неравновесного состояния можно проанализировать исходя из устойчивости нелинейных дифференциальных уравнений. При этом используются бифуркации, как в данном случае ветвление решений дифференциальных уравнений, характеризующих различное направление протекания процесса. Это можно проиллюстрировать на нелинейном дифференциальном уравнении [22]:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = -\alpha^3 + \lambda\alpha, \quad (6)$$

где λ – некий параметр, стационарные решения имеют вид:

$$\alpha = 0$$

$$\alpha = \pm\sqrt{\frac{\lambda}{3}}$$

Причем второе решение не одновариантно, что очень важно для неравновесных систем с участием наноразмерных частиц. Согласно [22], если при λ < 0 имеется одно решение уравнения (6), то при λ > 0 – их уже три (рис. 4)

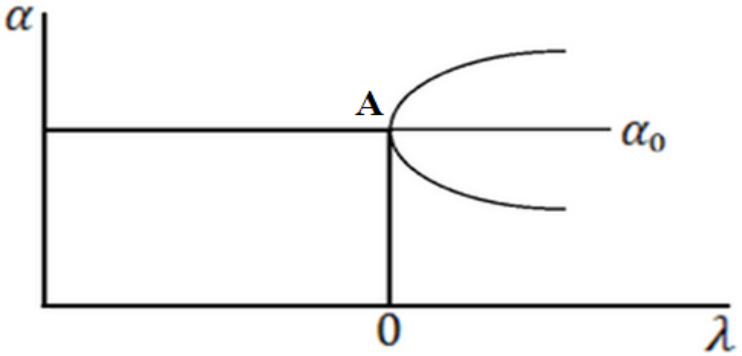



Рис. 4. Ветвление решений уравнений: при $\alpha = 0$ - без ветвления; и $\alpha = \pm\sqrt{\lambda/3}$ – с ветвлением (по Пригожину), А – точка бифуркации [22].

При λ > 0 решение разветвляется, следовательно, точка с λ = 0 является точкой бифуркации. По [22], стационарное решение αS устойчиво, если возмущения $\delta\ (\tau)$ мало (τ - время от начала действия δ) и быстро затухает во времени.

Согласно многим экспериментальным данным, эта картина носит вообще постоянный либо часто наблюдаемый характер для наносистем, в силу чего имеет место достаточно широкий разброс экспериментальных данных. Так, по [27 - 32], емкость углеродных нанотрубок при абсорбции водорода меняется от 0,8 до 12 масс. %. Минимальная емкость многостенных УНТ (МУНТ) наблюдается в [27], максимальная - в [32].

Подобная картина часто приводит исследователей, в целом, к мнению, что в большинстве случаев емкость МУНТ мала и углеродные нанотрубки неперспективны как аккумуляторы водорода. Однако, это, видимо не так, и наблюдаемые закономерности нужно интерпретировать не как разброс экспериментальных данных, а как результат подобных бифуркаций (рис. 3) с последующим учётом и использованием этого явления в технологических целях. Иначе можно излишне негативно отнестись к многим нанопродуктам при планировании создания в будущем индустрии нааносистем.

По существу, имеющая место картина является неким аналогом принципа неопределённостей Гейзенберга, согласно которого реализуется известная зависимость

$$\Delta x \cdot \Delta P_X \geq \hbar, \qquad (7)$$

где $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, а h – постоянная Планка. В уравнении (7) через x и PX обозначены соответственно координата частицы при учёте её одномерного движения вдоль оси x и её импульс. Либо можно уравнение (7) записать в виде:

$$\Delta x \cdot \Delta \vartheta_X \geq \frac{\hbar}{m},$$

при $\vartheta_X$ - скорости частицы водоль соответствующей оси.

Зависимость (5) представляет собой равностороннюю гиперболу (рис. 5), расположенную в квадранте с положительными $\Delta P$ и $\Delta P_x$. Задание отрицательных значений $\Delta x$ и $\Delta P_x$, (вторая ветвь гиперболы, которая не приведена на рис. 5) в принципе, ничего не меняет.

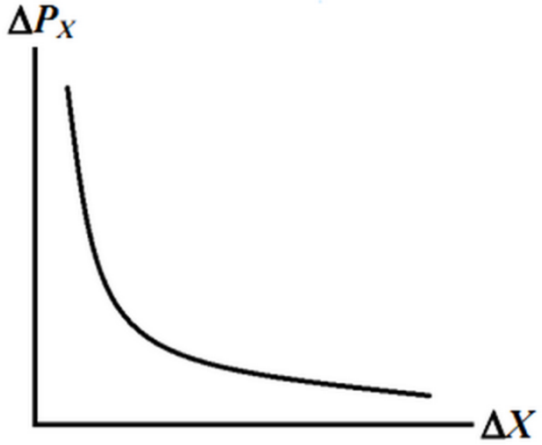



Рис. 5. Схематическое графическое изображение кривой, описываемой уравнением (7).

Возможное наличие бифуркаций не должно явиться причиной отказа от использования наноструктурированых систем в рамках наноиндустрии.

Отметим, что особенностью зависимости (5) является то, что определяемая ею кривая является гладкой без каких либо намёков на возможное квантование (рис. 5). Между тем, бифуркации, видимо, являются элементом квантования (рис. 4) и в этом существенное различие принципа неопределённости Гейзенберга и неопределённости в маршрутах химических взаимодействий вдали от состояния равновесия, характерной для наносистем.

Заключение.

Для проявления наноструктурироваными материалами специфического термодинамического или кинетического эффектов необходимо достижение и поддержание ими наносостояния вещества.

В связи с тем, что процессы с участием наноструктурированых материалов протекают вдали от равновесия, для них характерны стохастически реализуемые различные маршруты наработки конечных целевых продуктов. При изучении и использовании процессов с участием наноструктурированых продуктов необходимо учитывать возможность бифуркационных явлений.

Список использованных источников.

1. Gleiter, H., Marquardt, P. Nanokristalline Strukturen-ein Weg zu neuen Materialich // Z. Metallkunde. – 1984. – B. 75. – № 4. – P. 263-267.

2. Nanocrystalline materials on approach to a novel solid structure with gas-line clisorber? / R. Birringe, H. Gleiter, H.-P. Kleir, P. Marquardt // Physics Letters. – 1984. – V. A 102. – № 8. – P. 365-369.

3. О теплоте испарения малых капель. / Л. Н. Щербаков, В. И. Рыков // Коллоидный журнал. – 1961. – Т. 23. – № 2. – С. 221-227.

4. Щербаков, Л. Н. О статической оценке избыточной свободной энергии малых объектов в термодинамике микрогетерогенных систем. // Докл. А.Н. СССР. – 1966. – Т. 168. – № 2. – С. 388-391.

5. Щербаков, Л. Н. О поверхностном натяжении твердого тела по границе раздела с собственным расплавом. // Коллоидный журнал. – 1961. – Т. 23. – № 2. – С. 215-220.

6. Русланов, А. И. Термодинамика поверхностных явлений. – Л.: Химия. 1960. – 128 с.

7. Средзиевский, Б. // Журн. Русск. Физ-хим. Общества Физика. – 1883. – Т. 15. – № 1. – С. 39.

8. Стребейко, П. Э. О влиянии измельчения на температуру перехода. – М.: ИОНХ А.Н. СССР. – 1939. – 257 с.

9. Вигдорович, В. И., Цыганкова, Л. Е. Физико-химия наноструктурированных материалов. – Тамбов. Изд-во Першина Р.В., 2012. – 234 с.

10. Теоретические и прикладные вопросы нанотехнологий (современное состояние и проблемы) / В. И. Вигдорович, Л. Е. Цыганкова, Н. В. Шель, П. Н. Бернацкий. – Тамбов. Изд-во Першина Р. В., 2016. – 186 с.

11. Ермин, В. В., Плутенко, А. Д. Нанотехнологическое образование: проблемы и перспективы / Под ред. В.В. Лунина // Современные тенденции развития химического образования: фундаментальность и качество. – М.: 2009. С. 141-153.

12. Третьяков, Ю. Д. Процессы самоорганизации в химии материалов // Успехи химии. – 2003. – Т. 72. – № 8. – С. 731-763.

13. Третьяков, Ю. Д., Гудилин, Е. А. Основные направления фундаментальных и ориентированных исследований в области наноматериалов // Успехи химии. – 2009. – Т. 72. – № 9. – С. 867-887.

14. О роли размерного фактора в сдвиге химического равновесия / Н. С. Лидоренко, С. П. Чижик, Н. П. Гладких, Л. К. Григорьева, Р. Н. Куклин // Докл. Ан. СССР. – 1981. – Т. 257. – № 5. – С. 1114 – 1118.

15. Наносостояние вещества как основа реакционной способности наноматериалов. / В. И. Вигдорович, Л. Е. Цыганкова, А. Ю. Осетров // Физикохимия поверхностей и защита материалов. – 2011. – Т. 47. – № 3. – С. 330 – 336.

16. Вигдорович, В. И., Стрельникова, К. О. Подавление наноразмерных эффектов наноматериалов из газовой и жидкой фаз. // Физикохимия поверхностей и защита материалов. – 2012. – Т. 48. – № 3. – С. 316 – 320.

17. Вигдорович, В. И., Цыганкова, Л. Е. К термодинамике наноструктурированных материалов. // Физикохимия поверхностей и защита материалов. – 2012. – Т. 48. – № 5. – С. 415 – 421.

18. Вигдорович, В. И., Цыганкова, Л. Е. Роль предшествующей химической реакции и реакционноспособных кластеров в процессах фазовых превращений интерметаллических соединений // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2012. – Т. 48. – № 6. – С. 512-514.

19. Зависимость энергии связи атомов малоактивных кластеров от числа образующих частиц. Кластеры Cun, Agn, Aun / В. И. Вигдорович, Л. Е. Цыганкова, Н. В. Шель // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2015. – Т. 51. – № 4. – С. 420-427.

20. Вигдорович, В. И., Цыганкова, Л. Е. Физикохимия наноструктурированых наноматериалов. – Тамбов. Изд-во Першина Р. В., 2012. – 234 с.

21. Теоретические и прикладные вопросы нанотехнологий (Современное состояние и проблемы) / В. И. Вигдорович, Л. Е. Цыганкова, Н. В. Шель, П. Н. Бернацкий. – Тамбов. Изд-во Першина Р. В., 2016. – 186 с.

22. Пригожин, И., Кондепуди, Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. – М.: Мир. 2009. – 461 с.

23. Гамбург, Ю. Д. Электрохимическая кристаллизация металлов и сплавов. – М.: Янус-К. 1997. – 384 с.

24. Штиллер, В. Уравнение Аррениуса и неравновесная кинетика. – М.: Мир. 2000. – 175с.

25. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1964. – 575 с.

26. Сергеев, Г. Б. Нанохимия. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 336 с.

27. Electrochemical storage of hydrogen in nanotube materials / C. Nutzenadel, A. Zuttel, D Chartouni, L. Schlapbach // Electrochem. Solid – State Let. – 1999. – V. 2. – № 1. – P 30 – 32.

28. Electrochemical hydrogen storage of multiwalled carbon nanotubes / X. Qin, X. P. Gao, H. Liu, D. Y. Yuan, W. L. Gong // Electrochem. Solid State Let. – 2000. – V. 2. – № 3. – P 532 – 535.

29. Electrochemical investigatione of single walled carbon nanotubes for hydrogen storage / N. Rajalakshmi, K. S. Dhathathreyan, A. Govindaraj, B. C. Satishkumar // Electrochem. Acta. – 2000. – V. 45. – P. 4511 – 4515.

30. Electrochemical hydrogen storage behaviors of CVD, AD and LA grown carbon nanotubes in KOH medium / A. K. M. Fazle Kibria, Y. H. Mo, K. S. Park, K. S. Nahm, M. Y. Yun // Int. J. Hydrogen Energy. – 2001. – V. 26. – P. 823–829.

31. Hydrogen storage in carbon nanotubes and related materials / G. Gundiah, A. Govindaraj, N. Rajalakshmi, K. S. Dhathathreyan, C. N. R. Rao // J. Mater. Chem. – 2003. – V 13. – P. 209–213.

32. Электросорбция водорода в одностенных углеродных нанотрубках, инкапсулированных палладием / Л. Н. Солодкова, Б. Ф. Ляхов, А. Г. Липсон, А. Ю. Цивадзе // Физикохимия поверхностей и защита материалов. – 2010. – Т. 46. – №. 5. – С. 450 – 453.

# ПЕРСПЕКТИВНАЯ ВОДОТОПЛИВНАЯ ЭМУЛЬСИЯ*

**Баронин Г. С.[1], Воробьев Ю. В.[1], Ассовский И. Г.[2], Дунаев А. В.[3], Воробьев Ю. Ю.[4], Воронин Н. В.[1]**

***[1]Тамбовский государственный технический университет, НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», Тамбов***

**baronin-gs@yandex.ru**

***[2]Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН, Москва***

**assov@chph.ras.ru**

***[3]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва***

**dunaev135@mail.ru**

***[4]Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург***

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Повышение экономичности и экологической чистоты тепловых установок на жидком топливе актуально. Действенным средством достижения этих требований служит водотопливная эмульсия (ВТЭ): вода - мазут, вода – дизельное топливо.

Изучение ВТЭ и, в частности, водомазутных эмульсий (ВМЭ), началось в 60-х годах прошлого века. Однако до настоящего времени водотопливные эмульсии в российской теплоэнергетике и в автомобилестроении не получили достаточно широкого применения.

Ни в одной из десятков профильных публикаций не освещена детально стойкость ВТЭ к расслоению при хранении, применительно к конкретному способу их получения. А ведь стабильность структуры ВТЭ – важнейший эксплуатационный показатель! Не встречались авторам и работы, содержащие подробное технико-экономическое обоснование применения в теплоэнергетике конкретных систем приготовления ВТЭ. хотя число публикаций на тему ВТЭ многократно превышает количество промышленных объектов в России, где ВТЭ применяются.

Тем не менее, коренные показатели эмульсий, характеризующие их стабильность (неизменность структуры при хранении) за прошедшие полвека изменились мало. Очевидно, это обусловлено исчерпанием технических возможностей используемого для приготовления эмульсий оборудования (роторно-пульсационных аппаратов (РПА) и кавитаторов статического типа), а также экономической целесообразностью диспергации эмульсий. Проблемами стабильности и экономической эффективности ВТЭ как моторного топлива в РФ заняты не менее 19 фирм.

Вопросам стабильности, экономичности ВТЭ и экологии посвящена настоящая работа. При создании стабильно ВТЭ для ДВС используется механический смеситель-активатор, в котором реализуются интенсивное перемешивание, кавитационные процессы по патенту РФ [24] и методики, разработанные в НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии» [20-23].

## 2. ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ВТЭ

Пионером внедрения ВТЭ для дизелей с участием Завгороднего Б.В. [5] является морской флот. Для этого ведущими НИИ СССР длительно велись интенсивные исследования, а их результаты начали применять в середине 80-х гг. Так с 1985 г., к 1989 г. были разработаны установки УКДГ-85, УКДГ-89 по приготовлению ВТЭ для главных судовых дизелей мощностью до 10 600 э.л.с. Здесь ВТЭ обеспечивали снижение расхода топлива на 12 %, температуру ОГ на 8-10 ºС, значительно - вредных газов в ОГ и теплонапряженность ЦПГ. В установках УКДГ комплект устройств осуществляет многоступенчатое диспергирование, гомогенизацию смеси интенсивным кавитационным воздействием от высокочастотного ультразвука [5].

Установлена зависимость эффективности ВТЭ для дизелей, котлоагрегатов от дисперсности и содержания воды, степени модификации топлив, от способа приме-нения ВТЭ [5]. Поэтому установками УКДГ Одесского «ЦЭТ Гидротопливо» [5] обеспечена эффективная работа дизелей и котлоагрегатов на ВТЭ с водосодержанием 5-30 %. Дисперсность 98 % капель воды 1-5 мкм, максимум их - 20 мкм, а дисперсность капель топлива 3-5 мкм. При этом топливная аппаратура на всех режимах работает без отказов.

Выявлено [5], что наибольший экологический эффект дает ВТЭ с 15-20 % воды, наибольший по утилизации загрязнений - ВТЭ с 30% воды, наибольшее снижение удельного расхода топлива (г/кВт·ч) достигалось при водосодержании 17-25 %. При обводнении ВТЭ свыше 20 % эффективность горения снижается, но если обеспечить его стабильность, то возможно уничтожение любых стоков [5].

К 1990 г. установки УКДГ были введены на 50 судах морского флота СССР, 9 - на судах Черноморского Морского Пароходства [5].. За рубежом введение ВТЭ велось ведущими дизелестроителями к Международному соглашению «IMO» об ограничениях вредных веществ в ОГ судовых силовых установок. Так Финская фирма «Вяртсиля» после длительных испытаний отошла от впрыска воды в цилиндры и применяет ВТЭ с 30% воды и 0,5% присадки, интенсифицирующей горение. Корпорация MAN B&W в среднеоборотных дизелях 48/60IS и 58/60IS на круизных судах использует ВТЭ из гидродинамических и ультразвуковых устройств для мазута с 15 % воды. Здесь содержание NOx в ОГ дизелей снижается до 6,7 г/кВтч, в два раза меньше нормативов «IMO». Применении ВТЭ на пассажирских судах свидетельствует о высокой надежности работы ДВС на ВТЭ. К 2015 г. корпорация MAN B&W применяла ВТЭ более чем на 200 дизелях. На ВТЭ работают все дизели RTA84M и другие фирмы «Зульцер». Корпорация Thames Petroleum установила гомогенизаторы для ВТЭ на более чем 100 судах с дедвейтом до 32 тыс. т. Эти и многие другие примеры свидетельствуют о широком применении ВТЭ за рубежом для уменьшения расхода топлива и снижения вредных выбросов [5].

Контроль износа ЦПГ при работе с ВТЭ впервые [5] проведен на судовом дизеле 6ДКРН 74/160-3 мощностью 10 600 э.л.с. Здесь новые цилиндры после 2 500 ч сохранили следы хонингования, зеркала других цилиндров не

имели лаковых отложений, следов прорыва газов, глубоких рисок, имели равномерный матовый блеск. Нагар на головках поршней толщиной 2-3 мм вследствие его газификации разрыхлялся, а через 200 ч практически полностью удалялся. Поршневые кольца всегда оставались подвижными, не имели натиров, уплотняющая поверхность не имела рисок, лакообразования, следов прогара. В канавках поршней нагар отсутствовал, головки практически были без нагара.

В целом, вода в топливе ДВС оказывает следующие действия:

- снижает температуру и предотвращает взрывное сгорание топлив;
- сглаживает динамику давления газов в цилиндре;
- повышает среднее давление в цилиндрах;
- увеличивает полноту сгорания топлива;
- повышает КПД;
- не снижает мощность, но несколько снижает приемистость,
- ускоряет превращение окиси углерода в нейтральную двуокись,
- уменьшает в выпускных газах содержание вредных веществ (в 2-3 раза са-жи, NOx, SOx; значительно - канцерогенного бензапирена C20H12, см. рисунок 1) [4].
- очищает камеру сгорания от нагара,
- обеспечивает работу ДВС в щадящем режиме, уменьшает их износ, вибрацию и шум.

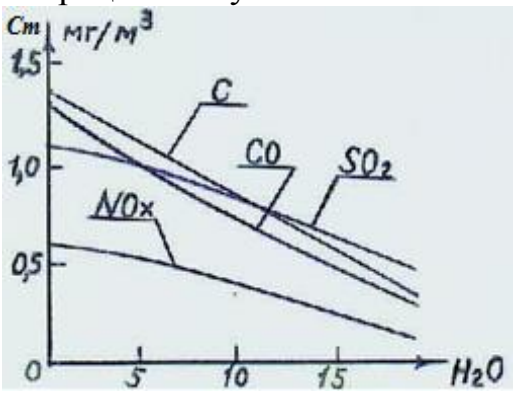


Рис. 1. Зависимость концентрации Cm вредных веществ в ОГ от влагосодержания в ВТЭ [4]

Использование ВТЭ без изменения системы топливоподачи обусловливает следующее [1-5]:

- увеличение объема топлива на 15-50 % и таким образом его экономию;
- уменьшение вязкости ниже вязкости исходного топлива;
- сохранение качества распыливания топлива во всех режимах работы ДВС;
- улучшение работы дизелей и котлов;
- хранение некоторых ВТЭ при 60 - 90 ºС там же, где и исходное топливо;
- обеспечение структурно изменённой воды в топливе на 60...70 %;
- современное приготовление создает топливо высокого качества даже при наличии в ёмкостях хранения водяных линз;
- исключение затрат на обезвоживание топлива.

Завгородним Б.В. описан такой механизм горения ВТЭ [5]: мазут из форсунок имеет размер капель 0,1 - 1 мм. Если в них включены капли воды 1 - 7 мкм, то при нагревании они дают пар. Он разрывает каплю топлива, увеличивая её дисперсность, поверхность контакта с воздухом. В высокотемпературной зоне горения капля ВТЭ взрывается, капля топлива диспергируется вторично, факел горения увеличивается и уменьшает в камере локальные

максимумы температур. Понятно, что в сравнении с диспергированной каплей у крупной частицы площадь излучения и тепловой поток меньше, тем дольше она горит. При ВТЭ же с равномерным распределением дисперсной воды размер частиц топлива снижается в 1,5 - 2,5 раза, настолько же улучшаются условия и эффективность горения, снижается недожог топлива, объем дутья до показателя 1,0 и теплопотери с ним. А малый избыток воздуха понижает температуру точки росы уходящих газов до 100 ºС, что существенно уменьшает сернокислотную коррозию и увеличивает КПД теплоагрегата.

Но ВТЭ после хранения менее эффективно, чем приготовленное перед сжиганием без эмульгаторов, дающих нагар. К тому же обеспечение длительной стабильности ВТЭ возможно только при её тщательном, трудоемком приготовлении.

Поэтому с 80-х гг. успешно работают в РФ и за рубежом установки непосредственной подачи ВТЭ во множество судовых дизелей, котлоагрегатов, парогенераторов. Установки апробированы на Российских и зарубежных тракторах, на автомобилях МАЗ, КамАЗ, подтвердили экономию топлива на 10-15 %, а на стационарных энергетических установках на 40 %. Установки просты, не имеют подвижных частей кроме насосов, энергией потока от которых и обеспечивается циклическое воздействие на ВТЭ.

Неординарность сгорания ВТЭ описано Завгородним Б.В. в «ЦЭТ Гидротопливо» так [5]:

- кроме улучшения распыливания топлива и смешивания его с воздухом из-за испарения и взрыва капель воды идет и термодиссоциация её молекул:

$$2H_2O > H_2 + 2HO \text{ и } 2H_2O > 2H_2 + O_2,$$

- отсюда начало окисления молекул топлива более реально продуктами разложения воды, чем малодоступным кислородом воздуха; топливу нужна мгновенная поставка окислителя, её дает мгновенный термораспад молекул воды при 1500 ºК; 60 % кислорода из ВТЭ идет на поджиг топлива в областях, недоступных для кислорода воздуха;

- скорость сгорания благодаря продуктам диссоциации воды увеличивается,

- водород из диссоциированной воды диффундирует в зоны с избытком кислорода и компенсирует расход тепла горения на диссоциацию воды;

- водяной пар увеличивает продукты сгорания на Н/4 кмоль воды, что усиливает работу газов в цилиндрах.

Ускорение сгорания обеспечивает его полноту и экологичность. Годовой экономический эффект только от снижения расхода топлива на судах составляет 15$ на 1 кВт мощности дизеля [5].

Изложенное позволяет считать ВТЭ особым видом топлива.

## 3. ПРОБЛЕМЫ В СОЗДАНИИ СТАБИЛЬНОЙ ВТЭ

Однако ВТЭ должна быть устойчива к коалесценции и седиментации не менее 72 часа в эксплуатации ДВС, не менее месяца в его стоянке, не ме-

нее 3-х месяцев в хранении, должна обеспечивать и более низкую стоимость топлива. Но вода и углеводороды не растворимы друг в друге. Обычные эмульгаторы делают их лишь ограниченно растворимыми. При этом в длительном хранении идут неясные химические реакции с изменением цвета ВТЭ.

При физическом воздействии на воду измененное её состояние лишь кратковременно из-за высокой подвижности молекул. Водородные связи между ними переменчивы, молекулы с большой частотой меняют своих соседей. Кроме того, переменчивы свойства воды и от наличия солей, газов, органики. Так дегазированная вода вновь долго насыщается ими. А под действием космических и других лучей в ней образуются свободные радикалы и множество других образований [1-7], поэтому ВТЭ может быстро изменить свои свойства.

Отсюда ясно, что приготовление гомогенной, высоко стабильной ВТЭ, как моторного топлива - сложная задача, подтверждаемая множеством попыток её создания. Так только в РФ это апробируют 19 фирм.

Введение воды в ДВС запатентовано различными приемами, в т.ч.:

- непосредственным впрыском в цилиндры, что с довоенного до недавнего времени использовалось в авиамоторах;
- распылом во впускной коллектор или подачей отдельным карбюратором;
- увлажнением топливно-воздушной смеси, образованием водо-воздушной или паро-воздушной смеси;
- созданием ВТЭ в топливный бак машин [8]. Для этого используют, например, кавитационные, роторно-пульсационные установки. Принцип их работы - интенсивное перемешивание вихревым движением и кавитацией. При этом твердые вещества в жидкости могут измельчаться и приобретать иные физико-химические свойства. В смесь вводят до нескольких десятков самых разнообразных, экзотических органических и неорганических веществ [8].

## 4. СОЗДАНИЕ ВТЭ В ТАМБОВСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

В Тамбовском государственном техническом университете (ТГТУ) приготовление высоко устойчивой ВТЭ несложным по технологии и оборудованию методом обеспечивается небольшим числом эмульгирующих, стабилизирующих, вспомогательных и маслянистых веществ, где вещества с гидрофильными свойствами смешивают с компонентами для ВТЭ, имеющими полярные свойства, а вещества с гидрофобными свойствами - с компонентами для ВТЭ с неполярными свойствами [9-13].

Образование ВТЭ облегчается вводом веществ, усиливающих стабилиза-цию ВТЭ [13, 14], и состоящих из масел или эфиров кислот с высоким индексом вязкости, а также вспомогательных веществ из гидроксидов, спиртов, эфиров. Одни вещества вводят в топливо, другие - в дистиллированную воду. Далее сливают композицию из топлива и неполярных эмульгаторов с компо-

зицией, состоящей из воды с полярными веществами, композиции перемешивают и активируют в комбинированном статическом смесителе-активаторе по патенту РФ [24]. А хроматографическим и химмотологическим анализами, выдержкой ВТЭ в течение 3-х месяцев, аналогичным повторным контролем обеспечивают качество ВТЭ и при его соответствии нормативам к моторным топливам выдают ВТЭ товарным продуктом.

В итоге создание ВТЭ по способу ТГТУ обеспечивается небольшим числом распространенных эмульгаторов, стабилизаторов и вспомогательных веществ, имеющих гидрофильные, гидрофобные свойства, одни из которых растворяются в воде, другие - в углеводородном топливе, в соотношении от 1:1 до 1:0,1 мас. ч., а также маслянистых веществ [13, 14]. Дозревают ВТЭ 3 месяца, повторно контролируют и выдают, если она отвечает нормативам.

Использовали 65 % масс. дизельного топлива, 33 % масс. дистиллированн-ой воды, 2 % масс. эмульгаторов по патенту № 2365618, приведенных ниже.

- компонент 1 - анионные ПАВ (алкилсульфаты общей формулы), 0,48 %; неионные ПАВ (сорбитанолеат), 0,15 %;
- компонент 2 - полиолефины (поли-альфа-олефины), 0,64 %;
- компонент 3 – бетаин, 0,22 %;
- компонент 4 - нитрированное масло, 0,44 %;
- моторные масла или их промоторы, 0,072 %;

Компонент 1 вводили и перемешивали в 3,3 л воды, а остальные вводили и перемешивали в 7,5 л дизельного топлива. Полученные композиции воды, топлива сливали в общую емкость, из которой смесь в течение 3 мин прокачивали через активатор по патенту № 2550203. Химмотологический и хроматографический анализы полученной ВТЭ показали такие её параметры:

- состав: воды 33 %, дизельного топлив Л-0,2 по ГОСТ 305 65 %, эмульгаторов, стабилизаторов 2 %;
- свойства: плотность 897 кг/м3, температура вспышки не ниже 67 °С, предельная температура фильтруемости в соответствии с ГОСТ 305 не выше - 5 °С, коррозию на медной пластинке по классу I не проявляет, содержание серы, определяемой по методу ГОСТ 32511-2013, соответствует норме.

Сравнение составов ВТЭ и дизельных топлив, выявленных на хроматографе «Кристаллюкс 4000» в сертифицированной Тамбовской лаборатории судебно-медицинской экспертизы, приведено в таблице 1.

Из таблицы следует:

Доля легких углеводородов в ВТЭ (без их учета в комплексе активированного ДТ Евро и ДТ ВНИИТиН) вплоть до С15Н32 больше, чем в активированном ДТ Евро и заметно больше, чем в неактивированном ДТ.

Доля тяжелых углеводородов в ВТЭ начиная с С16Н34 заметно меньше, чем в неактивированном и в активированном топливе Евро.

Превалирование легких и меньшее содержание тяжелых компонентов в ВТЭ, в активированном в ТГТУ дизельном топливе, выдержанном 57 дней, имеет чрезвычайный характер и обусловливает значительное (на 20-27 %) уменьшение расхода топлив, свидетельствует о высоком качестве ВТЭ из

ТГТУ, что подтверждено стендовыми испытаниями двигателей КамАЗ-740, ЯМЗ-236 и ЗМЗ-406 в ВУНЦ ВВА ВВС МО (г. Воронеж).

Полученную 17.12.2017 г. ВТЭ выдержали до апреля 2018 г. и снова подвергли химмотологическому и хроматографическому контролю, который, как и у активированного дизельного топлива (см. последний столбец таблицы 1), показал неизменность свойств ВТЭ.

Таблица 1.

Сравнение содержания компонентов в ВТЭ, полученной в ТГТУ, и в дизельных топливах

| № | Компо-нент | Концентрация компонентов в веществах, % объемн. | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ВТЭ 2018 г. | | Дизтопливо не активированное | | | | ДТ активированное | | |
| | | 1-я | 2-я | ДТ ФГБНУ ВНИИТиН | | ДТ Рос-нефти | ДТ Евро исход-ное | Евро | ВНИИ-ТиН | через 57 дней |
| 1 | Комп-лекс | | | - | - | - | - | 18,73 | - | 31,239 |
| 2 | | 2,062 | 8,9733 | - | - | - | - | - | 12,46 | 0,1744 |
| 3 | Октан | 2,413 | 1,4548 | 0,7914 | 0,6165 | 0,4710 | 0,7914 | 0,762 | 0,572 | 0,4770 |
| 4 | Нонан | 5,381 | 3,969 | 1,0773 | 2,0122 | 1,94 | 1,0773 | 0,863 | 1,917 | 1,4916 |
| 5 | Декан | 10,68 | 8,2844 | 1,6927 | 4,8365 | 4,17 | 1,6927 | 1,287 | 4,332 | 1,6204 |
| 6 | С11 | 14,74 | 11,56 | 3,7948 | 9,5619 | 7,87 | 3,7948 | 2,822 | 7,002 | 7,5722 |
| 7 | С12 | 13,63 | 11,10 | 7,9954 | 8,2222 | 8,859 | 7,9954 | 5,216 | 7,422 | 5,6975 |
| 8 | С13 | 14,82 | 11,725 | 10,191 | 9,8051 | 13,05 | 10,1914 | 8,546 | 8,812 | 6,7065 |
| 9 | С14 | 13,46 | 10,207 | 10,912 | 10,631 | 13,556 | 10,9121 | 9,110 | 9,476 | 7,6143 |
| 1 | С15 | 9,685 | 9,318 | 9,2575 | 8,9045 | 10,981 | 9,2575 | 7,906 | 7,779 | 6,4032 |
| 1 | С16 | 5,961 | 6,696 | 9,8080 | 9,1511 | 10,15 | 9,8080 | 7,352 | 8,272 | 6,3928 |
| 1 | С17 | 2,592 | 3,76 | 7,8725 | 6,6586 | 6,627 | 7,8725 | 6,794 | 5,563 | 3,2984 |
| 1 | Фитан | 0,917 | 1,68 | 7,3010 | 3,5902 | 2,764 | 7,3010 | 6,236 | 3,182 | 1,3887 |
| 1 | С18 | 1,410 | 2,629 | 6,0368 | 5,5628 | 5,1 | 6,0368 | 5,126 | 4,962 | 3,3817 |
| 1 | Пристан | 0,651 | 1,463 | 4,0559 | 3,8064 | 3,0861 | 4,0559 | 3,269 | 3,455 | 2,5273 |
| 1 | С19 | 0,780 | 2,139 | 5,1226 | 4,6599 | 4,169 | 5,1226 | 4,422 | 4,233 | 3,4803 |
| 1 | С20 | 0,411 | 1,659 | 4,3236 | 3,8863 | 2,965 | 4,3236 | 3,637 | 3,258 | 3,0611 |
| 1 | С21 | 0,192 | 1,201 | 3,1886 | 2,9188 | 2,000 | 3,1886 | 2,803 | 2,621 | 2,3501 |
| 1 | С22 | 0,104 | 0,95 | 2,3509 | 2,2426 | 1,248 | 2,2509 | 2,151 | 2,015 | 2,0816 |
| 2 | С23 | 0,045 | 0,617 | 1,6067 | 1,4190 | 0,61 | 1,6067 | 1,407 | 1,315 | 1,4797 |
| 2 | С24 | 0,027 | 0,400 | 1,1408 | 0,9670 | 0,273 | 1,1408 | 0,963 | 0,862 | 0,9402 |
| 2 | С25 | 0,014 | 0,214 | 0,7005 | 0,5470 | 0,11 | 0,7005 | 0,583 | 0,475 | 0,6216 |
| Сумма | | 100,0000 | | 99,220 | 100,0000 | | | | | |

* *Настоящая работа выполнена в рамках базовой части госзадания Минобрнауки РФ №9.7746.2017/БЧ на 2017-2019 гг.*

Список используемых источников.

1. Иванов, В. М. Топливные эмульсии. – М., 1962.

2. Воликов, А. Н. Сжигание жидкого и газообразного топлива в котлах малой мощности. – Л., 1989.

3. Спейшер, В. А., Горбаненко, А. Д. Повышение эффективности использования газа и мазута в энергетических установках. – М., 1991.

4. Корягин, В. А. Сжигание водотопливных эмульсий и снижение вредных выбросов. – С-Пб:, 1995.

5. Завгородний, Б. В. www.energy-saving-technology.com; www.energy-saving-technology.com/page-ru/ship/vmeshing-f2.html

6. Композиционное топливо. / Р. А. Серебряков, А. П. Степанов, А. А. Стехин // Проблемы энергообеспечения и энергосбережения: труды 7-й межд. н.-техн. конференции в ГНУ ВИЭСХ 18-19.05.2010. Ч. 1. – С. 317-323.

7. Патент РФ № 2391384. Способ и устройство получения смесевого топлива (варианты) / Д. С. Стребков, М. В. Ерхов, М. Ю. Росс, Ю. А. Кожевников.

8. http://www.findpatent.ru/patent/248/2483101.html. Патенты СССР и РФ № 699005 (МПК C10L 1/32), № 810760 (МПК C10L 1/32), № 816524 (МПК B01F 3/08), № 1230470 (МПК C10L 1/32), № 1243342 (МПК C10L 1/32), № 1246593 (МПК C10L 1/32), № 2213768 (МПК C10L 1/32), 2294448 (МПК F02M 25/022), № 2365618 (МПК C10L 1/32), 2367683 (МПК C10L 1/32). Патенты US № 3807973, US № 1498340, US № 1533158, US № 1701621, US № 1701691, US № 3876391, US № 4199316, US № 4244702, US № 4696638.

9. Патент РФ № 2294448. Способ для получения и подачи топливно-водной эмульсии в ДВС с впрыском топлива. / Ю. В. Воробьев, В. Б. Тетерюков.

10. Патент РФ № 2300658. Способ и система получения и подачи топливно-водной эмульсии в двигатели внутреннего сгорания и удаления из штатной топливной системы неиспользованной топливно-водной эмульсии. / Ю. В. Воробьев, В. Б. Тетерюков.

11. Патент РФ № 2306447. Способ и устройство для дозирования и приготовления топливно-водной эмульсии, подаваемой в карбюраторные ДВС. / Ю. В. Воробьев, В. Б. Тетерюков.

12. Патент РФ № 352805. Струйно-кавитационный эжектор для приготовления водотопливной эмульсии. / А. Е. Ломовских, Ю. В. Воробьев, В. П. Дупляк

13. Патент РФ № 2365618. Водно-топливная эмульсия. / Ю. В. Воробьев, В. Б. Тетерюков.

14. Патент РФ № 2367683. Топливно-водная эмульсия. / Ю. В. Воробьев, В. Б. Тетерюков.

15. Воздействие на моторные топлива приемами механохимии для улучшения их эксплуатационных показателей / Ю. В. Воробьев, А. В. Дунаев // М.: Труды ГОСНИТИ, 2016. – Т. 123. – С. 45-49.

16. Повышение теплотворной способности моторных топлив / Ю. В. Воробьев, А. В. Дунаев // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 8. – С. 48-50.

17. Воробьев, Ю. В. Основы теории механоактивации жидких сред // Вестник ТГТУ. – 2013. – Том 19. – № 3 – С. 608-613.

18. Химическое действие гидроудара в активаторе моторного топлива / Ю. В. Воробьев, А. П. Кузьмин // Вестник ТГТУ. – 2014. – Том 20. – № 1 – С. 95-98.

19. Устройство для механохимической обработки и снижения расхода углеводородного топлива / Ю. В. Воробьев, А. Е. Ломовских, М. В. Басарев, А. В. Дунаев // Тракторы и сельхозмашины, 2015. - №1- С. 21-23.

20. Изделия из СВМПЭ-нанокомпозитов, полученные объемной штамповкой в твердой фазе / Г. С. Баронин, В. М. Бузник, С. В. Мищенко и др. // Труды XIV Всероссийской с международным участием школы-семинара по структурной макрокинетике для молодых ученых имени академика А.Г. Мержанова. Черноголовка, 2016. – С. 13-20.

21. Полимерные нанокомпозиты и изделия на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), полученные объемной штамповкой в твердой фазе / Г. С. Баронин, В. М. Бузник, С. В. Мищенко и др. // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: труды VIII Международной научно-инновационной молодежной конференции. Тамбов, 2016. – С. 28-34.

22. Твердофазная технология переработки СВМПЭ-нанокомпозитов в изделия и механохимические процессы в углеводородном топливе с использованием гидродинамического механоактиватора. / Г. С. Баронин, В. М. Бузник, А. М. Столин, Ю. В. Воробьев и др. // Труды XV Всероссийской с международным участием школы-семинара по структурной макрокинетике для молодых ученых имени академика А.Г. Мержанова. Черноголовка, 2017. – С.26-31.

23. Формирование структурно-механических свойств материалов и изделий из СВМПЭ-нанокомпозитов функционального и конструкционного назначения в условиях твердофазной технологии / Г. С. Баронин, Ю. В. Воробьев, Н. В. Ушаков, и др. // Космический вызов XXI века. Перспективные материалы, технологии и приборы для космических экспедиций: материалы 8-й Международной конференции SPACE-2017. Адлер, 2017 – С. 49-53.

24. Пат. 2550203 РФ, B01F13/10. Комбинированный универсальный статический смеситель-активатор / Ю. В. Воробьев, Ю. Ю. Воробьев – Заявка №2012153260, опубл. 10.05.2015.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СОЛЕЙ В ПОРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

**Ельчищева Т. Ф.[1], Ерофеев В. Т.[2]**

*[1]Тамбовский государственный технический университет, Тамбов*
elschevat@mail.ru
*[2]Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, Саранск*
fac-build@adm.mrsu.ru

Проведение химического анализа образцов строительных материалов, подвергающихся воздействию неорганических гигроскопических солей в природных условиях [1] и условиях воздействия антропогенных факторов [2] показало наличие солей в водных вытяжках, полученных из образцов строительных материалов. При этом под воздействием природных условий понимается влияние морского климата, пыли растительного, животного, вулканического и космического происхождения, пыли от эрозии почвы, а также туманов и кислотных дождей естественного происхождения вследствие растворения в природных осадках указанных видов пыли, и почвенных растворов. Под антропогенным воздействием понимается влияние на строительные материалы различных видов отходов: промышленных предприятий, строительных площадок, бытовых, городского хозяйства (например, противогололедных средств); протечек вследствие неудовлетворительного состояния сетей водопровода, канализации и системы ливневых стоков; отходов и выбросов средств транспорта, предприятий энергетики и сельского хозяйства (например, химических средств защиты растений и удобрений), а также кислотных дождей антропогенного происхождения.

Наибольшую опасность для строительных материалов представляют соли, кристаллизующиеся в поровом пространстве в виде кристаллогидратов – это вызвано их большим объемом по сравнению с объемом кристаллизующейся безводной соли. При этом возможно расклинивающее действие кристаллов на стенки пор и капилляров строительного материала, приводящего к их разрушению.

На разработанной математической модели [3, 4] была произведена оценка объема порового пространства, которое может занимать кристаллическая соль в строительных материалах с различной плотностью и пористостью. Объем порового пространства определялся для кладки из керамического кирпича пористостью 31 % и плотностью 1800 кг/м3 и пеносиликата пористостью 75 % и плотностью 650 кг/м3. Расчеты с применением математической модели [2, 3] проводились с учетом вида соли и ее количества, температуры [4] и влагосодержания материалов.

Для сравнения объемного содержания солей в поровом пространстве был произведен расчет от засоления строительных материалов хлоридом натрия и фосфатом натрия в интервале температур от 0 до 20оС.

Свойства солей, принятых для выполнения вычислительного эксперимента, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Физико-химические свойства солей для вычислительного эксперимента

| Химическая формула соли | Наименование свойства | | |
|---|---|---|---|
| | $\gamma_с$, г/см3 | $c_н$, % (масс.) | $\varphi_г$, % |
| NaCl | 2,165 | 26,40 | 77,0 |
| NaCl•2H2O | 1,600 | 26,28 | 75,2 |
| Na3PO4•12H2O | 1,640 | 10,00 | 9,6 |

В соответствии со справочными данными, при растворении исходной безводной соли хлорида натрия (NaCl) в поровом пространстве материала из насыщенного раствора при температуре от 0 до +0,15 °С кристаллизуется дигидрогалит (NaCl•2H2O), а при температуре от +0,15 до +20 °С кристаллизуется безводный NaCl. В указанном интервале температур фосфат натрия (Na3PO4) кристаллизуется из насыщенного раствора только в виде кристаллогидрата Na3PO4•12H2O.

При температурах среды, отличных от интервала [+0,15; 20 °С], в качестве исходных данных для расчета принимались физико-химические свойства солей для требуемых расчетных температур по данным растворимости водно-солевых систем, химическим справочникам, либо в соответствии с расчетами, выполненными авторами по формулам, принятым в аналитической химии.

При изучении двух физических систем «соль – кирпичная кладка – поровая влага» и «соль – пеносиликат – поровая влага» с различной исходной пористостью строительных материалов было установлено, что при одинаковых удельных значениях солесодержания материалов объем заполненного солью порового пространства больше для материала с низкой пористостью. Так для системы «соль – кирпичная кладка – поровая влага» указанный объем оказался больше на величину до 67,7 % (отн.), по сравнению с системой «соль – пеносиликат – поровая влага». Объем соли, кристаллизующейся внутри пор материалов, зависит от ее вида, выпадающего из раствора (безводная соль или кристаллогидрат) и физико-химических свойств кристаллов соли – плотности, растворимости и гигроскопичности.

Увеличение объема кристаллической соли вызывается понижением температуры раствора, низкой плотностью кристаллической соли, слабой ее растворимостью и кристаллизацией из раствора в виде кристаллогидрата.

Объем пор, занимаемых кристаллической солью, увеличивается при повышении солесодержания материалов и уменьшении влажности. Для сухой кирпичной кладки объем соли увеличивается до 31,8 % при засолении

NaCl, до 48,5 % – при засолении NaCl•2H2O и до 46,8 % – при засолении Na3PO4•12H2O.

При влажности кирпича 18 % по массе увеличение объема соли составило до 6,1 % – при засолении NaCl, 8,4 % – при засолении NaCl•2H2O и 39,6 % – при засолении Na3PO4•12H2O.

В сухом пеносиликате увеличение объема соли составило до 11,1 % при засолении NaCl, 15,2 % – при засолении NaCl•2H2O и 15,7 % – при засолении Na3PO4•12H2O.

При влажности пеносиликата 18 % по массе увеличение объема соли составило до 7,8 % при засолении NaCl, 10,9 % – при засолении NaCl•2H2O и 14,5 % – при засолении Na3PO4•12H2O.

Проведенные расчеты позволили установить, что при выпадении кристаллогидрата объем соли больше, чем при выпадении безводной соли. Это вызвано различной плотностью их кристаллов вследствие отличия в их типах кристаллических структур. Количество осадка, выпадающего из насыщенного раствора, меняется и при выпадении одного и того же вида твердой фазы соли. Это связано с изменением растворимости солей при различных температурах среды. Уменьшение объема, занятого кристаллами соли, происходит вследствие перехода части соли в раствор при увеличении влагосодержания материала, что в большей мере проявляется для хорошо растворимых гигроскопических солей.

Список используемых источников.

1. Исследование свойств бетона железобетонных конструкций сооружений, эксплуатируемых в прибрежной зоне Черноморского побережья / В. Т. Ерофеев, Т. Ф. Ельчищева, А. И. Родин, И. В. Смирнов, Д. А. Меркулов, В. А. Федорцов, А. А. Чуваткин // Транспортные сооружения. – 2018. – № 2. – Режим доступа: https://t-s.today/PDF/05SATS218.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/05SATS218.

2. Ельчищева, Т. Ф. Математическое моделирование для исследования состава внутрипорового вещества кирпичной кладки // Вестник СГТУ. – 2012. – Т. 1. – № 2с. – С. 75-79.

3. Ельчищева, Т. Ф. Математическое моделирование для исследования состава внутрипорового вещества стеновых материалов // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-24: сб. трудов XXIV Международ. науч. конф. : в 10 т. Т. 7. Секция 11 / под общ. ред. В.С. Балакирева. – Пенза : Пенз. гос. технол. академия, 2011. – С. 117-118.

4. Ельчищева, Т. Ф., Ельчищев, М. М. Анализ состава внутрипорового вещества засоленного стенового материала при изменении температуры // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. – 2011. – Т 2. – № 3. – С. 199-204.

# ФОРМИРОВАНИЕ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПРОКАТКЕ НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА С НЕИЗОМОРФНЫМИ ВЫДЕЛЕНИЯМИ ВТОРОЙ ФАЗЫ*

**Мухтаров Ш. Х., Валитов В. А.**
***Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа***
***Valitov_VA@mail.ru***

Существенное расширение технологических возможностей перспективного технологического процесса СПФ может быть достигнуто за счет реализации эффекта низкотемпературной СП. Для этого необходимо использование листовых полуфабрикатов с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой с размером зерен менее 1мкм [1,2]. Поэтому исследования, посвященные изучению закономерностей формирования такой структуры при прокатке, а также оценке ее влияния на технологические и механические свойства листовых полуфабрикатов из никелевого сплава Inconel 718 представляются актуальными.

Целью данной работы являлось исследование влияния термомеханических режимов прокатки никелевого сплава Inconel 718 на формирование в листовых полуфабрикатах УМЗ структуры дуплексного типа и ее влияния на свойства.

Материал и методики исследований.

В качестве материала исследования был использован никелевый сплав Inconel 718 в котором упрочнение достигается за счет выделения неизоморфной к матрице (γ-фазе) упрочняющей фазы Ni3Nb в виде когерентных частиц дискообразной формы (упорядоченная метастабильная γ′′-фаза с ОЦТ решеткой (DO22). Последняя при длительном старении или нагреве до температуры выше 900оС трансформируется в орторомбическую структуру δ-фазы пластинчатой формы [3]

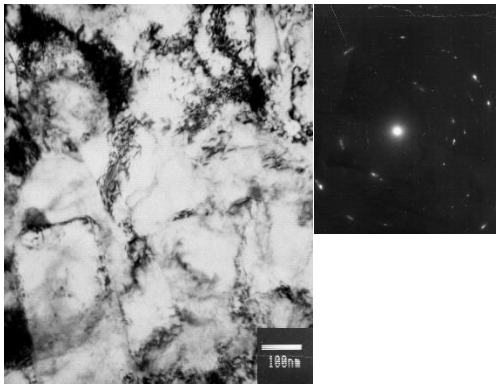
Листовые заготовки были получены прокаткой объемного полуфабриката 100x50x9 mm из сплава Inconel 718 с микрокристаллической (МК) структурой (1÷3мкм) структурой. Изотермическую прокатку осуществляли на шестивалковом изотермическом прокатном стане Лис-6/200 при температуре 750÷620°С с максимальной нагрузкой на валки не более 30 тонн. В результате прокатки получена листовая заготовка толщиной 0.9 мм. Сверхпластические (СП) свойства прокатанного материала, а также механические свойства после окончательной термической обработки изучали на образцах размером 12x5x0.9 мм3. Образцы были вырезаны как в продольном направлении прокатки, так и поперечном.

Результаты исследования и их обсуждение.

Формирование УМЗ структуры в листовых полуфабрикатах.

Исследования микроструктурных изменений сплава Inconel 718 после изотермической прокатки со снижением температуры от 750 до 700 °С показали, что при пластической деформации на начальной стадии деформации происходит формирование смешанной ячеисто-субзеренной структуры (рис.1) и с увеличением степени деформации ее трансформация в зеренную с высокоугловыми неравновесными границами. в структуре наблюдаются как деформированная структура, так и отдельные новые рекристаллизованные УМЗ зерна. Внутри частиц δ-фазы с повышением степени деформации наблюдается формирование малоугловых границ, которые делят ее на несколько частей. В результате развития процессов фрагментации частиц δ-фазы и сфероидизации отдельных фрагментов последние приобретают округлую форму и фактически преобразуются в некогерентные частицы-зерна УМЗ размера. Исследования тонкой структуры сплава показали, что в зернах γ-фазы наблюдается высокая плотность дислокации (Рис. 1), а границы зерен имеют характерный для неравновесных границ диффузный контраст. В целом, сформированная УМЗ структура аналогична наблюдаемой в объемных кованных заготовках из этого же сплава и с таким же размером зерен [4, 5]. Проведение последеформационного отжига при температуре прокатки, как видно на рис. 2, приводит к формированию более равновесного УМЗ состояния, однако средний размер зерен укрупняется с 0,2 до 0,3мкм.

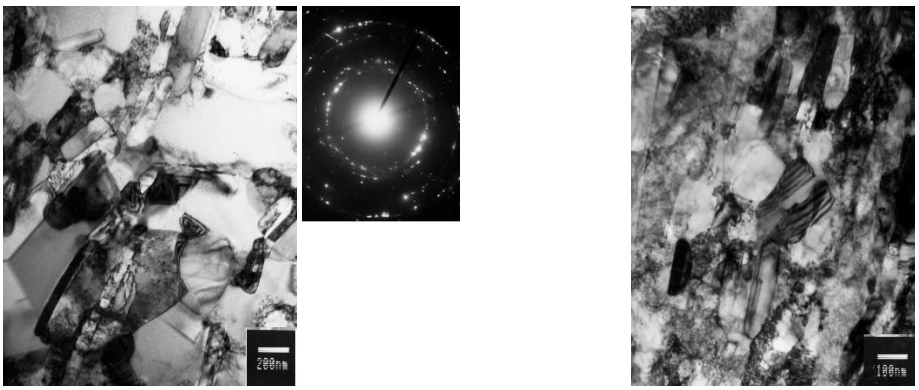
Следует отметить, что дальнейшее снижение температуры прокатки от 650 до 620 $^{o}$С позволяет дополнительно измельчить структуру вплоть до НК размера (0,1мкм). Как видно на рис. 3 прокатка при 620 $^{o}$С приводит к формированию частично рекристаллизованной структуры, в которой выявляются отдельные глобулярные частицы δ-фазы и зерна γ-фазы имеющие размер ~0,1 мкм. Наличие на электронограмме отдельных точечные рефлексов (Рис. 3, а) свидетельствует о частичном прохождении рекристаллизации.




а)

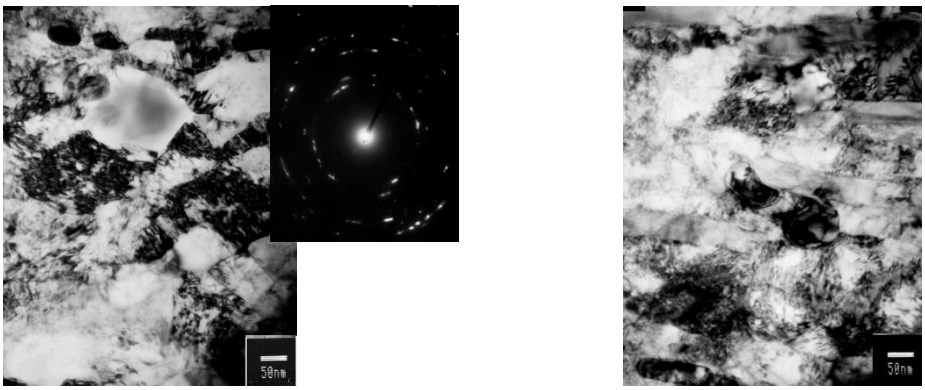
б)

Рис. 1. Микроструктура сплава Inconel 718 после прокатки в интервале температур от 750 °С до 700 °С; ε = 46 %.



а) б)

Рис. 2. Микроструктура сплава Inconel 718 после прокатки в интервале температур от 700 °С до 650 °С и отжига при 700 °С ; ε = 78 %.



а) б)

Рис. 3. Микроструктура сплава Inconel 718 после прокатки в интервале температур от 650 °С до 620 °С; ε = 84 %.

Таким образом, в результате дробной изотермической прокатки МК сплава Inconel 718 с понижением температуры обработки с 750 до 650 °С может быть сформирована УМЗ структура типа «субмикродуплекс» со средним размером γ и δ-фаз 0,2-0,4 мкм.

Сверхпластические свойства. Анализ результатов механических испытаний листового полуфабриката из сплава Inconel 718 с УМЗ структурой показал, что данный сплав в исследуемом температурно-скоростном интервале проявляет признаки низкотемпературной СП (табл. 1). Видно, что свойства образцов в 2-х взаимно перпендикулярных направлениях при одинаковых условиях деформации отличаются не намного. Значения напряжений течения σ40, и δ выше у продольных образцов, соответственно, на 3…10 % и 5…25 %.

Анализ полученных результатов характеристик СП свидетельствует о том, что они аналогичны результатам, полученным на образцах, изготовленных методом всесторонней изотермической ковки.

Структура и свойства после термической обработки. Исследования микроструктуры после проведения стандартной термообработки [6] листов из сплава Inconel 718 показали, что она приводит к образованию однородной структуры со средним размером зерен γ - фазы 25 мкм (рис. 4). Из термически обработанного листа были вырезаны образцы в двух направлениях: в

продольном и поперечном. Данные по механическим свойствам листового сплава Inconel 718 представлены в табл. 2, из которой видно, что они соответствуют требованиям технических условий на материал. В направлении перпендикулярном направлению прокатки, (в поперечном направлении), все характеристики несколько ниже, чем в направлении прокатки, (в продольном направлении). Разница по прочностным свойствам не превышает 3%, а по пластическим составляет 2÷10 %.

Таблица 1.

СП свойства листового полуфабриката из сплава Inconel 718.

| Размер зерен (частиц), мкм | | Температура, °С | Скорость деформации, $c^{-1}$ | σ40, МПа | δ, % | m | Направление вырезки образцов |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| γ-фазы | δ-фазы | | | | | | |
| 0.5 | 0.1-0.5 | 950 | 10-3 | 75 | 255 | 0,36 | поперечное |
| | | 950 | 5.5x10-4 | 51 | 365 | 0,41 | продольное |
| | | 900 | 5.5x10-3 | 142 | 460 | 0,48 | продольное |
| | | | | 111 | 445 | 0,43 | поперечно |
| | | 900 | 10-3 | 86 | 685 | 0,5 | продольное |
| | | 900 | 5.5x10-4 | 68 | 605 | 0.65 | продольное |
| | | | | 73 | 390 | 0,5 | поперечно |
| | | 800 | 3x10-4 | 115 | 455 | 0,47 | поперечно |
| | | 700 | 5.5x10-4 | 284 | 320 | 0,4 | продольное |
| | | | | 271 | 290 | 0,37 | поперечно |

σ40 –напряжение течения при степени деформации 40%.

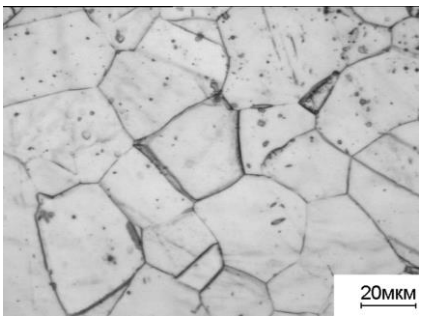



Рис. 4. Микроструктура сплава Inconel 718 после изотермической прокатки и стандартной термообработки в направлении в плоскости листа.

Таблица 2.

Механические свойства образцов из сплава Inconel 718 после прокатки и стандартной термообработки.

| Характеристики | 20 °С | | | 650 °С | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Продольное | Поперечное | AMS 5662J [6] | Продольное | Поперечное | AMS 5662J [6] |
| σВ, МПа | 1350,3 | 1336,7 | 1241 | 1016,1 | 1015,9 | 965 |
| σ0,2, МПа | 1072,9 | 1057,9 | 1034 | 889,2 | 866,4 | 862 |
| δ, % | 22,9 | 25,3 | 10 | 14,9 | 12,8 | 10 |
| ψ, % | 23,3 | 22,9 | 12 | 13 | 12,6 | 12 |

Полученные результаты свидетельствуют, что УМЗ структуру в сплаве Inconel 718 можно сформировать не только в объемных заготовках результате ИПД по схеме всесторонней изотермической ковки [7, 8], но и в процессе изотермической прокатки сплава с МК структурой. Структурообразование УМЗ структуры при прокатке, по-видимому, происходит во многом аналогично, как и при деформации объемных МК заготовок. При этом в процессе прокатки в исходной МК структуре происходят существенные изменения. На начальных стадиях деформации имеет место формирование ячеисто-субзеренной структуры в зернах матрицы (γ-фазы), а при дальнейшей деформации их преобразования в УМЗ зеренную структуру с высокоугловыми границами и типичным для неравновесных границ диффузным контрастом. При этом, в процессе деформационно-термической обработки (многопереходной изотермической прокатки) имеет место также фрагментация исходных, присутствовавших в МК структуре, некогерентных частиц δ-фазы за счет образования в них поперечных дислокационных границ, что в конечном счете приводит к преобразование их в более мелкие некогерентные частицы УМЗ размера. Кроме того, следует отметить, что с понижением температуры деформации, по-видимому, происходит также дополнительное выделение на дислокациях некогерентной δ-фазы и ее коагуляция до УМЗ размера. Последеформационные отжиги, проводимые при температуре прокатки способствуют дальнейшему развитию рекристаллизационных процессов, начавшихся в ходе деформации прокаткой, в том числе фрагментации частиц δ-фазы и их сфероидизации и как результат формированию более равновесного УМЗ состояния типа «субмикродуплекс».

Результаты механических испытаний образцов после прокатки и термообработки свидетельствуют, что характеристики прочности и пластичности, как при комнатной, так и при повышенной температуре полностью удовлетворяют требованиям технических условий на данный материал. Следовательно, стандартная термическая обработка, используемая для сплавов с крупнозернистой структурой и МК структурой, подходит и для сплава с УМЗ структурой.

Выводы.

Низкотемпературная прокатка сплава Inconel 718 с микрокристаллической структурой позволяет сформировать в листовом полуфабрикате УМЗ структуру с размером зерен менее 1мкм.

Показано, что сплав Inconel 718 с УМЗ структурой, сформированной в листовом полуфабрикате, демонстрирует признаки низкотемпературной СП в интервале температур 800-700 °С.

Проведение стандартной термической обработки прокатанного сплава Inconel 718 с УМЗ структурой обеспечивает достижение характеристик прочности и пластичности, как при комнатной, так и при повышенной температуре, которые полностью удовлетворяют требованиям технических условий на данный материал.

**Работа выполнялась в рамках государственного задания Института проблем сверхпластичности металлов РАН (№ гос. рег. АААА-А17-117041310215-4). Экспериментальные исследования были выполнены на базе Центра коллективного пользования научным оборудованием ИПСМ РАН.*

Список используемых источников.

1. Сверхпластичность, измельчение микроструктуры и обработка труднодеформируемых сплавов. / О. А. Кайбышев, Ф. З. Утяшев. – М:. Наука, 2002. – 438 с.

2. Валитов, В. А. Деформационно-термическая обработка - эффективный метод получения ультрамелкозернистой и нанокристаллической структуры в никелевых сплавах // Письма о материалах. – 2013. – Т. 3. – С. 50-55.

3. Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок. В 2-х кн. Пер. с англ. / Ч. Симс, Т. Столофф, В. Хагель. – М.: Металлургия, 1995. – 568 с.

4. Формирование нанокристаллической структуры при интенсивной деформационно-термической обработке и ее влияние на сверхпластические свойства никелевого сплава с неизоморфными выделениями второй фазы / В. А. Валитов, Ш. Х. Мухтаров, Ю. А. Раскулова // ФММ. – 2006. – Т. 102. – № 1. – С.105-113.

5. Valitov, V. A. Formation of nanocrystalline structure upon severe thermomechanical processing and its effect on the superplastic properties of nickel base alloys // Вопросы материаловедения. – 2007.– № 4 (52). – С. 311-316.

6. AMS5662J. Nickel Alloy, Corrosion and Heat Resistant, Bars, Forgings, and Rings. Consumable Electrode or Vacuum Induction Melted 1775 °F (968 °C) Solution Heat Treated, Precipitation Hardenable.

7. Мулюков, Р. Р. Развитие принципов получения и исследование объемных наноструктурных материалов // Российские нанотехнологии. – 2007. – Т. 7. – С. 38-53.

8. European Patent EP 0 909 339 B1 «Method For Processing Billets From Multiphase Alloys» / F. Z. Utyashev, O. A. Kaibyshev, V. A. Valitov // 21.11.2001. – Bulletin 1001/47.

# ИМПУЛЬСНАЯ ПЕДАГОГИКА В ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ ДЛЯ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ

**Попов А. И.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Необходимость формирования и совершенствования компонентов готовности к инновационной деятельности в процессе профессионального становления студентов предопределяет изменение подхода к проектированию содержания образования и выбору используемых технологий. В контексте необходимости опережающего развития производственного сектора и цифровизации экономики, повышается значимость труда инженерно-технических работников, прежде всего, занятых в высокотехнологичных отраслях, что обуславливает необходимость восстановления качественного инженерного образования и развития его с учетом существующих реалий [1]. Ключевой задачей инженерного образования будет активизация внутренних резервов личности, преодоление психологической инерции и усиление процессов внутренне мотивированного самообучения и самовоспитания.

Изменяющийся темп жизни современного человека, усиливающееся психологическое напряжение и конкуренция во всех составляющих его деятельности, доминирование лидерских устремлений – всё это детерминирует развитие современной «равнонапряженной» познавательной деятельности в вузе в сторону импульсного воздействия. Педагогический импульс по интенсивности должен намного превышать обычную учебную деятельность студента, но быть достаточно непродолжительным по времени. Периодичность таких импульсов определяется инертностью обучающегося и стабильностью его темперамента, а также актуализацией профессиональной деятельности.

Развитию творческих способностей способствует периодическая мобилизация сил обучающегося для выполнения заданий [2]. Поэтому в основе импульсной педагогики лежит предположение, что познавательная деятельность по разрешению личностно-значимых для обучающегося проблемных ситуаций, требующих больше имеющегося у студента набора знаний и умений, в ситуации психологического дискомфорта и повышенной ответственности за конечный результат переводит личность человека на эвристический уровень проявления интеллектуальной активности. Интенсивная работа студентов должна чередоваться с этапами рефлексии, позволяющими корректировать образовательную траекторию по содержанию и темпам прохождения, а также релаксации, предотвращающими психологическое выгорание студента.

Импульсный характер образовательного процесса достигается интеграцией мотивационного, деятельностного и информационного компонентов, обеспечивающих работу обучающихся на пределе своих возможностей. На первом этапе организации интенсивной познавательной деятельности решающую роль играет комплекс мотивирующих воздействий, способных выве-

сти студента из состояния мыслительного покоя. Причем в силу объективных и субъективных причин (и, прежде всего, вследствие недостаточной выраженности социального заказа на качественное образование) одного познавательного интереса для вовлечения значительной части студентов в активную работу не хватит. Необходима комбинация как мер административного воздействия (например, соответствующие элементы методики балльно-рейтинговой системы), экономического (дополнительные выплаты) и психологического (возможность познания нового, но не связанного напрямую с профессией, или общения в значимом для студентов сообществе).

Применение преподавателем легитимных способов побуждения студентов к напряженному труду наиболее эффективно в случае их высокой дисциплинированности и наличия чувства ответственности за конечный результат. Обязательным условием является наличие у преподавателя авторитета в студенческой группе как человека профессионально грамотного и выполняющего свои обязательства. Экономическое поощрение студентов за показанные во время интенсивной работы результаты (как образовательные, так и имеющие прикладной характер – например полученный во время хакатонов программный продукт) обеспечивает изменение восприятия в социальной группе студента его успешной учёбы и закрепляет позитивный настрой на освоение профессии в дальнейшем.

Использование психологических методов мотивирования позволит решить несколько задач. Во-первых, позитивные эмоции, являющиеся побочным эффектом от интенсивной деятельности в новом коллективе или иной внешней среде, позволяют преодолеть стрессовую ситуацию и не допустить торможения творческих процессов. Во-вторых, происходит общее развитие духовности человека, его личности в гармоническом единстве с социумом. В-третьих, интенсифицируется процесс социализации талантливых студентов, часть из которых либо с трудностью вступают в коммуникации с окружающими, либо, пытаясь приспособиться к не всегда конструктивному окружению, специально тормозят свою познавательную активность.

Описанные механизмы мотивации очень важны именно на первом этапе деятельности. После того, как студент погрузился в активную мыслительную работу, проявляются внутренние источники мотивации, и инерционность уже является положительным фактором и обеспечивает движение студента вперед. Важно в данный момент либо нейтрализовать влияние среды (при её деструктивном характере), либо максимально использовать её внутренние ресурсы, например, эффект фацилитации при работе в группе, получение эстетического наслаждения от промежуточных результатов (метод «дизайна искусственных стихов» при решении инженерных изобретательских задач) или среды деятельности (выполнение в другой культурной макросреде).

Деятельностный характер в импульсной педагогике предполагает переход от стратегии научения (насыщения информацией и алгоритмами трудовых функций извне) к самообразованию в деятельности, организованной и сопровождаемой преподавателем, который выступает и в роли консультанта,

и в роли арбитра, и в роли психолога (в случае отрицательного результата деятельности он поможет преодолеть своим подопечным кризис и двигаться дальше).

Организованная учебная или квазипрофессиональная деятельность должна требовать дополнительной информации как для общего развития, так и для выполнения конкретных действий, и, соответственно быть актуализирована для студента. Насыщение необходимой информацией ближайшей к обучающемуся среды должно обеспечивать возможность для студента найти её в необходимом ему на данный момент времени и объеме, а также получить в наиболее удобном формате с учетом задачи преодоления психологической инерции.

Возрастает роль педагога, который испытывает значительно более сильные нагрузки, чем его подопечные. Во-первых, преподаватель должен методически грамотно построить работу каждого обучающегося, учитывая его интеллектуальные возможности, психологическую готовность к перенапряжению, сложности коммуникации. Во-вторых, он сам является участником познания, более опытным в научных и профессиональных вопросах, но в силу ряда причин зачастую находящимся на грани психологического выгорания и погруженности в стабильные рабочие процессы. От его готовности также «окунуться» в творчество во время интенсивной работы, способности взаимодействовать с обучающимися без излишнего давления на них, артистического таланта и преданности своей работе зависит успешность любой педагогической инновации, в т.ч. и импульсного воздействия.

При проектировании импульсного педагогического воздействия необходимо учитывать следующие рекомендации:

- процесс развития личности студента активизируется посредством решения творческой задачи, отражающей предметный и (или) социальный контекст профессиональной деятельности или представляющий познавательный интерес для студента;

- учебная деятельность должна происходить в условиях ограничения использования ресурсов (кроме информационных) и предполагать социальную значимость результата для студента;

- сопровождение саморазвития студентов целесообразно организовывать с учётом потенциала цифрового образовательного пространства (и для самостоятельной работы и информального образования, и для дистанционного общения в рамках виртуальных учебно-научных коллективов) [3], а также активно используя интерактивные методы обучения в рамках цифрового пространства [4];

- решение творческой задачи должно предполагать разрыв (движущую силу) между имеющейся у студента совокупностью знаний, умений, навыков и необходимой для получения верного результата; величина этого разрыва должна обеспечивать возможность его преодоления посредством активной самостоятельной работы в течение интенсивной работы над задачей;

- проблемная ситуация, лежащая в основе творческой задачи, должна предполагать возможность её дальнейшего исследования после этапов рефлексии и групповой релаксации;

- интенсивная работа над творческой задачей должна включать индивидуальную самостоятельную работу и коллективную деятельность, использующую эффект фацилитации;

- ряд педагогических импульсов целесообразно сопровождать соревнованиями студентов, предполагающими ситуацию психологического напряжения и индивидуальной или коллективной ответственности за полученный результат [5, 6];

- в течение интенсивного погружения в проблему и поиска её решения необходимо удовлетворять другие потребности обучающегося (коммуникационные, духовные, спортивные и т.д.);

- продолжительность работы на повышенном уровне сложности обусловлена начальным уровнем интеллектуальной активности и синергетическими свойствами коллектива;

- принципы воспитывающего обучения должны использоваться во всех формах организации обучения, формируя чувство гражданской ответственности, духовные идеалы, правовую культуру будущего специалиста [7].

Каждое импульсное воздействие направлено на изменение следующих характеристик личности, определяющих её готовность к осуществлению инновационной деятельности:

- способности выйти в исследовании проблемной ситуации за рамки поставленной извне задачи;

- способности к самоорганизации и проектированию мероприятий саморазвития;

- стрессоустойчивости и готовности к творчеству в условиях профессиональной конкуренции;

- готовности к конструктивной коммуникации.

Можно выделить индивидуальное и групповое импульсное воздействие. В случае индивидуального импульса проектирование содержания и выбор методов обучения максимально учитывает особенности индивидуального восприятия информации обучающимся, но отсутствие взаимодействия с другими студентами приводят к необходимости более интенсивного сопровождения со стороны преподавателя, а также появляются трудности с этапом релаксации. Интенсивная же групповая работа над творческим проектом имеет шансы вследствие включения процессов самоорганизации обойтись без дополнительного стимулирования. В группе происходит распределение социальных ролей, но при следующем импульсном воздействии студент может попробовать себя в ином качестве при реализации проекта. Этап рефлексии и последующей релаксации при работе в составе коллектива несет положительный дополнительный психологический заряд для обучающегося.

Выход в процессе напряженной творческой работы на эвристический уровень интеллектуальной активности, проведенная рефлексия (сначала самостоятельно, а затем и в рамках обсуждения преподавателем-методистом),

релаксация (совмещенная с получением удовольствия от других видов деятельности) позволяет обучающемуся «по инерции» некоторое время активно участвовать в стационарном образовательном процессе. При методически грамотном использовании преподавателем активности студента возможно не только относительно длительный промежуток времени обучающемуся осуществлять творческое саморазвитие и осваивать компетенции на деятельностном уровне, но и побудить других студентов к более вдумчивому изучению материала, передать им приобретенные навыки организации творческой деятельности и решения нестандартных инженерных задач.

На ранних этапах профессионального становления импульсное педагогическое воздействие наиболее эффективно реализуется в формате олимпиадного движения [5]. Олимпиадное движение на основе ярко выраженного познавательного интереса отдельных студентов способно побудить значительное количество обучающихся к творчеству с учетом их интеллектуальных возможностей и потребностей, тем самым, обеспечивая индивидуализацию образования. Причём для студентов, имеющих проблемы коммуникационного плана или заниженную самооценку, предпочтительна организация индивидуального импульса при использовании потенциала цифровой образовательной среды [3]. На старших курсах необходимо использовать конкурсы по специальности или проектную деятельность, причем формируя для неё смешанные коллективы обучающихся (по возрасту, этапу профессионального становления, по направлению подготовки). Импульсная педагогика может применяться и для повышения эффективности профессионального развития профессорско-преподавательского состава вуза, что в свою очередь отражается на качестве подготовки кадров для региональной экономики [8].

Периодичность и интенсивность образовательного процесса, организованного по импульсному типу, определяется темпераментом и стилем мышления обучающихся, спецификой образовательных программ и возможностью перенести в используемые инструментально-педагогические средства этапы жизненного цикла инновации, возможностью гармонично сочетать личностное взаимодействие обучающихся и педагогов и потенциал цифрового пространства, экономическими ресурсами. Возможна организация различных педагогических импульсов, соединяющих в себе разнообразные инновации в сфере образования.

Для сокращения времени адаптации выпускников на производстве и актуализации получаемых знаний и умений возможна организация проектной деятельности в рамках виртуальных коллективов, объединяющих студентов различных курсов и форм обучения. Обучающиеся младших курсов еще не утратили юношеский задор и познавательную активность, студенты выпускных курсов рассматривают различные способы позиционирования себя в глазах потенциальных работодателей. А студенты, совмещающие работу с обучением, при не всегда высоком уровне теоретических знаний более глубоко разбираются в практических аспектах предметной области и улавливают тенденции развития производства. Объединение столь различных групп обучающихся для работы над проектом позволит каждому из участников макси-

мально проявить себя и в процессе совместной деятельности компенсировать свои слабые стороны подготовки за счет «трансфера» знаний, опыта, личностных устремлений своих коллег. Участие работников предприятий, обучающихся по заочной и очно-заочной формах, обеспечивает актуальность разрешаемой проблемной ситуации и высокий уровень внешнего стимулирования к освоению профессии. Причем работа над проектом предполагает возникновение необходимости более интенсивной работы в какой-то момент времени лишь от части коллектива, а затем центр деятельности перемещается на других участников виртуального сообщества. Тамбовский государственный технический университет использует предложенную концепцию при подготовке специалистов для наноиндустрии, активно взаимодействуя с индустриальным партнером – АО «Завком».

Другим эффективным форматом импульсной педагогики будет интеграция компетенций технического, экономического и правового блоков при подготовке и представлении студентами своих научных работ на конференциях, в т.ч. и международных. Например, очное участие студентов в международных конференциях в рамках Союзного государства России и Беларуси обеспечивает не только понимание ими важности решаемых технических проблем для инновационного развития, но и становится первым шагом к углубленному изучению закономерностей протекания экономических процессов и нормативно-правового регулирования совместной интернациональной деятельности. Установленные во время конференции контакты позволяют и после её окончания совместно осуществлять учебную и научную деятельность в цифровом пространстве. Описанная технология импульсного обучения реализуется университетом совместно с Белорусским государственным аграрным техническим университетом.

В контексте необходимости активного развития универсальных компетенций, востребованности интеграции не только видов, но и областей деятельности, а также возрастающей интернационализации экономики актуализируется международная проектная образовательная деятельность. Коллективы проекта формируются из обучающихся различных образовательных учреждений и направлений подготовки, причем наивысшая напряженность деятельности сочетается с эмоциональной релаксацией от познания другой культуры и знакомства с представителями студенческого сообщества страны, где организуется этап интенсивной подготовки. Потребность в межличностном общении и является в данном случае наибольшим стимулом к активной деятельности. В процессе работы над проектом каждый обучающийся получает возможность и приобрести конкурентоспособные знания в своей предметной области, и участвовать в тех видах деятельности, которые не являются в настоящий момент целью его образовательной программы. Такое пересечение трудовых функций и профессиональных областей предоставляет возможность студентам осознанно скорректировать свою образовательную траекторию и организовать на высоком уровне процесс творческого саморазвития или информального образования. Один из таких проектов в области

создания и использования новых конструкционных и строительных материалов был реализован совместно с Восточно-Баварским университетом.

Дополнение традиционных форм обучения при освоении образовательной программы рассмотренными импульсными педагогическими технологиями показало свою эффективность и позволяет формировать инновационную готовность специалистов для наукоёмких отраслей на более высоком уровне.

Список используемых источников.

1. Рудской, А. И. Инженерное образование: мировой опыт подготовки интеллектуальной элиты / А. И. Рудской, А. И. Боровков, П. И. Романов, К. Н. Киселева. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 216 с.

2. Андреев, В. И. Конкурентология. Учебный курс для творческого саморазвития конкурентоспособности / В. И. Андреев. – Казань, 2004. – 468 с.

3. Молоткова, Н. В. Механизм использования цифровой образовательной среды в инженерном образовании / Н. В. Молоткова, Е. А. Ракитина, А. И. Попов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2018. – № 2 (68). – С.163-172.

4. Ракитина, Е. А. Проблемы и перспективы использования интерактивных форм обучения в технических вузах / Е. А. Ракитина, А. И. Попов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2014. – № 1 (50). – С. 65-69.

5. Юдин, В. А. Формирование инновационной готовности специалистов в олимпиадном движении по теоретической механике / В. А. Юдин, А. И. Попов // Alma mater: Вестник высшей школы. – 2018 – № 3. – С.60-66.

6. Попов, А. И. Формирование инновационной готовности специалистов АПК в творческих конкурсах / А. И. Попов, А. Г. Павлов // Актуальные проблемы формирования кадрового потенциала для инновационного развития АПК: материалы Междунар. научно-практ. конференции. – Минск, 2018. – С.106-109.

7. Попов, А. И. Правовое воспитание специалистов инновационной сферы // Социальная компетентность. – 2018. – Т. 3. – № 1. – С. 74–80.

8. Попов, А. И. Педагогические конкурсы как способ совершенствования профессионального мастерства преподавателя вуза / А. И. Попов, Н. В. Молоткова, Е. А. Ракитина, Н. П. Пучков // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Педагогика, психология. – 2015. – № 2 (21). – С. 125-128.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СОУДАРЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ТЕЛ С УЧЕТОМ НЕЛОКАЛЬНОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ И АДГЕЗИИ*

**Ляшенко Я. А.**
***Берлинский технический университет, Берлин, Германия***
***Сумский государственный университет, Сумы, Украина***
***i.liashenko@tu-berlin.de***

На протяжении нескольких последних десятилетий активно развиваются разнообразные теоретические, экспериментальные и численные методы исследования контактных явлений твердых тел. Актуальность этих вопросов связана прежде всего с важным значением свойств контакта в производстве, поскольку любое устройство имеет в своем составе большое количество контактов, между деталями, выполненными из одинаковых или различных материалов. Для обеспечения необходимых свойств контакта (прочность на разрыв, реакция на внешнюю нагрузку и т.п.) необходимо учитывать целую массу параметров, таких как шероховатости поверхностей, упругие модули контактирующих материалов, поверхностная энергия в случае адгезионного контакта, и многое другое. Одним из актуальных направлений является исследование контактных явлений на примере столкновений двух однородных шаров. Связано это также и с тем, что за счет своего геометрического строения шары, сталкивающиеся под произвольным углом, всегда контактируют вдоль направления, соединяющего их центры. Изучение столкновений на примере шаров позволяет выделить основные особенности, исключив из рассмотрения влияние таких эффектов как зависимость момента инерции от направления вращения. То есть здесь становится возможным сосредоточиться именно на контактных явлениях. В предлагаемой работе мы теоретически исследуем столкновение шара с полупространством, проводя учет адгезии и нелокальной пластичности. Ранее подобное исследование, без учета адгезии, было проведено нами в работе [1], где для описания нелокальной пластичности мы использовали критерий, предложенный в [2].

Для построения модели контактного взаимодействия будем использовать метод редукции размерности (MDR) [3]. В рамках метода сперва необходимо трехмерный профиль тела f(r) заменить на его одномерный эквивалент g(x), что для параболического профиля f(r) = r2/2R дает функцию g(x) = x2/R. После этого полупространство заменяется на упругое основание, состоящее из последовательности невзаимодействующих пружин с нормальной жесткостью kz = E*Δx, где Δx – величина дискретизации пространства (расстояние между пружинами), а E* – эффективный модуль упругости.

При индентировании индентора с профилем g(x) в упругое основание на глубину d индивидуальные пружины приобретают смещения

$$uz(x) = d - g(x) = d - x2/R, \quad (1)$$

Для определения действующей нормальной силы в случае чисто упругого взаимодействия необходимо сложить силы натяжения от каждой пружины в контакте.

Предложенный в работе [2] критерий нелокальной пластичности состоит в следующем. Согласно [2], действующая в контакте нормальная сила может быть записана в виде

$$Fz = \pi qca, \quad (2)$$

где qc является критической линейной плотностью силы для выделенной пружины. С ее превышением начинается пластическая деформация. При этом для выделенной пружины критическая сила fc задается выражением

$$Fc = \pi qc\Delta x/2, \quad (3)$$

При введении правила (3) в метод редукции размерности для больших глубин индентирования выполняется равенство (2). Подробно процедура моделирования пластического контакта может быть найдена в работе [1].

Для моделирования непосредственно процесса столкновения необходимо численно решить дифференциальное уравнение

$$m\dot{v}_z = -F_z, \quad (4)$$

где m – масса шарика, а vz – его скорость. Будем при этом определять коэффициент восстановления нормальной скорости en = –vz/vz0, равный отношению скорости после соударения к начальной скорости движения шарика.

Моделирование показало, что пластические эффекты наблюдаются, если начальная скорость превышает критическое значение

$$v_{z0}^{crit} = \frac{2^{-1/4}}{\sqrt{5\rho}}\left(\frac{q_c}{R}\right)^{5/4}\left(\frac{\pi}{E^*}\right)^{3/4}, \quad (5)$$

где ρ – плотность материала, из которого изготовлен шарик. Для учета адгезионного взаимодействия будем использовать хорошо известную модель JKR [4, 5]. Коэффициент восстановления при действии только пластической деформации может быть определен как

$$e_a = \sqrt{1 - \frac{\sqrt[3]{4\pi^5}}{10}(12 + \sqrt[3]{2})\beta^{5/2}}, \quad \beta = \left(\frac{R^4\Delta\gamma^5}{E^{*2}m^3v_{z0}^6}\right)^{2/15}, \quad (6)$$

где введена поверхностная энергия Δγ. Общий коэффициент восстановления может быть найден по формуле

$$e = \sqrt{e_p^2 + e_a^2 - 1}, \quad (7)$$

где ep - коэффициент восстановления при действии только пластической деформации, а ea - только при наличии адгезии. Нам понадобится также величина начальной скорости

$$v_{z0}^{*} = \sqrt{\frac{3(12+2^{1/3})}{20}} \times \left( \frac{\pi^2 \Delta\gamma^5}{2E^{*2}R^5\rho^3} \right)^{1/6}, \qquad (8)$$

при которой происходит полная диссипация механической энергии за счет адгезионных процессов. Результат моделирования показан на рис. 1.

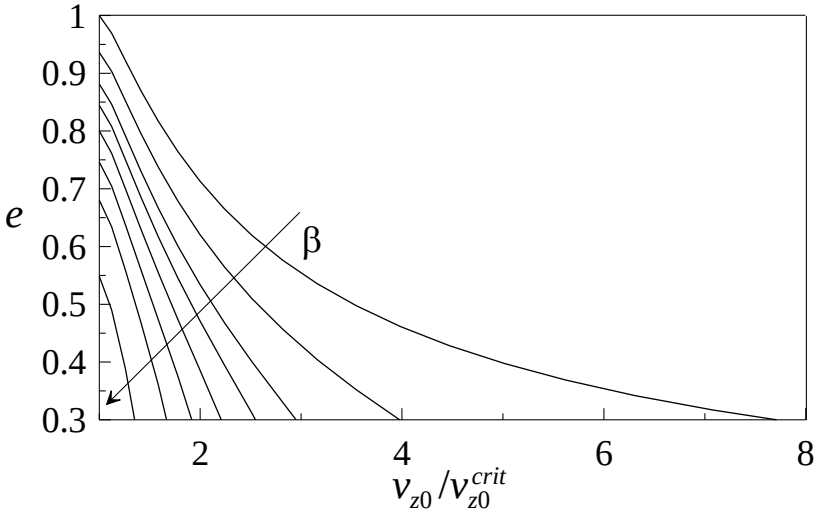



Рис. 1. Зависимости коэффициента восстановления нормальной скорости e (7) как функции нормированного значения начальной скорости шарика $v_{z0}/v_{z0}^{crit}$. Кривые, расположенные сверху вниз, построены при значении параметра β = 0, 0.15, 0.19, 0.21, 0.23, 0.25, 0.27, 0.3.

Из рисунка следует, что с ростом параметра β коэффициент восстановления уменьшается. Такой же эффект наблюдается при увеличении диссипации механической энергии за счет пластического деформирования материала в зоне контакта. Значение $v_{z0}/v_{z0}^{crit} = 1$ соответствует ситуации, когда начинается пластическое течение. Поэтому при меньших скоростях коэффициент восстановления для каждой выбранной кривой не изменяется. В точке $v_{z0}/v_{z0}^{crit} = 1$ диссипация энергии происходит только за счет адгезионного взаимодействия.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Немецкого научно-исследовательского сообщества (DFG), проект PO 810-55-1.*

Список используемых источников.

1. Ляшенко, Я. А., Попов, В. Л.. ФТТ 60, 560 (2018).

2. Popov, V. L. FU Mech. Eng. 13, 39 (2015).

3. Popov, V. L., Heß, M. Method of dimensionality reduction in contact mechanics and friction. Berlin, Germany, Springer Verlag (2015). 265 p.

4. Ляшенко, Я. А., Виллерт, Э., Попов, В. Л. Вестник ПНИПУ. Механика 2, 44 (2018).

5. Johnson, K. L., Kendall, K., Roberts, A. D. Proc. R. Soc. London A 324, 301 (1971).

# ОСОБЕННОСТИ ХОЛОДНОГО ОДНООСНОГО СЖАТИЯ ШИХТОВОЙ СМЕСИ TiB-xTi

**Константинов А. С., Бажин П. М., Столин А. М.**
***Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А. Г. Мержанова Российской академии наук, Черноголовка***
**konstanta@ism.ac.ru**

Порошковые материалы представляют собой специфические реологические объекты. Изучение поведения этих материалов при деформировании с учетом их пористости помогает создать научно-обоснованные приемы получения изделий методами порошковой металлургии и технологии СВС.

В ИСМАНе, в лаборатории пластического деформирования, разработан технологический процесс СВС-экструзии, сочетающий горение в режиме СВС со сдвиговым деформированием. Этот метод обеспечивает синтез материала и получение изделия в одной установке и соединяет в себе достоинства как экструзии (возможность получения изделий нужного профиля с минимальной последующей обработкой), так и других СВС-технологий (экономичность, простота оборудования, малое время процесса, отсутствие необходимости высоких усилий при деформировании, отсутствие энергозатрат на внешний нагрев заготовки). Как и в классической порошковой металлургии, так и в технологии СВС, применяется предварительное холодное прессование шихтовых порошковых смесей. Плотность шихтовой пеллеты оказывает сильное влияние на скорость и температуру горения. А их повышение позволяет расширить интервал пластичности, столь необходимый для получения качественного бездефектного изделия. При низких значениях плотностей реакционная поверхность контакта между частицами порошка мала, а, следовательно, малы скорость и температура горения. При больших значениях плотностей увеличение кондуктивного теплоотвода из зоны реакции также приводит к снижению характеристик процесса горения. Таким образом, из условия полноты реакции при горении и синтеза материала предварительное прессование заготовок должно обеспечивать оптимальное значение плотности шихтовой заготовки.

Основной задачей, ставившейся при проведении данных исследований, являлось определение величины необходимого давления при предварительном холодном прессовании для обеспечения выбранного значения плотности заготовок, которое обеспечивает условия полноты реакции при горении и синтеза материала в процессах самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, и, в частности, при СВС-экструзии. Шихтовые смеси рассчитывались на получение двухфазного продукта TiB-xTi, где x – доля свободного Ti, варьируемая от 20% до 40% с шагом в 5%. Эксперимент по деформированию порошковых смесей проводился на испытательной машине «ИНСТРОН». Опыты проводились при постоянной скорости нагружения. Обеспечиваемая гарантированная точность составляет 1%. Эксперименты проводились при температуре 295 К в прессформе.

Выявлено, что для успешного осуществления СВС-экструзии, необходимый уровень прикладываемых давлений при предварительном холодном прессовании смеси TiB-xTi (20масс.%Ti < x < TiB-50масс.%Ti) составляет 0,5 – 2,8 МПа. При снижении массовой доли титана, в шихтовой смеси, наблюдается сужение интервала и снижение необходимого уровня прикладываемых давлений. В этих интервалах материал накапливает определенную долю пластической деформации, а также они согласуются с интервалом оптимальной относительной плотности таблетки (по отношению к плотности компактного материала) 0,5 – 0,7.

# ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

**Дмитриев О. С., Живенкова А. А., Дмитриев А. О.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
**phys@nnn.tstu.ru**

Полимерные композиты (ПК) армированные углеродными, стеклянными и органическими наполнителями применяются во многих отраслях современной техники. В частности, ПК армированные углеродными волокнами – углепластики, обладают наиболее высокими прочностными характеристиками, имеют низкую скорость распространения трещин и хорошее сопротивление усталости, что позволяет конструкциям из этих материалов иметь повышенный срок службы. Композиты, наполненные стеклянными волокнами – стеклопластики, имеют хорошие прочностные и электроизоляционные свойства. Для органопластиков, наполненных полимерными органическими волокнами, характерны высокая прочность при растяжении, способность к аккумулированию повреждений без образования значительных трещин, вязкость и эластичность материала при ударном разрушении и высокие демпфирующие свойства при вибрациях. Сочетание указанных свойств ПК обусловливает использование этих классов материалов для различных целей [1].

Основные характеристики ПК, в основном, зависят от технологии производства и режимных параметров, качества, свойств и соотношения ингредиентов, т.е. полимерной матрицы – связующего и армирующего наполнителя, активности межфазного взаимодействия на границе матрицы и армирующего наполнителя, их микроструктуры. Щелочные или кислотные свойства поверхности наполнителя могут катализировать или ингибировать реакцию отверждения связующего. Как результат скорость реакции отверждения наполненного полимера может иметь существенное отличие от реакции чистого связующего. Различный характер свойств поверхности наполнителя и связующего, а также возможное взаимодействие хорошо развитой поверхности наполнителей, особенно полимерных волокон, со связующим приводят к его сорбции в процессе отверждения, что в значительной мере изменяет кинетику отверждения связующего полимерного композита [1].

Существенное влияние наполнитель оказывает и на теплофизические свойства полимерных композитов, которые сильно зависят от структуры материала, способа укладки слоев волокна или ткани, коэффициента наполнения, содержания связующего, что также объясняется активностью полимерной матрицы на поверхности наполнителя.

На теплофизические свойства полимерных композитов оказывают влияние также технологическое давление прессования и возникновение летучих компонентов реакции отверждения, которые создают пористость материала и концентрацию которых трудно оценить. Это приводит к разбросу теплофи-

зических свойств полимерных композитов на основе одного и того же связующего.

Для исследования влияния армирующего наполнителя на теплофизические свойства были выбраны полимерныеекомпозиты на основе модифицированного эпоксидного связующего ЭДТ-69Н, армированного углеродным ЭЛУР-01, стеклянным Т-10-80 и органическим СВМ наполнителями. Были исследованы объемная теплоемкость $C$ и теплопроводность $\lambda$, отвержденного $C_{от}(T)$, $\lambda_{от}(T)$, неотвержденного $C_{но}(T)$, $\lambda_{но}(T)$ композита и в процессе отверждения $C(T, \beta,\gamma)$, $\lambda$ $(T, \beta,\gamma)$ как функции температуры $T$, степени отверждения $\beta$ и содержания связующего $\gamma$. Теплофизические свойства исследуемых композитов определялись при помощи информационно-измерительной системы исследования процессаеотверждения полимерныхекомпозитов [2].

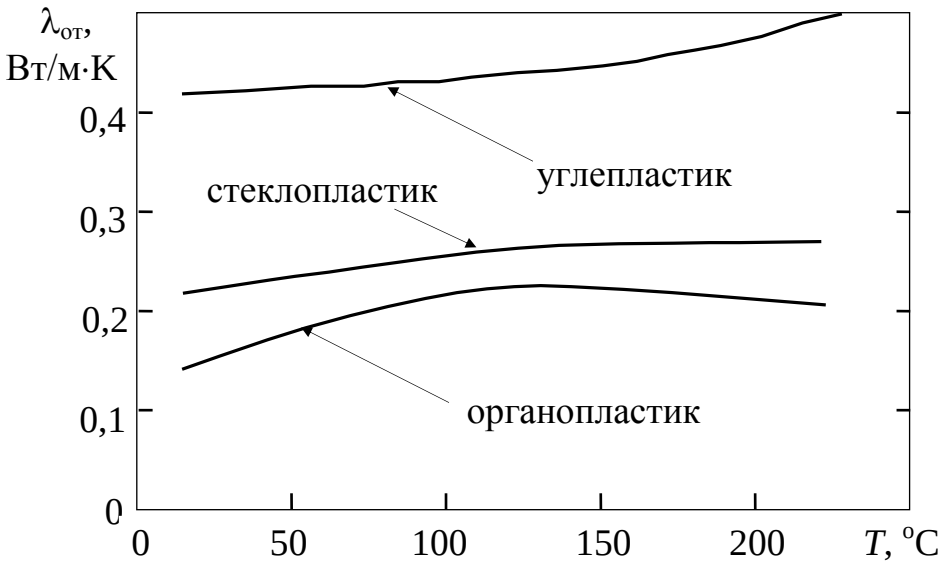



Рис. 1. Сравнение теплопроводности трех типов ПК на основе эпоксидного связующего при $\gamma$=0,5.

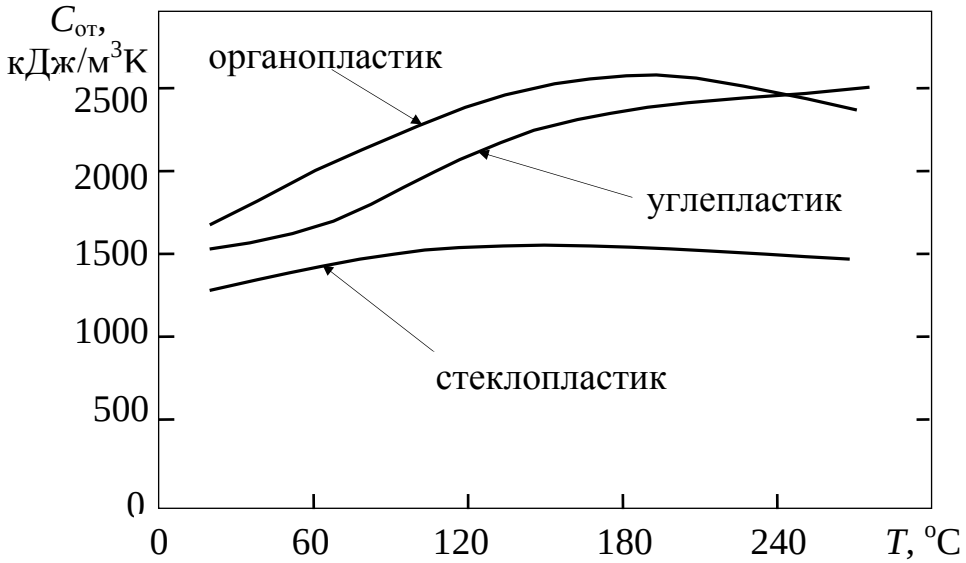



Рис. 2. Сравнение теплоемкости трех типов ПК на основе эпоксидного связующего при $\gamma$=0,5.

Для приготовления исследуемых образцов был использован технологический режим, применяемый для отверждения модифицированного эпоксидного связующего с указанными типами наполнителей. Режим включает две ступени нагрева и отверждения. Первая ступень включает подъем температуры со скоростью 1-3 К/мин до 90 °С, выдержку при Т=90 °С и вакууме 0,7-0,9 атм. в течение t1=30-40 мин; вторая ступень включает подачу давления Р=2 атм., подъем температуры до 125 °С и выдержку при Т=125±5 °С в течение t2=2,5-3 часа. Этот режим, в основном, применяется для изготовления изделий из указанных ПК толщиной 2-5 мм как регламентный.

Для сравнения и анализа влияния типа наполнителя на рис. 1, 2 показаны теплофизические свойства отвержденных ПК исследованных материалов. Углеродный наполнитель имеет теплопроводность почти в 2 раза выше по сравнению со стеклянным наполнителем и более 2-х раз с органическим наполнителем. В результате теплопроводность полученного углепластика в 2 раза выше теплопроводности стеклопластика и органопластика. Отличаются и температурные зависимости теплопроводностей, хотя тенденция роста при увеличении температуры сохраняется для каждого ПК. Температурные зависимости теплоемкости для разных типов композитов также значительно отличаются. Отличается и температура начала реакции отверждения, причем при наполнении связующего органическим волокном температура начала реакции смещается в сторону меньших значений по сравнению со стеклопластиком, а углеволокно смещает начало реакции в сторону большей температуры. Разница теплоемкости при температуре начала реакции отверждения достигают 1,5 – 2-х раз по сравнению со стеклопластиком.

Таким образом, теплофизические свойства и кинетика отверждения существенно зависят от типа наполнителя. Они влияют на теплоперенос внутри материала, на характер экзотермической реакции отверждения связующего и как результат влияют на оптимальный температурно-временной режим отверждения [1, 3]. Исследованные теплофизические свойства полимерных композитов необходимы для компьютерного моделирования процесса и расчета оптимальных температурно-временныхережимовеотверждения изделий из ПК любой толщины [3].

Список используемых источников.

1. Дмитриев, О. С. Влияние типа наполнителя на оптимальные режимы отверждения толстостенных ПКМ / О. С. Дмитриев, В. Н. Кириллов, А. В. Зуев, А. А. Черепахина // Клеи. Герметики. Технологии. – 2011. – № 11. – С. 27-36.

2. Дмитриев, О. С. Интеллектуальная информационно- измерительная система для определения теплофизических характеристик полимерных композитов / О. С. Дмитриев, А. А. Живенкова, А. О. Дмитриев // Вестник ТГТУ. – 2013. – Т. 19. – № 1. – С. 73-83.

3. Дмитриев, О. С. Оптимизация режима отверждения изделий из полимерных композитов на основе клеевых препрегов / О. С. Дмитриев, В. Н. Кириллов, С. В. Мищенко, С. О. Дмитриев // Клеи. Герметики. Технологии. – 2009. – № 5. – С. 17-24.

# СВОЙСТВА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В СИСТЕМЕ SM-SR-FE-O*

**Хвостова Л. В., Волкова Н. Е., Черепанов В. А.**
***Уральский федеральный университет***
***им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург***

В настоящее время человечество с каждым днем потребляет все больше энергии. Соединения с перовскитоподобной структурой, возможно, использовать в качестве катодов твердооксидных топливных элементов, катализаторов дожигания выхлопных газов. Поэтому данный тип соединений имеет большой потенциал, который невозможно реализовать, не зная структуру и свойства.

Поэтому темой данного исследования стало изучение структуры и свойств индивидуальных соединений, образующихся в системе Sm-Sr-Fe-O.

Синтез образцов проводили по стандартной керамической и глицерин-нитратной технологиям. Фазовый состав полученных оксидов контролировали рентгенографически. Определение параметров элементарных ячеек осуществляли с использование программы «CelRef 4.0», уточнение – методом полнопрофильного анализа Ритвелда в программе «FullProf 2008». Кислородную нестехиометрию (δ) сложных оксидов изучали методом термогравиметрического анализа (ТГА) как функцию температуры (в интервале 25 – 1100°C) на воздухе.

Согласно результатам РФА закаленных образцов в системе Sm-Sr-Fe-O при 1100°C на воздухе существуют четыре типа твердых растворов: Sr1-xSmxFeO3-δ, Sr2-ySmyFeO4±δ и Sr3-zSmzFe2O7-δ, Sr4-rSrrFe3O10-δ.

Кристаллическая структура незамещенного феррита стронция SrFeO3-δ удовлетворительно описывается в тетрагональной ячейке (пр.гр. I4/mmm), а твердых растворов на его основе Sr1-xSmxFeO3-δ (0.05≤x≤0.50) - в кубической (пр. гр. Pm3m). Рентгенограммы образцов Sr1-xSmxFeO3-δ (0.85≤x≤1.0), подобно недопированному SmFeO3-δ, были обработаны в рамках орторомбической ячейки (пр. гр. Pbnm).

Сложные оксиды Sr2-ySmyFeO4±δ (0.7≤y≤0.8) имеют структуру типа K2NiF4, кристаллизуются в тетрагональной ячейке пространственной группы I4/mmm.

Согласно рентгенографическим данным сложные оксиды Sr3-zSmzFe2O7-δ образуются в интервале составов 0 ≤ z ≤ 0.3 и при z = 1.8. Дифрактограммы твердых растворов Sr3-zSmzFe2O7-δ (z =0 - 0.3), подобно незамещенному ферриту Sr3Fe2O7-δ, удовлетворительно описываются в рамках тетрагональной ячейки (пр. гр. I4/mmm). Структура образца Sr1.2Sm1.8Fe2O7-δ была описана в рамках тетрагональной сингонии, (пр. гр. P42/mnm).

В литературе существует информация о возможности образования твердых растворов Sr4-rLnrFe3O10-δ для Ln = La при r=1, однако данных о

существовании оксидов с другими РЗЭ обнаружено не было. Для проверки возможности замещения стронция на самарий и образования твердого раствора в ряду Sr4-rSmrFe3O10-δ были приготовлены образцы с различной степенью замещенности. По результатам РФА было установлено образование единственного соединения состава Sr3.1Sm0.9Fe3O10-δ, кристаллизующегося в тетрагональной ячейке пространственной группы I4/mmm с параметрами a= 3.850(1) Å, c= 28.060(1) Å и V= 415.92(3) Å3 (рисунок 1).

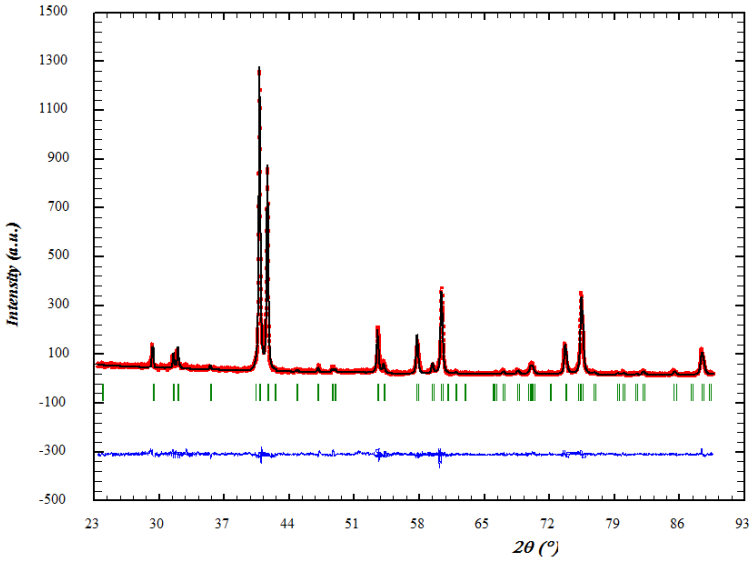



Рис. 1. Рентгенограмма Sr3.1Sm0.9Fe3O10-δ, обработанная по методу Ритвелда.

Абсолютное значение кислородного дефицита определяли методами прямого восстановления образцов в токе водорода и окислительно-восстановительного титрования. Показано, что величина кислородной нестехиометрии δ уменьшается с увеличением содержания самария в Sr1-xSmxFeO3-δ. Соединение Sr1.2Sm0.8FeO4 является строго стехиометричным по кислороду во всем исследованном интервале температур. Величина кислородной нестехиометрии δ для образца состава Sm1.8Sr1.2Fe2O7-δ составляет 0.04.

Показано, что с увеличением концентрации допанта в Sr1-xSmxFeO3-δ значение КТР незначительно уменьшается.

Исследована химическая совместимость сложных оксидов Sr1-xSmxFeO3-δ (x=0-0.5) и Sr2-ySmyFeO4±δ (y=0.8) с материалом электролита топливного элемента в температурном интервале 800-1100°C. Показано, что твердые растворы указанных составов нельзя использовать в качестве электродов топливных элементов, где электролитом является стабилизированный оксид циркония. Если в качестве электролита выступает стабилизированный оксид церия Ce0.8Sm0.2O2-δ, то использование электродов из данных материалов возможно при температурах, не превышающих 1100°C.

**Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-73-00159).*

# ТЕПЛОЕМКОСТЬ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И АМОРФНЫХ ПОРИСТЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

**Игнатов Н. Н., Овсянников П. О., Кузнецов М. А.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
**kuznectam@mail.ru**

Для проектирования технологии эксплуатации месторождений углеводородов, параметров теплового воздействия на продуктивный пласт, режима работы глубинного оборудования, прогнозирования температуры на недостигнутых бурением глубинах необходимы надежные сведения о теплофизических свойствах (прежде всего - теплоемкости и теплопроводности) горных пород различных литологических типов при пластовых давлениях (до 100 МПа) и температурах (до 500 К). Экспериментальные исследования при таких параметрах весьма дороги и трудоемки, в связи с чем нами предложен следующий порядок оценки теплоемкости кристаллических (песчаники) и аморфных (карбонаты) пористых пород. К песчаным породам относят до 60% мировых запасов углеводородов, к карбонатным до 39%.

Горную породу относящуюся к определенному типу можно рассматривать как многокомпонентную твердую смесь (консолидированную или сыпучую) различных минералов. Определив три преобладающих компонента по уравнению Майера-Келли (1) рассчитываем их теплоемкость при заданной температуре Т [2]:

$$C_p = A + B * T - C/T^2 \qquad (1)$$

Значения индивидуальных для каждого минерала коэффициента А, В и С определялись по экспериментальным данным [3, 4]. После этого для карбонатного и песчаного типа горной породы строились их литологические треугольники. Методика построения литологических треугольников в графическом виде представлена на рис. 1 и 2. Для породы, состоящей из кристаллических компонентов установлено, что ее теплоемкость слабо зависит от температуры до 500К (рис.3б).

Зависимость теплоемкости породы от давления исследована мало, но анализируя экспериментальные данные [5], и в рамках современной теории теплоемкости твердого тела можно утверждать, что в рассматриваемой области параметров состояния давление слабо влияет на теплоемкость и при оценочных расчетах им можно пренебречь.

Следует заметить, что подобный подход неприменим для прогнозирования теплопроводности горной породы, так как в нем не учитывается характер теплового сопротивления в контакте между зернами и анизотропия теплопроводности в радиальном и тангенциальном направлениях образца.

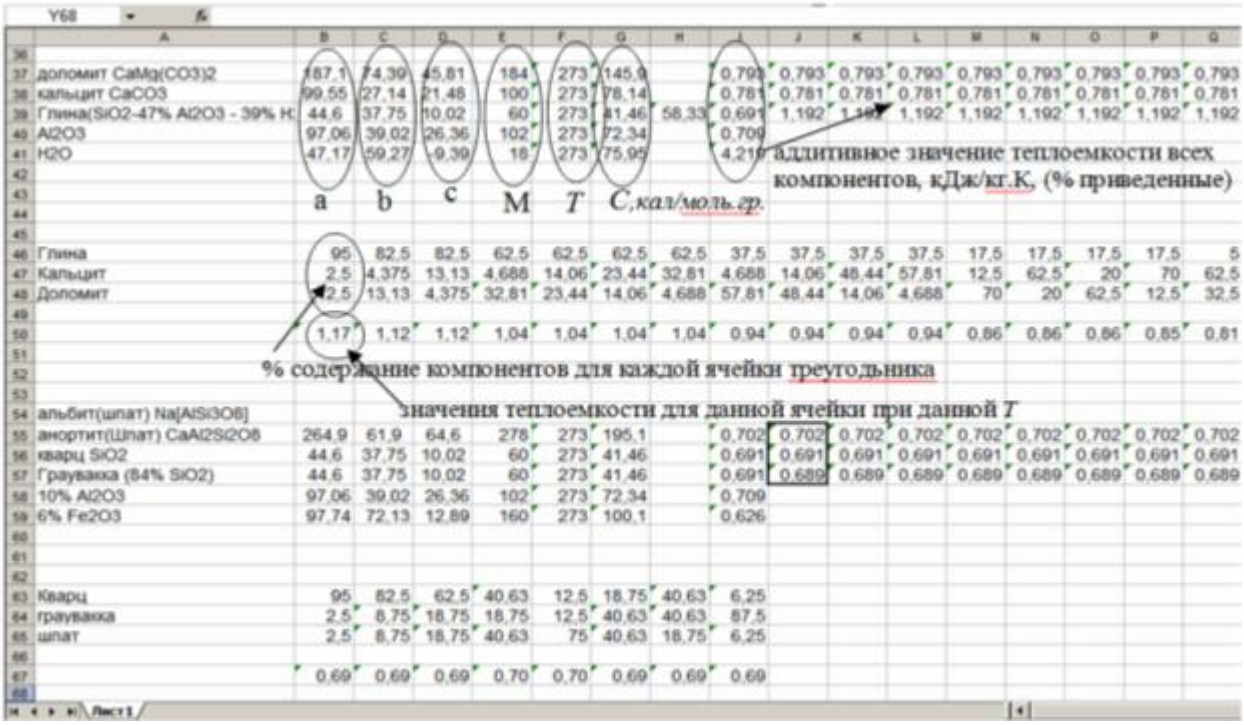



Рис. 1. Последовательность расчета теплоемкости
в узлах литологических треугольников.

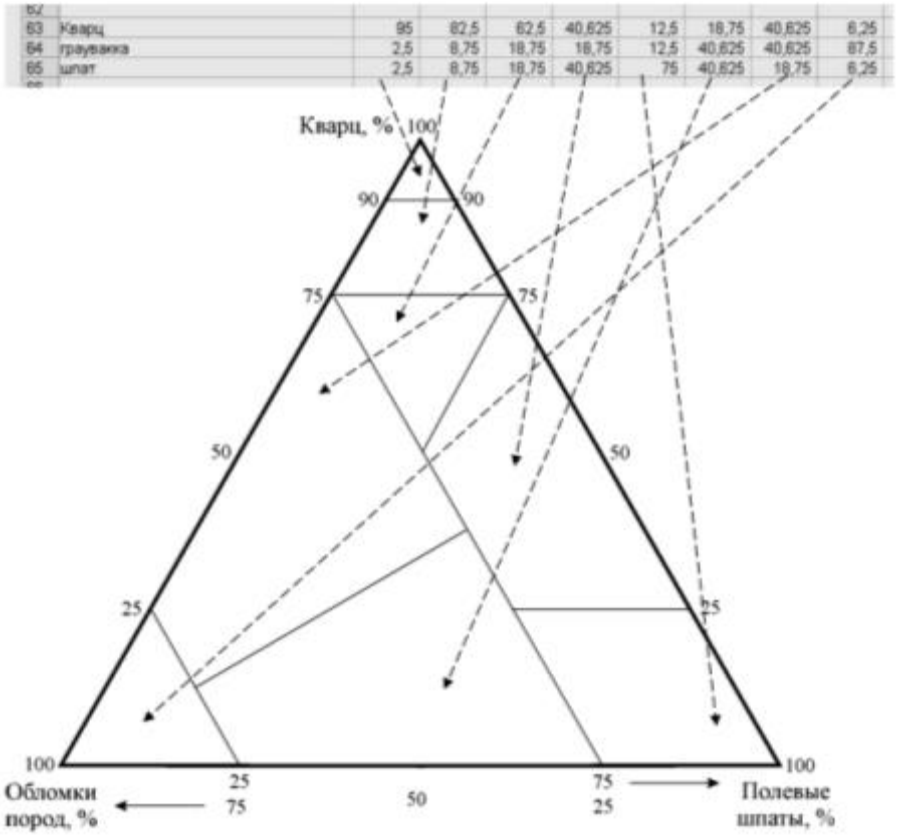
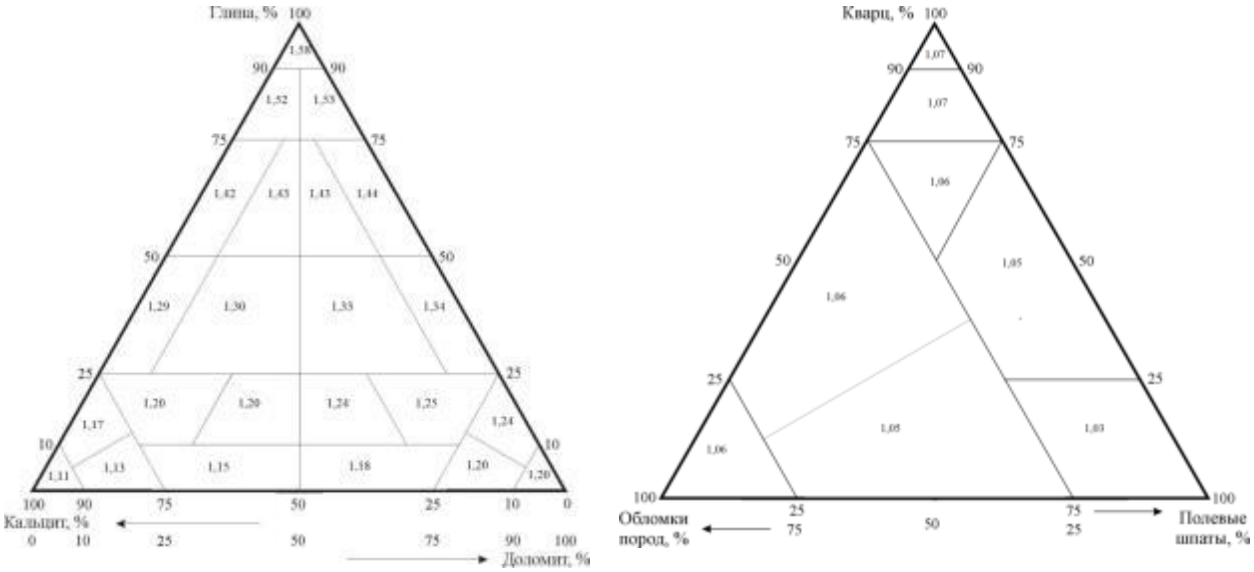



Рис . 2. Схема построения литологических треугольников теплоемкости.




а) б)

Рис. 3. Теплоемкость (кДж/кг*К) карбонатной (а) и песчаной (б) породы при 600К.

Горные породы пластовых резервуаров не зависимо от их типа являются пористыми средами (10 - 30%), насыщенными флюидами (вода, углеводороды в различных агрегатных состояниях), теплоемкость которых, особенно вблизи к критической точке, изменяется на порядок и сильно зависит от порового давления. Соответственно, флюиды вносят основной вклад в величину теплоемкости насыщенной горной породы.

Список используемых источников.

1. Купцов, С. М. Методология прогнозирования теплофизических свойств пластовых жидкостей и горных пород нефтяных месторождений. - Автореф. дисс. докт. техн. наук. – Москва, 2010. – 42 с.

2. Физическое материаловедение. Том 2. Основы материаловедения. Гл. 4. Термодинамика в материаловедении. Учебное пособие. – М.: МИФИ. 2007. – 227 с.

3. Краткий справочник физико-химических величин. Под ред. К. П. Мищенко и А. А. Равделя. – Л.: Химия, 1974. – 200 с.

4. Акинфиев, Н. Н., Епифанова, С. С. Исследования в учебном практикуме по химии (термодинамика). Учебно-практическое пособие – М.: РГГРУ, 2008. – 29 с.

5. Фролов, В. Т. Литология. Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 432 с.

# ВЛИЯНИЕ НАНООБЪЕКТОВ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРУКТУРЫ ИЗ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

**Королева И. Л., Лоскутова А. Д.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
**korolevanpal@yandex.ru**

Пористый кремний – это материал с особыми электрофизическими свойствами [1, 2]. Для изучения свойств были подготовлены два типа ячеек на основе пористого и монокристаллического кремния [3].

Получение пористого слоя осуществлялось с помощью электрохимического травления в растворе плавиковой кислоты. Из нескольких полученных образцов были отобраны два с наиболее равномерной структурой, полученные на подложках n-Si.

Для снятия вольтамперной характеристики к измерительной ячейке подавалось напряжение, контролируемое по показаниям вольтметра, а показания тока снимались миллиамперметром включенного последовательно в цепь.

Было проведено несколько опытов (рисунок 1): снятие кривой ВАХ чистой ячейки; с нанесением дистиллированной воды; с нанесением фуллеренов в растворе толуола; через 2 суток для испарения фуллеренов с поверхности; после отжига при 100 °С в вакууме; с нанесенными нановолокнами углерода.

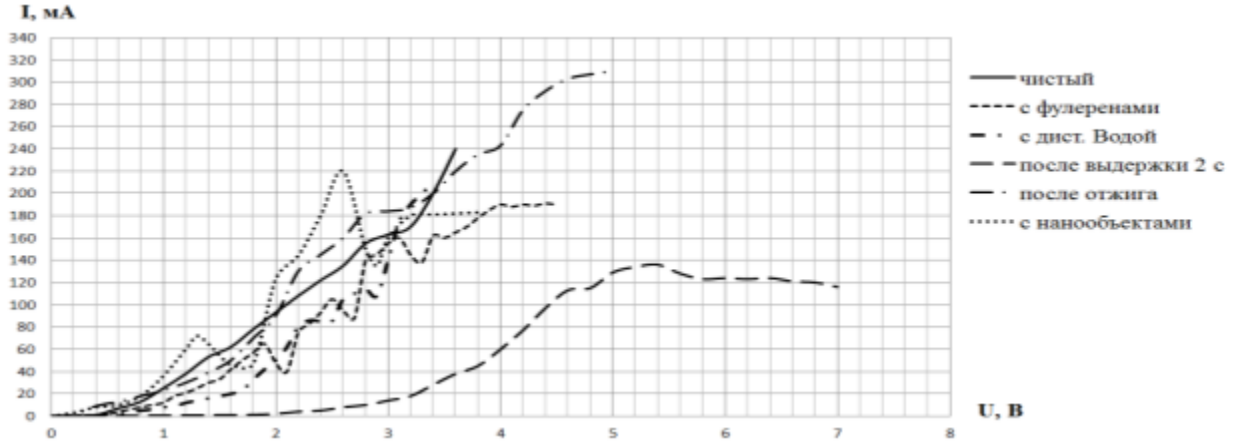



Рис. 1. Вольтамперная характеристика образца на подложке n-Si.

Из графиков ВАХ видно изменение свойства пористой структуры при нанесении на их поверхность низкоразмерных объектов. Кроме того, после удаления с поверхности образца воды или нанообъектов происходит выравнивание кривых ВАХ.

В результате, можно предположить, что пористый кремний можно использовать в качестве датчиков обнаружения нанообъектов. Однако количественных показаний такой прибор дать не может. Для более точной градуировки необходимо проведение дополнительных исследований.

Список используемых источников.

1. Королев, А. П. Эффективный подход в описании наноразмерных процессов в полевой структуре на монокристаллическом кремнии / А. П. Королев, М. В. Макарчук // Тезисы докладов 2-ой Международной конференции с элементами научной школы «Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах», 2015. – С. 132-133.

2. Королев, А. П. Porous silicon is for environmental monitoring / А. П. Королев, М. В. Макарчук, Н. Б. Бадирова // В. И. Вернадский: устойчивое развитие регионов: материалы Международной научно-практической конференции, 2016. – С. 159-163.

3. Пятибратов, И. С. Современные проблемы измерения температуры полупроводниковыми датчиками / И. С. Пятибратов, М. В. Сертаков, А. П. Королев // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы VIII Международной научно-инновационной молодёжной конференции, 2016. – С. 192-193.

# ТВЕРДОФАЗНАЯ ЭКСТРУЗИЯ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПА-6

**Лутовинова Т. А., Чуприкова А. А.**

***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

В работе исследуется процесс пластического деформирования наномодифицированных полимерных материалов на основе полиамида ПА-6 на примере твердофазной плунжерной экструзии (ТФЭ) при экструзионном отношении λэкс=2,52, λэкс=2,07 и λэкс=1,517. В качестве модифицирующих веществ применяли углеродные нанотрубки (УНТ) «Таунит» (производства ООО «Нанотехцентр», Россия, г.Тамбов) с наружным диаметром 8-15 нм и длиной 2 и более мкм в виде сыпучего порошка.

Смешение материалов происходило в шаровой мельнице, диаметр мелющих тел – 10 мм. Последующая переработка осуществлялась на шнековом экструдере с отношением L/D = 30 / 450 мм.

В качестве заготовок использовали прутки диаметром 0,005 м и длиной 0,015 м, полученные жидкофазным формованием (ЖФ).

ТФЭ наномодифицированных полимер-углеродных материалов проводилась при температуре окружающей среды (298 К) и при нагреве образцов до 363 К.

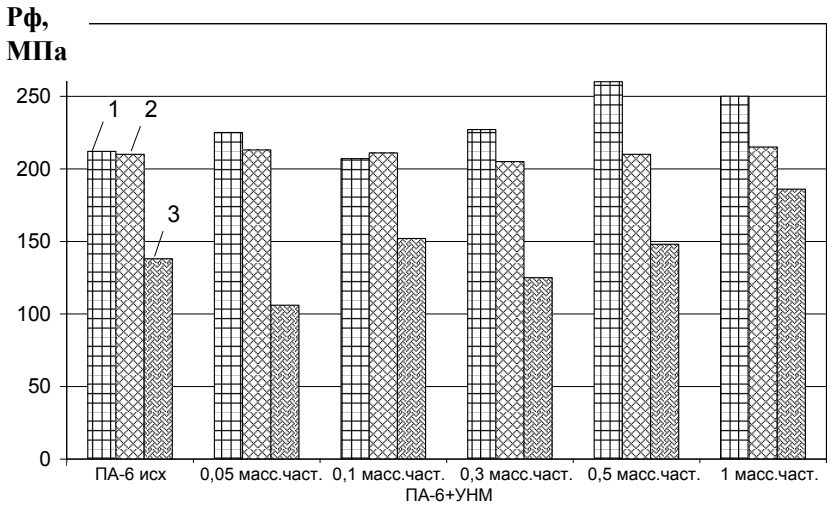



Рис. 1. Диаграмма изменения необходимого давления формования Рф образцов системы ПА-6 + УНМ, экструдированных при Тэкс=363 К и λэкс=2,52 (1), λэкс=2,07 (2), λэкс=1,517 (3) в зависимости от содержания УНМ.

В работе показано, что предварительный нагрев до Тэкс= 393 К позволяет значительно снизить необходимое давление формования в режиме ТФЭ (рис. 1) и получить экструдаты с более качественной поверхностью. Наряду со снижением необходимого давления формования при Тэкс=363 К отмечено снижение модуля упругости в 2-3 раза. Проведенные исследования показали, что применение УНТ позволяет снизить коэффициент разбухания экструдатов, что позволяет повысить размерную точность изделия.

Список используемых источников.

1. Шапкин, К.В. Твердофазная обработка давлением полимерных композитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена / Шапкин К.В., Иванов С.А., Завражин Д.О., Дмитриев В.М., Баронин Г.С. // Перспективные материалы. – 2011. – № 11. – С. 455-461.

2. Сравнительные молекулярно-релаксационные и структурно-механические характеристики композитов на основе СВМПЭ / Г. С. Баронин, А. М. Столин, В. М. Поликарпов, К. В. Шапкин, Д. В. Пугачев, Д. О. Завражин, С. Е. Звездин, Д. Е. Кобзев // Химическая технология. – 2009. – Т. 10. – № 1. – С. 16-21.

3. Формирование структурно-механических свойств наномодифицированных полимерных материалов в условиях твердофазной плунжерной экструзии // Д. О. Завражин, Г. С. Баронин, В. В. Худяков // Письма о материалах. – 2014. – Т. 4. – № 3 (15). – С. 182-185.

4. Исследование процесса интенсивной пластической деформации материалов на основе ПА-6 / Д. О. Завражин, Г. С. Баронин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2012. – № S (43). – С. 20-23.

# ВЛИЯНИЕ РАДИАЛЬНО-СДВИГОВОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА ХН58МБЮД*

**Бикмухаметова А. А.[1, 2], Галиева Э. В.[1], Валеев И. Ш.[1]**
*[1]Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа*
*[2]Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа*
***Bikmukhametova_aa@mail.ru***

Известно [1], что жаропрочные никелевые сплавы используют для изготовления различных деталей газотурбинных и ракетных двигателей, работающих при высоких температурах. Такие сплавы являются труднодеформируемыми и имеют низкую технологическую пластичность [1].

Повышение технологических и прочностных свойств возможно за счёт сверхпластической (СП) деформации, которая может быть достигнута путем формирования в этих сплавах ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры. Во многих случаях целесообразно сформировать УМЗ структуру только в приповерхностных слоях прутка, т.е. сформировать в нем градиентную структуру. Подобное структурное состояние возможно достигнуть за счет интенсивной пластической деформации (ИПД), а именно радиально-сдвиговой прокатки (РСП), особенностью которой является сложная схема напряженно-деформированного состояния, приводящая к возникновению в периферийной приповерхностной зоне прокатываемой заготовки максимальных сдвиговых деформаций, которые уменьшаются в направлении центральной зоны [2,3]. В результате этого в прокатанной заготовке может быть сформирована градиентная по сечению прутка структура. Последнее обусловливает получение градиентных свойств, изменяющихся от центра к наружной поверхности прокатанной заготовки.

Целью работы является исследование влияния РСП на формирование градиентной структуры в никелевом сплаве ХН58МБЮД.

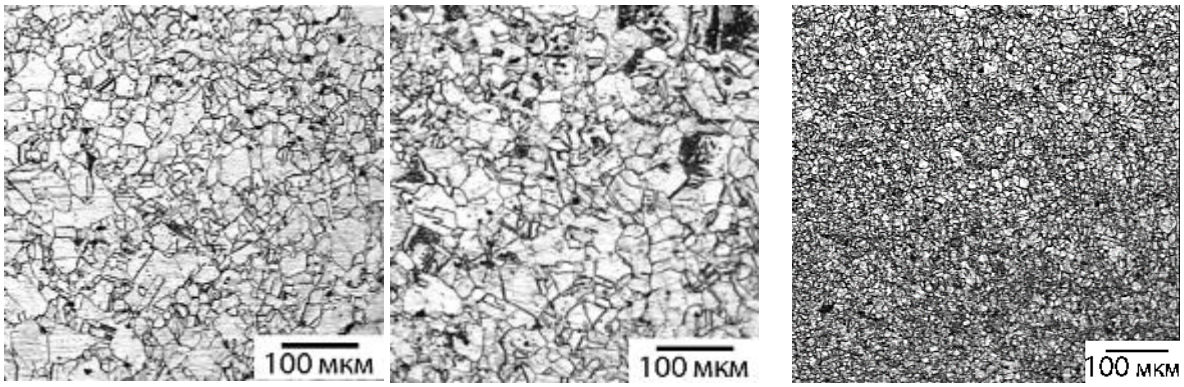
**Материалы и методики исследования**

Материалом исследования были выбраны цилиндрические образцы с начальным диаметром d=21 мм и длиной L=65 мм из жаропрочного никелевого сплава ХН58МБЮД (ЭК61) с исходной крупнозернистой (КЗ) структурой. Образцы деформировали на стане РСП – 30 [4] при температуре T=925 °C за 3 этапа. Диаметр прутка при РСП за 3 перехода уменьшался постепенно до 17,3 мм (1-й этап прокатки), 13,6 мм (2-й этап прокатки) и 12,7 мм (3-й этап прокатки). При этом $К_в$ на каждом этапе прокатке составил 1,47; 1,62; 1,14 соответственно, а конечный $К_в$ равен 2,73.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Сплав ЭК61 в исходном состоянии имеет КЗ структуру со средним размером зерен $\gamma$ - фазы $62^{\pm 2}$ мкм, с наноразмерными частицами $\gamma''$ - фазы $40^{\pm 2}$ нм [5]. РСП приводит к существенным изменениям в структуре. На рисунке 1 показана эволюция структуры от центра до периферии после 3 этапов

прокатки. Как видно из рисунка 1, после прокатки с Ø21 мм до Ø17,3 мм (1 этап прокатки) максимальный размер зерен образуется в центр образца, размер которых равен $51{,}2^{\pm 3{,}7}$ мкм. Также можно заметить постепенное уменьшение размера рекристаллизованных зерен переходя от центра к периферии по радиусу, где средний размер зерна равен γ - фазы $15{,}2^{\pm 2{,}1}$ мкм (Рисунок1в).

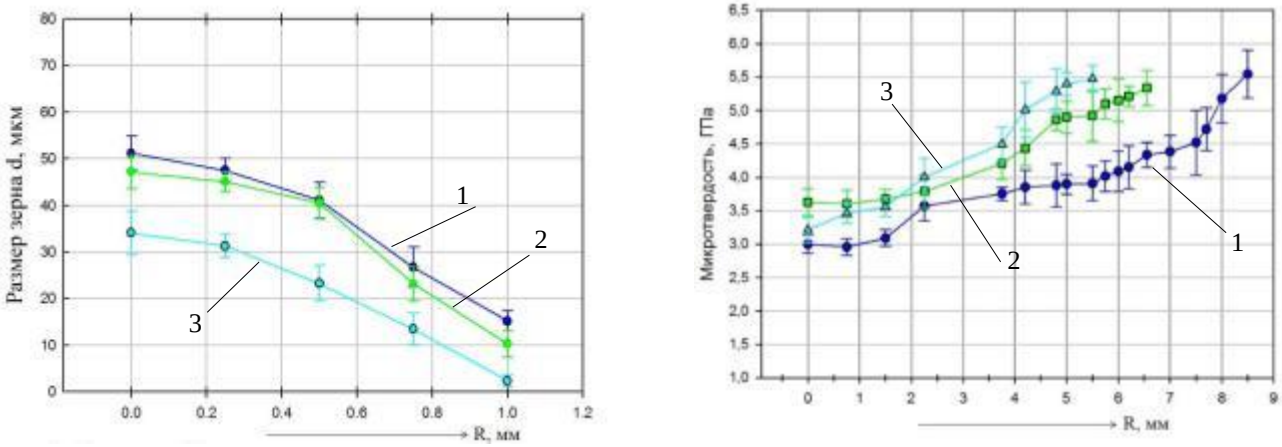



*а* *б* *в*

Рис. 1. Микроструктура исследуемого сплава ЭК61 с $К_в$=1,47:
а - центр образца; б - 0,5R; в - 0,99R, оптическая микроскопия (ОМ).

Наиболее существенные изменения произошли после третьего этапа РСП с Ø13,6 мм до конечного диаметра Ø12 мм (3 этап прокатки). После прокатки до конечного диаметра с суммарным коэффициентом вытяжки $К_в$ =2,74 размер зерен γ – фазы в центре прутка составил $34{,}1^{\pm 4{,}7}$мкм, в радиальном направлении монотонно уменьшился до $2{,}4^{\pm 1{,}7}$ мкм. Т.е. в приповерхностных слоях прокатанной заготовки сформировалась УМЗ структура.

На рисунке 2 приведена зависимость среднего размера зерна γ-фазы (а) и микротвердости (б) от расстояния в радиальном направлении.




*а* *б*

1 - Прокатка с D = 21 до 17,3 мм; коэффициент вытяжки $К_в$ = 1,47
2 - Прокатка с 17,3 до 13,6 мм; коэффициент вытяжки $К_в$ = 1,62
3 - Прокатка с 13,6 до 12,7 мм; коэффициент вытяжки $К_в$ = 1,14

Рис. 2. График изменений в радиальном направлении прокатанной заготовки:
а - среднего размера зерен; б – микротвердости.

Из приведенного рисунка 2б видно, что микротвердость монотонно изменяется в радиальном направлении. В центре образца наблюдается минимальное значение идентично всем трем этапам прокатки и составляет 3,3 ГПа. При этом, постепенно возрастая с переходом в периферийную зону. На периферии наблюдается пик значений микротвердости~5,4 ГПа, характерный для всех трех этапов прокатки. Вероятно, такое изменение микротвердости связано с эффектом Холла-Петча, когда характеристики предела текучести и в данном случае микротвердости материала увеличиваются с уменьшением размера зерен.

**Выводы**

1. РСП позволяет сформировать в прокатанной заготовке из сплава ХН58МБЮД градиентную структуру, в которой имеет место изменение в радиальном направлении размера рекристаллизованных зерен $\gamma$ – фазы от крупнозернистой ($34{,}1^{\pm 4{,}7}$ мкм) в центре до УМЗ структуры ($2{,}4^{\pm 1{,}7}$ мкм) на периферии, т.е. в приповерхностных слоях прутка.

2. Градиентное изменение микроструктуры в радиальном направлении прутка после РСП приводит к градиентному изменению микротвердости в поперечном сечении прутка. В центре прутка, где сформирована крупнозернистая структура значение микротвердости равно 3.3 ГПа, а в периферийной приповерхностной зоне, где сформирована УМЗ структура микротвердость возрастает до 5.4 ГПа.

**Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 18-19-00685.*

Список используемых источников.

1. Симс, Ч. Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок. / Ч. Симс, Т. Столофф, В. Хагель // В 2-х кн. - Пер. с англ. – М.: Металлургия. 1995. 568 с.
2. Валеев, И. Ш. Влияние радиально-сдвиговой прокатки на структуру алюминиевого сплава Д16 / И. Ш. Валеев, А. Х. Валеева, Р. Ф. Фазлыахметов, Г. Р. Халикова // Материаловедение. – 2010. – №7. – С. 27 – 30.
3. Валеев, И. Ш. Изменение микротвердости и микроструктуры меди М1 при радиально-сдвиговой прокатке / И. Ш. Валеев, А. Х. Валеева // Письма о материалах. – 2013. – Т. 3. – № 1 (9). – С. 38-40.
4. Патент РФ № 2009737, МКИ B21B19/02. / Б. А. Романцев, В. К. Михайлов, С. П. Галкин, М. Г. Дегтярев, Б. В. Карпов, А. П. Чистова.
5. Валитова, Э. В. Влияние скорости и температуры деформации на микроструктуру и свойства ультрамелкозернистого свариваемого сплава ХН58МБЮД / Э. В. Валитова, Р. Я. Лутфуллин, В. А. Валитов // Перспективные материалы. – 2013. – № 15. – С. 30 - 34.

# СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БАЗАЛЬТОВЫХ НИТЕЙ

**Гришанов И. М., Герасимова В. М., Зубова Н. Г.**
***Балаковский инженерно-технологический институт (филиал) НИЯУ МИФИ, Балаково***
***grishanow.ilya@yandex.ru***

Возросшие требования к полимерным композитам, в том числе конструкционного и инженерно-технического назначения, наиболее полно отвечающие потребностям современной техники, стимулируют разработку полимерных композиционных материалов (ПКМ) с повышенными эксплуатационными характеристиками. Эта задача решается путём управления процессами формирования структуры при отверждении полимерной матрицы в присутствии волокнистого наполнителя и усиления адгезионного контакта между ними для равномерного и полного распределения внешней нагрузки от полимерной матрицы, обеспечивающей защиту волокнистых наполнителей от внешних воздействий, к армирующим волокнам и нитям.

Следует отметить, что при разработке ПКМ и формировании защитных покрытий из них, использование химических модификаторов является одним из наиболее эффективных способов повышения эксплуатационных характеристик композитов.

В связи с этим целью данного исследования являлось изучение структурных особенностей и свойств композиционных материалов на основе эпоксидного связующего (ЭД-20) и базальтовой нити (БН), модифицированной кремнийорганическим аппретом А-187.

В работе [1] были представлены данные об активном влиянии органосиланольных аппретов на физико-механические свойства БН, а также на адгезионные и структурные характеристики обработанных волокнистых систем. На основании проведённого анализа для дальнейших исследований были выбраны следующие режимы обработки БН водным раствором аппрета: концентрация раствора 5±0,3 %; продолжительность процесса модификации 60±3 с.

Для изучения влияния модифицированных БН на отверждение полимерной матрицы проведено исследование кинетики процессов формирования структуры композитов на их основе. Из анализа кинетических процессов, представленных на рисунке 1, следует, что отверждение эпоксидного связующего в присутствии волокнистого наполнителя (кривая 2) приводит к более интенсивному росту температуры отверждения, но при этом значительному снижению её максимальных значений по сравнению с ненаполненной матрицей (кривая 1). Аналогичное влияние на формирование пространственно-сшитой эпоксидной матрицы оказывает и присутствие модифицированных БН (кривая 3).

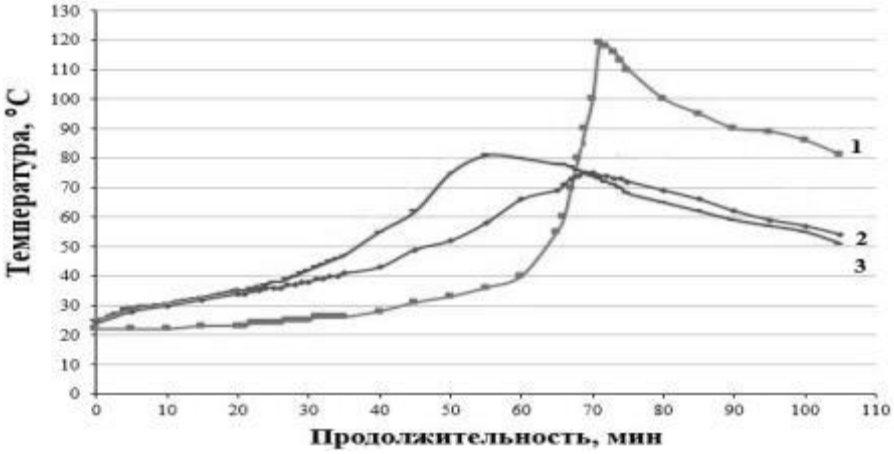



Рис.1. Кинетические кривые отверждения: 1- ЭД-20; 2-ЭД-20+БН; 3-ЭД-20+БН+А-187.

Очевидно, это происходит за счет введения в композицию дополнительных функциональных групп, присутствие которых подтверждается данными ИК-спектроскопии эпоксипласта на основе модифицированных А-187 базальтовых нитей (рисунок 2).

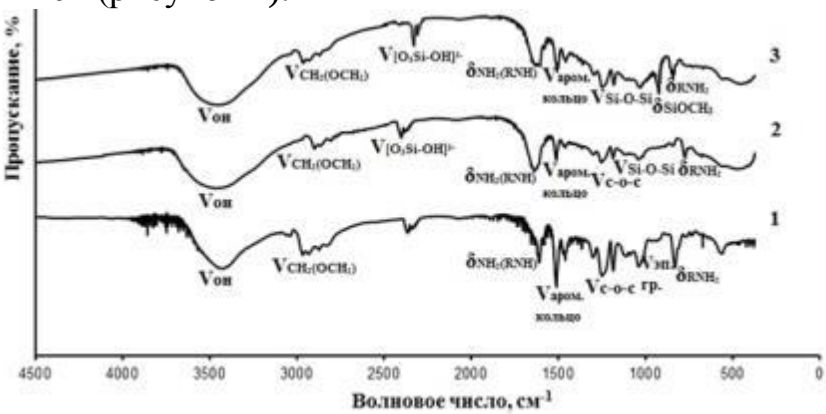



Рис. 2. ИК-спектры исследуемых армирующих систем:1-ЭД-20; 2-ЭД-20+БН; 3-ЭД-20+БН+А-187.

Анализ ИК-спектров показывает, что для спектра ЭД-20+БН (кривая 2) наблюдается наличие относительно интенсивной полосы поглощения с максимумом при 3420 см-1, которая обусловлена валентными колебаниями адсорбированных молекул воды (группа -OH), а пики при 1650 и 1550 см-1 свидетельствуют о наличии деформационных колебаний вторичных и первичных аминогрупп (R2NH и RNH2 соответственно), а также характеризуется снижением интенсивности валентных колебаний группы –CH2(OCH2) в области 2900-2875 см-1 и ароматического кольца при 1505 см-1 в сравнении с ненаполненной матрицей (кривая 1). В отличие от спектра ЭД-20 (кривая 1) в спектре ЭД-20+БН наблюдается появление пика в области 1100-1000 см-1, соответствующего группе –Si-O-Si, а также валентных колебаний OH-групп, входящих в состав анионов [O3Si-OH]3- в области 2400-2360 см-1, характерных для базальтовой нити.

Спектральная картина ЭД-20+БН+А-187 (кривая 3) отличаются от спектра ЭД-20 (кривая 1) и ЭД-20+БН (кривая 2). В частности, происходит

сокращение интенсивности пика в областях 1505 и 1245-1030 см-1. В данных спектрах также присутствует пик в области 2400-2360 см-1, соответствующий валентным колебаниям ОН-группы, входящий в состав анионов [O3Si-OH]3-, а в области 1100-1000 см-1 наблюдается наличие валентных колебаний группы -Si-O-Si. Кроме того, появляется пик при 850 см-1, соответствующий группе -SiOCH3 как результат модификации базальтовых нитей А-187. В то же время в спектрах также сохраняются валентные колебания групп -OH (3420 см-1), -CH2(OCH2) в области 2900-2875 см-1 и деформационные колебания групп вторичных и первичных аминогрупп в областях 1650-1550 и 650 см-1, соответствующих отверждённой эпоксидной матрице.

Проведённый анализ ИКС и исследования кинетических особенностей процесса отверждения эпоксидного композита на основе модифицированных БН свидетельствует о повышении физико-химической совместимости в системе полимерное связующее/аппретированный волокнистый наполнитель.

Кроме того, повышение адгезионного сродства в КМ на основе модифицированной нити по сравнению с армированием эпоксидной матрицы немодифицированными БН способствует активному формированию трансграничных слоёв, повторяющих слоевую морфологию волокнистого наполнителя, и формированию монолитного материала (рисунок 3).

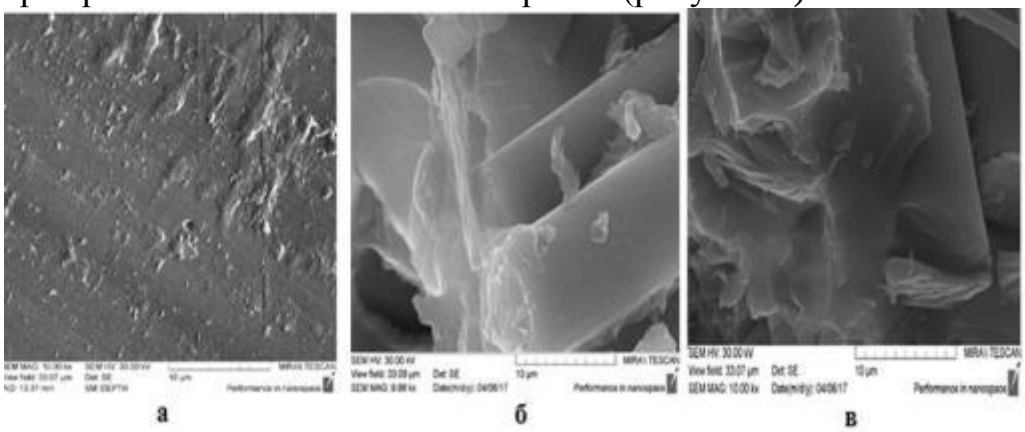



Рис. 3. Данные сканирующей электронной микроскопии (n=10000):
а-ЭД-20; б-ЭД-20+БН; в-ЭД-20+БН+А-187

Следствием этого является максимальная реализация армирующих свойств исследуемых модифицированных нитей, что приводит к значительному повышению основных деформационно-прочностных показателей композитов на их основе. Так, разрушающее напряжение при растяжении увеличивается на 84 %, при изгибе на 61 %, ударная вязкость на 73 %, твердость по Бринеллю на 93 %, что позволяет рекомендовать модифицированные базальтовые нити в качестве армирующих наполнителей в технологии эпоксидных композитов.

Список используемых источников.

1. Герасимова, В. М. Исследование эффективности модификации базальтовых нитей органосиланами / В. М. Герасимова, Н. Г. Зубова, Т. П. Устинова // Химические волокна. – 2017. – № 6. – С. 8-10.

# ПРИМЕНЕНИЕ СВЧ НАГРЕВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ НЕНАСЫЩЕННЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

**Васинкина Е. Ю., Калганова С. Г., Арзамасцев С. В., Щербаков А. С.**
***Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина***
**bort740@mail.ru**

Известно, что скорость протекания большого количества химико-технологических процессов можно регулировать изменением температуры. Использования энергии СВЧ электромагнитного поля для нагрева открывает имеет большие преимущества по сравнению с традиционными схемами нагрева путем электронагрева, использования различных теплоносителей и т.д.

Обработка материалов с помощью СВЧ демонстрирует большое количество перспективных преимуществ по сравнению с традиционными технологиями нагрева, например, улучшенное качество изделия, сокращение временного интервала управления процессом, экономию энергии и затрат на энергию благодаря более высокому КПД, снижение уровня загрязнения окружающей среды, незначительные расходы по содержанию оборудования и более высокую гибкость установки.

Объектами исследования служили полиэфирные смолы производства ОАО «Пермские полиэфиры». Это связано с тем, что помимо решения задачи по импортозамещению, ненасыщенные полиэфирные смолы широко используются, они способны отверждаться при комнатной или невысокой температуре без выделения каких-либо побочных продуктов. Это позволяет изготавливать на их основе изделия при низких давлениях, что имеет существенное значение, как с экономической, так и с технологической точек зрения.

Для проведения исследований использовалась усовершенствованная СВЧ-камера на базе промышленно выпускаемой бытовой печи Panasonic NN-ST251W.

Одной из главных проблем при использовании СВЧ-нагрева является обеспечение равномерности, поскольку для многих полимеров локальный перегрев достаточно критичен, приводит к деструктивным процессам и снижению прочностных характеристик.

Равномерность нагрева печи в различных точках внутреннего объема используемой камеры определялась при помощи тепловизора модели TESTO-881-2.

Усовершенствованная камера СВЧ-нагрева имеет высоту 170 мм. Нижний уровень расположения материала, обусловленный конструкционными особенностями камеры, принимали за 1. Каждый последующий уровень (2, 3 и т.д.) устанавливали выше предыдущего на 15 мм. В качестве тестового материала, на котором проводились замеры температуры, использовали ткань с высокой влаговпитывающей способностью.

Анализ теплограмм показывает достаточно высокую неравномерность нагрева, а, следовательно, и неравномерность распространения СВЧ-волн в объеме использованной для эксперимента камеры (рис. 1).

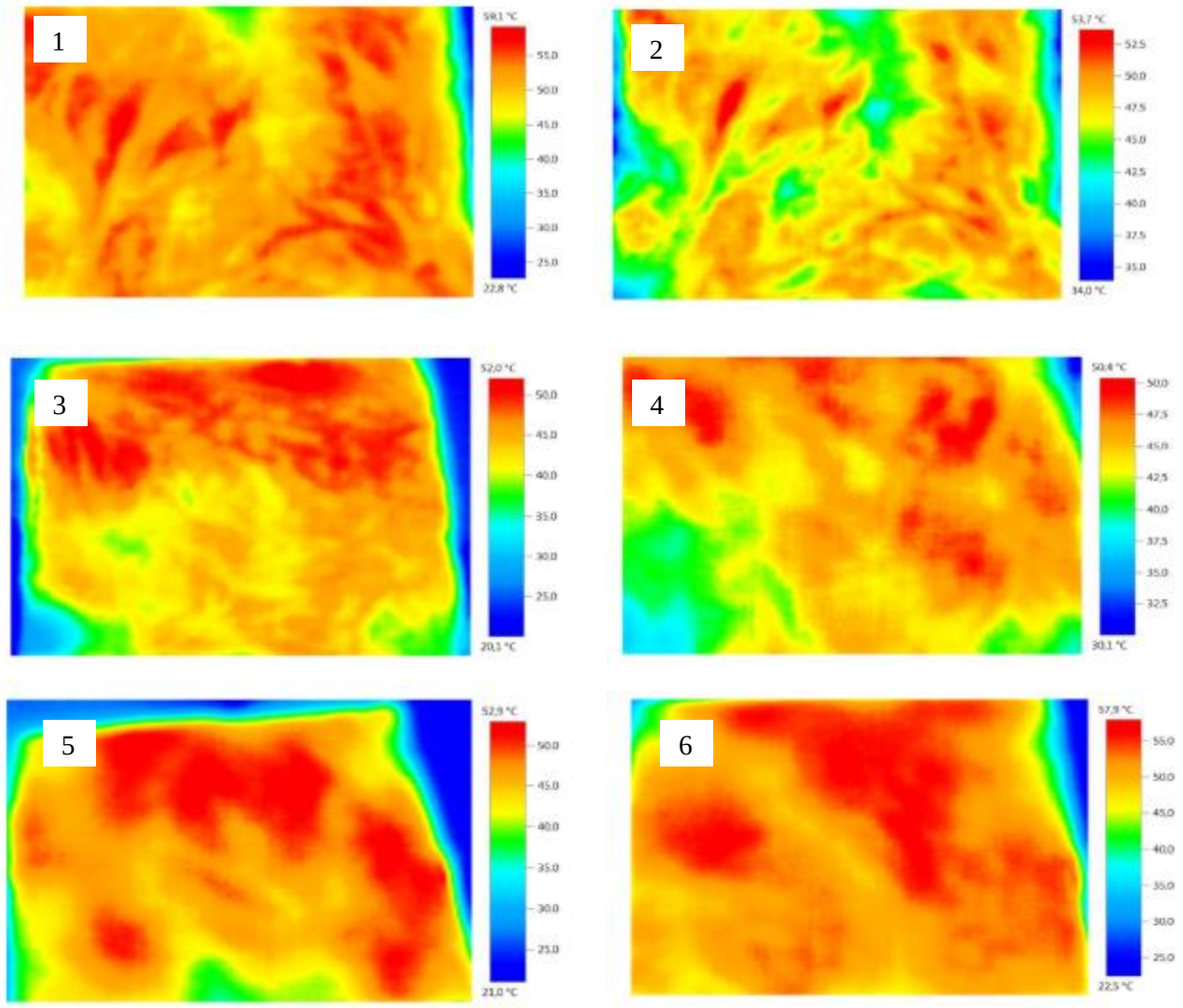



Рис. 1. Теплограммы, характеризующие неравномерность нагрева в СВЧ-камере на различных уровнях (1 – нижний уровень, дно камеры; 2, 3, 4, 5 и 6 – уровни соответственно 15, 30, 45, 60, 75 мм от дна камеры).

На всех уровнях в результате нагрева в течение 1 минуты при максимальной мощности имеются области, отличающиеся по температуре на 10-150С. При условии непрерывного движения полиэфирной смолы через камеру, либо нагрева некоторого количества смолы требуется дополнительное перемешивание для достижения однородности температурного поля.

Для оценки скорости нагрева сравнивали кривые нагрева воды и полиэфирной смолы в камере при одинаковых мощностях.

Установлено, что скорость нагрева воды при увеличении массы нагреваемого материала снижается (рис. 2).

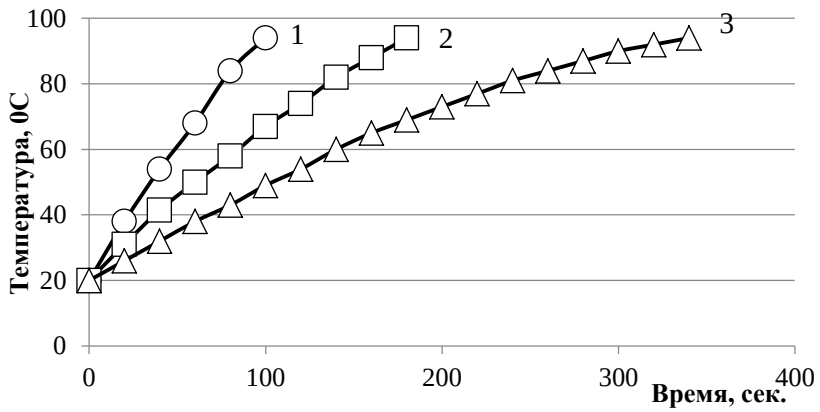



Рис. 2. Скорость нагрева воды в используемой СВЧ-камере:
1 – 100 гр.; 2 – 200 гр.; 3 – 300 гр.

Нагрев ненасыщенной полиэфирной смолы происходит существенно интенсивнее (рис. 3)

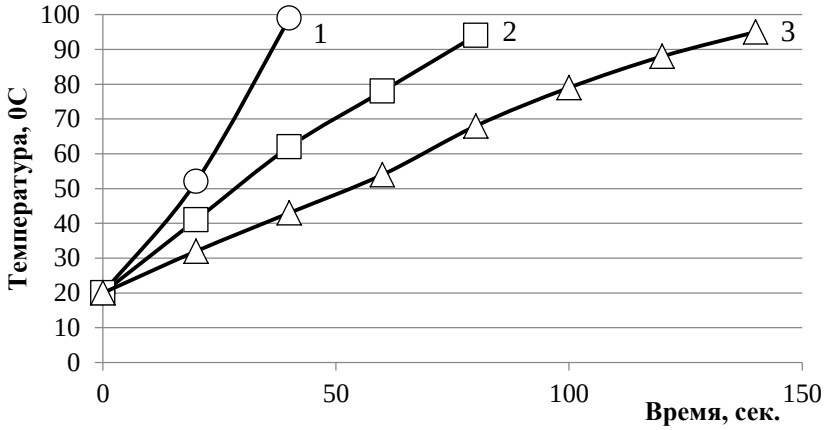



Рис. 3. Скорость нагрева ненасыщенной полиэфирной смолы
в используемой СВЧ-камере. 1 – 100 гр.; 2 – 200 гр.; 3 – 300 гр.

Таким образом, использование СВЧ для нагрева полиэфирной смолы до нужной температуры позволит существенно снизить энергозатраты. Однако, для равномерности нагрева требуется либо использование камеры, в которой эта равномерность обеспечивается, либо необходимо производить перемешивание для усреднения температуры. Ввиду более высокой степени поглощения волн в диапазоне 2,45 ГГц, полиэфирная смола очень интенсивно разогревается, однако, поскольку при отверждении смолы происходят энкзотермические реакции и выделяется достаточно большое количество теплоты, требуется контролировать процесс сшивки олигомеров в условиях реально осуществляемого технологического процесса, поскольку неконтролируемое выделение тепла может привести к деструкции полиэфирной матрицы, что неминуемо снизит характеристики готовых изделий.

Список используемых источников.

1. Калганова, С. Г. Электротехнология нетепловой модификации полимерных материалов в СВЧ электромагнитном поле: автореф. дис. докт. техн. наук. – Саратов, 2009. – 34 с. 28.

# СВС КЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЭВТЕКТИКИ AL2O3-ZRO2

**Чижиков А. П., Бажин П. М., Столин А. М.**
***Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук, Черноголовка***
***chij@ism.ac.ru***

Оксид алюминия является одним из наиболее распространенных видов керамики, применяемой в промышленности благодаря наличию ряда физико-механических свойств: высокая твердость, коррозионная стойкость, термическая стабильность, доступность сырья. Однако керамика на основе Al2O3 имеет некоторые недостатки: хрупкость и низкая трещиностойкость, что ограничивает ее применение в условиях абразивного изнашивания. Трещиностойкость и износостойкость керамики на основе Al2O3 повышается при ее легировании оксидом циркония. Повысить механические свойства корундовой керамики можно также за счет ее модифицирования твердыми частицами: WC, TiC, TiB2, ZrB2, Ti (C, N) и WB.

В настоящей работе в качестве модифицирующих фаз были исследованы соединения на основе боридов циркония и вольфрама. ZrB2 обладает высокой температурой плавления, имеет уникальное сочетание свойств: химическая стабильность, высокая электро- и температуропроводность, а также сопротивление эрозии/коррозии, что делает его пригодным для химически и термически агрессивных сред. Соединения боридов вольфрама обладают высокой твердостью, химической инертностью, сопротивлением термоудару и коррозии, и электропроводностью. Сочетание указанных свойств должно привести к повышению физико-механических свойств материалов на основе оксидной керамики.

Данная работа направлена на получение керамического порошкового материала на основе оксидной эвтектики Al2O3 - ZrO2 с упрочняющими фазами ZrB2 и WB методом СВС из исходных компонент B2O3, Al, Zr, W, B. Данный материал может быть использован в качестве режущей керамики, в качестве материала для изготовления шиберных затворов для разливки стали, а также в качестве огнеупорных материалов.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ЗАТОЧКИ ЗОНДА В ТУННЕЛЬНОЙ МИКРОСКОПИИ

**Буренина А. И.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***annaburenina266@gmail.com***

В электронной микроскопии применяются зонды из различных тугоплавких металлов, в данном случае из вольфрама. В идеале заточенный зонд должен иметь форму остроконечной иглы, что позволит увеличить разрешающую способность микроскопа [1] (рис. 1).

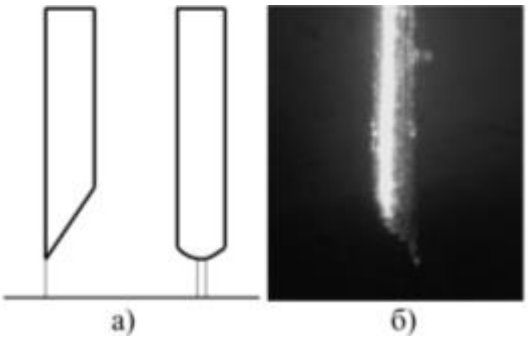



Рис.1 Профиль зонда: а) эскиз зонда, б) фото зонда, увеличение 500х.

Существует несколько способов заточки зонда для сканирующей электронной микроскопии: электрохимический, с использованием специальных травителей, и механический, с использованием ножниц. Эти способы заточки имеют свои преимущества и недостатки.

При электрохимическом травлении на зонде происходят химические реакции, что ведет к появлению разных химических соединений на рабочей поверхности, что негативно сказывается на качестве проводимости тока, а следовательно, на четкости изображения. Чтобы это избежать следует проводить ряд изоляционных операций.

С использованием механического способа заточки зонда элементы, мешающие проводимости тока, не образуются, но появляется наклеп, который влияет на электрические свойства зонда. Данная проблема была решена при помощи снятия внутренних напряжений отжигом. Отжиг производился по следующей схеме: нагрев печи за 15 минут до 350 °С, выдержка 15 минут и остывание на воздухе. После термической обработки при том же напряжении происходит возрастание тока, что говорит об уменьшении сопротивления туннелированию.

Разработанная методика подготовки зонда позволяет более точно проводить исследования на электронном сканирующем микроскопе, в частности повышается разрешающая способность получаемых изображений.

Список используемой литературы.

1. Королев, А. П. Использование сканирующей зондовой микроскопии для изучения структуры и свойств постоянных магнитов / А. П. Королев, И. Г. Проценко, И. С. Филатов. - Вестник ТГТУ. 2015. Том 21. № 4. - С.701-708.

# СТРУКТУРА И КИСЛОРОДНАЯ НЕСТЕХИОМЕТРИЯ ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ Ba1-xPrxFe1-yCoyO3-δ*

**Базуева М. В., Макарова А. Э., Волкова Н. Е.**
***Уральский федеральный университет***
***им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург***
***bazueva01997@gmail.ru***

Твердые растворы со структурой перовскита на основе ферритов и кобальтитов редкоземельных и щелочноземельных металлов вызывают большой интерес в современных исследованиях, а также находят свое применение в технике. В частности, перовскитоподобные соединения используют при создании катодов твердооксидных топливных элементов, кислородных мембран, катализаторов и сенсоров. Это обусловлено уникальными физико-химическими свойствами: устойчивость данных оксидов в широком интервале температур, высокой электрической проводимостью, химической и термической стабильностью. Введение допантов в А- и В-подрешетки сложного оксида общей формулы АВО3 приводит к изменению структуры и, как следствие, физико-химических свойств оксидных соединений [1]. Например, при допирование феррита BaFeO3-δ 5мол.% РЗЭ происходит стабилизация структуры идеального кубического перовскита [2, 3].

Целью данной работы является синтез сложных оксидов общего состава Ba1-xPrxFe1-yCoyO3-δ, изучение их кристаллической структуры в зависимости от концентрации допантов и изучение кислородной нестехиометрии.

Образцы синтезировали по глицерин-нитратной технологии. В качестве исходных веществ использовали оксид празеодима Pr6O11, карбонат бария BaCO3, гидратированный оксалат железа FeC2O4×2H2O, металлический кобальт Co, азотная кислота HNO3 и глицерин. Заключительный отжиг проводили при 1100°С на воздухе с промежуточными перетираниями в среде этилового спирта и с последующим медленным охлаждением до комнатной температуры. Фазовый состав образцов определяли методом рентгенофазового анализа. Расчёт параметров элементарных ячеек проводили с помощью программы «CelRef 4.0», уточнение – методом полнопрофильного анализа Ритвелда в программе «FullProf 2008».

Для определения абсолютного значения индекса кислородной нестехиометрии сложных оксидов состава Ba1-xPrxFe1-yCoyO3-δ использовали методы йодометрического титрования и полного восстановления образцов в токе водорода. Методом термогравиметрического анализа (ТГА) была изучена зависимость содержания кислорода в образцах от температуры в статистическом (выдержка в точке при заданной температуре 10 часов) и динамическом (скорость нагрева/охлаждения 2°/мин) режимах.

По данным РФА установлено, что область существования сложных оксидов состава Ba1-xPrxFe1-yCoyO3-δ зависит от концентрации допантов в А-

и B-подрешетках. Области гомогенности твердых растворов указанны в таблице 1.

Таблица 1.

Области гомогенности оксидов Ba1-xPrxFe1-yCoyO3-δ.

| x | y | x | y |
|---|---|---|---|
| 0.1 | 0 – 0.8 | 0.4 | 0 – 0.3 |
| 0.2 | 0 – 0.7 | 0.5 | 0 – 0.25 |
| 0.3 | 0 – 0.6 | 0.6 – 0.7 | 0.1 – 0.2 |

Рентгенограммы всех однофазных оксидов были проиндексированы в рамках кубической ячейки пространственной группы Pm3m. Рентгенограмма образца Ba0.3Pr0.7Fe0.8Co0.2O3-δ, обработанного по методу полнопрофильного анализа Ритвелда, представлена на рисунке 1.

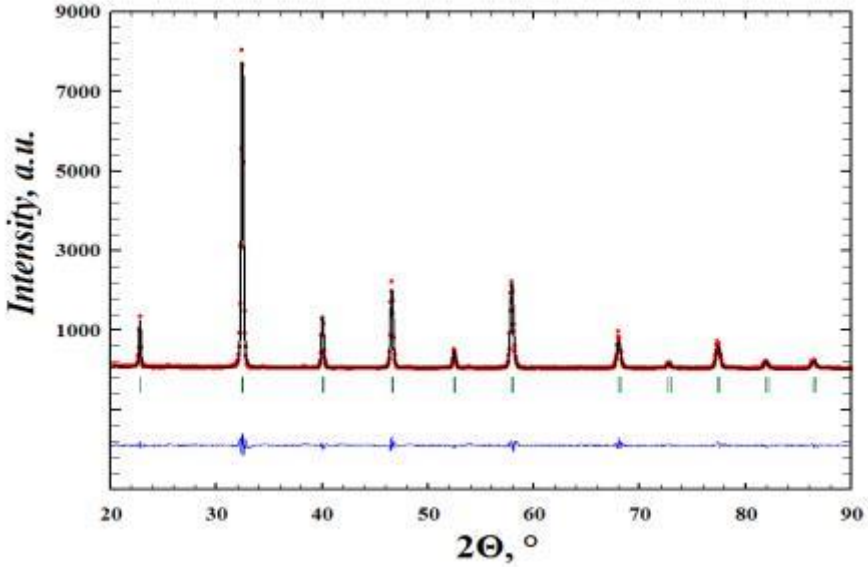



Рис. 1. Обработка по методу Ритвелда
рентгеновских данных для Ba0.3Pr0.7Fe0.8Co0.2O3-δ.

Из рентгенографических данных для твердых растворов на основе феррита бария рассчитаны параметры элементарной ячейки и координаты атомов. Показано, что параметр a и объем элементарной ячейки уменьшаются при увеличении концентрации празеодима, тогда как концентрация металла в B-подрешетке незначительно влияет на параметр a. Это объясняется размерным фактором.

На основании результатов йодометрического титрования были рассчитаны значения содержания кислорода на воздухе. Содержание кислорода и средняя степень окисления ионов 3d-металлов в оксидах Ba1-xPrxFe1-yCoyO3-δ представлены в таблице 2. Установлено, что при увеличении содержания кобальта происходит уменьшение содержания кислорода в образцах, так как кобальт более электроотрицательный, чем железо, следовательно, склонен проявлять более низкие степени окисления, что приводит к уменьшению суммарного положительного заряда в соединение и как следствие условия электронейтральности уменьшается суммарный отрицательный заряд. При увеличении концентрации Pr, увеличивается суммарный

положительный заряд и вследствие соблюдения электронейтральности увеличивается суммарный отрицательный заряд, т.е. происходит увеличение содержания кислорода.

Таблица 2.

Содержание кислорода и средняя степень окисления 3d-металлов в Ba1-xPrxFe1-yCoyO3-δ.

| x | y | 3-δ | nMe |
|---|---|---|---|
| 0.1 | 0.2 | 2.69±0.04 | 3.28 |
| 0.2 | 0.1 | 2.71±0.04 | 3.23 |
| 0.2 | 0.2 | 2.79±0.04 | 3.39 |
| 0.3 | 0.1 | 2.89±0.04 | 3.48 |
| 0.3 | 0.2 | 2.85±0.04 | 3.39 |
| 0.3 | 0.3 | 2.83±0.04 | 3.36 |
| 0.3 | 0.4 | 2.73±0.04 | 3.17 |
| 0.4 | 0.1 | 2.90±0.04 | 3.40 |
| 0.4 | 0.2 | 2.88±0.04 | 3.35 |
| 0.4 | 0.3 | 2.86±0.04 | 3.31 |
| 0.5 | 0.2 | 2.90±0.04 | 3.30 |

Из данных ТГА установлено, что обмен кислородом между образцом и газовой фазой начинается при температуре выше 400°С, а содержание кислорода уменьшается с ростом температуры.

**Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-73-00159).*

Список используемых источников.

1. Wang, J. The effect of A-site and B-site substitution on BaFeO3- δ: An investigation as a cathode material for intermediate-temperature solid oxide fuel cells / J. Wang, M. Saccoccio, D. Chen [et al] // Journal of Power Sources. – 2015. – V. 297. – P. 511-518.

2. Dong, F. La-dopedBaFeO3−δ perovskite as a cobalt-free oxygen reduction electrode for solid oxide fuel cells with oxygen-ion conducting electrolyte / F. Dong, D. Chen, Y. Chen [etal] // J. Mater. Chem. – 2012. – V. 22. – P. 15071-15079.

3. Wang, Y. Cobalt-free gadolinium-doped perovskite GdxBa1−xFeO3−δas high-performance materials for oxygen separation / Y. Wang, Q. Liao, Y. Chen [et al.] // Chinese Journal of Chemical Engineering. – 2015. – V. 23. – P. 1763-1767.

# ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА ЖЕЛЕЗО – КАРБИД ВОЛЬФРАМА

**Лоскутова А. Д., Королева И. Л.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***anya.loskutova.94@mail.ru***

Исследуемый композитный материал изготавливается из порошков железа и карбида вольфрама путем прессования и дальнейшего спекания. Экспериментально определена оптимальная температура спекания, которая составляет 1000 °С [1]. Как известно, тугоплавкие металлы, к которым относится вольфрам, очень активно окисляются на воздухе при высоких температурах. Порошок карбида вольфрама, как показал эксперимент, тоже склонен к окислению [2] на воздухе при температуре примерно 550 °С и выше. Из-за окислительных процессов при спекании образец деформировался и предположительно приобретал нестехиометрическую оксидную структуру с полупроводниковыми свойствами [3]. Изначально образец имел форму таблетки, а после спекания получал шарообразную форму, т.е. его плоские поверхности поднялись от центра, образовав внутри пористую структуру рис.1

Рис. 1. Спеченный без глины образец железо-карбид вольфрама.

Чтобы предотвратить контакт образца с кислородом, обычно работают в вакууме. Это требует специального оборудования и усложняет процесс. В другом случае использовалась шамотная огнеупорная глина. Спрессованный образец перед спеканием покрывался глиной в два этапа: сначала толстым слоем густого раствора (основной слой), а после высыхания тонким слоем более жидкого раствора, чтобы заполнить образовавшиеся после высыхания в основном слое трещины. После того, как глина при комнатной температуре полностью высохла, образец поместили в печь. После спекания образец остывал на воздухе, затем с него аккуратно счищалась глина. В результате такого спекания существенных дефектов формы образца не обнаружено рис.2.

Рис. 2. Образец железо – карбид вольфрама после спекания в глине.

Оба образца имеют качественно одинаковые электрофизические свойства, имеющие полупроводниковый характер, но количественно их характеристики отличаются.

Список используемых источников.

1. Королев, А. П. Исследование электрофизических свойств композита железо - карбид вольфрама / А. П. Королев, А. Д. Лоскутова // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, №3. – С. 535 – 540.

2. Королев, А. П. Порошковые композиты электротехнического назначения / А. П. Королев, А. Д. Лоскутова // Материалы IX Международной научно-инновационной молодежной конференции «Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент» – 2017. – С. 95 – 96.

3. Королев, А. П. Электрофизические свойства пористого кремния / А. П. Королев, М. В. Макарчук // Тезисы докладов 2-ой Международной конференции с элементами научной школы «Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах» – 2015. – С. 333 – 336.

4. Лоскутова, А. Д. Изготовление композита железо – карбид вольфрама / А. Д. Лоскутова, М. В. Макарчук // Сборник материалов Семьдесят первой всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием – 2018. – С. 458 – 460.

# МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЭПОКСИДНЫЕ КОМПОЗИТЫ, НАПОЛНЕННЫЕ КРЕМНИСТОЙ ПОРОДОЙ

**Мостовой А. С., Хазов К. Н., Титова А. Д., Кадыкова Ю. А.**
***Энгельсский технологический институт (филиал), Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина***
***Mostovoy19@rambler.ru***

Объективные потребности развития различных отраслей техники обусловили создание новых конструкционных материалов с высокой прочностью и большими значениями модуля упругости на металлической, керамической и полимерной основах. Возникла необходимость резкого увеличения прочностных характеристик изделий и покрытий при минимизации их массы. Это становится возможным при изготовлении композиционных материалов на полимерной основе. В настоящее время полимерные композиты широко и интенсивно применяются в промышленности. Ведется как синтез новых систем, так и усовершенствование уже имеющихся путем оптимизации их параметров с целью адаптации к потребностям определенной отрасли промышленности. Особый интерес вызывает создание новых материалов путем смешения разных компонентов, введение модификаторов, наполнителей и прочих добавок в связующее. В этом плане перспективным является формирование и применение композитов на основе эпоксидного связующего [1-4].

Одним из способов направленного регулирования свойств эпоксидных полимеров, позволяющим повысить показатели механической прочности и жесткости, химической стойкости, теплостойкости, диэлектрических свойств является введение тонкодисперсных наполнителей [1-4], в том числе кремнистой породы.

В качестве полимерной матрицы использован ранее разработанный нами состав, состоящий из 100 масс.ч. эпоксидной смолы марки ЭД-20, 40 масс.ч. – олиго(резорцинфенилфосфат) с концевыми фенильными группами Fyrolflex (ОРФФ) и 15 масс.ч. отвердителя – полиэтиленполиамина (ПЭПА).

ОРФФ использовался в качестве пластификатора-антипирена, обеспечивающего не только повышение эластических свойств эпоксидных композитов, но и снижающего их горючесть, вследствие наличия в его составе фосфора, который структурирует эпоксидный полимер при пиролизе и горении, обеспечивая повышенное коксообразование и как следствие снижение горючести.

В эпоксидную композицию кремнистая порода вводилась в количестве 10-100 масс.ч. Для повышения равномерности распределения кремнистой породы, а также активации ее поверхности и связующего применялась ультразвуковая обработка состава. Параметры ультразвукового воздействия: частота УЗ - 22±2 кГц, продолжительность 60 мин.

Проведенные исследования показали, что наиболее рациональным является введение кремнистой породы в количестве 50 масс.ч., так как при этом обеспечивается повышение физико-механических характеристик: на 25 % возрастает разрушающее напряжение и в 3 раза модуль упругости при изгибе, на

47% возрастает разрушающее напряжение и в 2,5 раза модуль упругости при растяжении, на 50% повышается ударная вязкость, табл.1.

Таблица 1.

Свойства эпоксидных композитов.

| Состав композиции, масс.ч., отвержденной 15 масс.ч. ПЭПА | Gиз, МПа | Еиз, МПа | Gр, МПа | Ер, МПа | ауд, кДж/м2 |
|---|---|---|---|---|---|
| 100ЭД-20 | 17 | 2654 | 26 | 2040 | 3 |
| 100ЭД-20+40ОРДД | 80 | 2210 | 30 | 1896 | 6 |
| 100ЭД-20+40ОРДД+ 50Кремнистая порода | 100 | 6725 | 44 | 4653 | 9 |

Примечание: Gиз – разрушающее напряжение при изгибе; Еиз – модуль упругости при изгибе; Gр – разрушающее напряжение при растяжении; Ер – модуль упругости при растяжении; Нв – твердость по Бринеллю; ауд – ударная вязкость; коэффициент вариации по свойствам 5-7 %.

Увеличение прочности объясняется тем, что в присутствии наполнителя происходит сшивание соседних частиц кремнистой породы в структуре эпоксидного композита макромолекулами полимера. В результате между частицами наполнителя появляются мостики индивидуальных цепочек макромолекул, что способствует ограничению числа возможных конформаций макромолекул и их сегментного движения, что приводит к повышению модуля упругости и прочности композита [3].

Таким образом, проведенные исследования доказывают эффективность использования кремнистой породы в качестве наполнителя эпоксидных композиций, обеспечивающего повышение физико-механических свойств эпоксидных композиционных материалов.

Список используемых источников.

1. Buketov, A. V. Investigation of the physico-mechanical and thermophysical properties of epoxy composites with a two-component bidisperse filler / A. V. Buketov, O. O.Sapronov, M. V. Brailo // Strength of Materials. – Vol. 46. – № 5. - 2014. – P. 717-721.

2. Направленное регулирование свойств эпоксибазальтопластиков / Ю. А. Кадыкова, С. В. Улегин // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов. – 2015. – № 7 (164). – С. 130-131.

3. Модификация эпоксидных полимеров кремнийсодержащим наполнителем с целью повышения эксплуатационных свойств / А. С. Мостовой, Л. Г. Панова, Е. А. Курбатова // Вопросы материаловедения. – 2016. – № 2 (86). – С. 87-95.

4. Стухляк П. Д. Влияние ферромагнитных наполнителей на ударную вязкость и седиментационную стойкость эпоксикомпозитов, сформированных под воздействием переменного магнитного поля / П. Д. Стухляк, В. В. Карташов, И. Т. Соривка, А. З. Скороход // Перспективные материалы. – 2013. – № 6. – С. 63-68.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Кузнецова А. А., Беляев П. С., Туляков Д. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***Natulek98@yandex.ru***

В настоящее время в мире остро стоит проблема утилизации полимерных отходов, в частности отходов полипропилена. Экономически целесообразной и экологически предпочтительной является вторичная переработка полимеров. На основе вторичного полимера можно создавать различные композиционные материалы, которые могут быть использованы, например в строительстве.

По заданию было необходимо найти оптимальное процентное соотношение в композиционном материале вторичного полипропилена и наполнителя. В качестве наполнителя были использованы отходы цементно-стружечных плит (ЦСП). Полученный композиционный материал будет использован для производства тротуарной плитки, поэтому необходимо провести различные исследования, чтобы изучить свойства полученного изделия[1-7].

С помощью установки на основе смесителя Брабендера были смешаны полипропилен и отходы ЦСП в различном процентном соотношении (1:1; 1:2; 1:3), различном времени смешения (7 мин, 10 мин, 12 мин), при температуре 180℃ и частоте вращения роторов 45 об/мин[8].

На основе полученных экспериментальных данных были проведены исследования полученного композита на водопоглощение, разбухание по толщине и плотность, результаты которых представлены на рисунках 1 и 2.

В таблице 1 представлена рассчитанная плотность всех образцов.

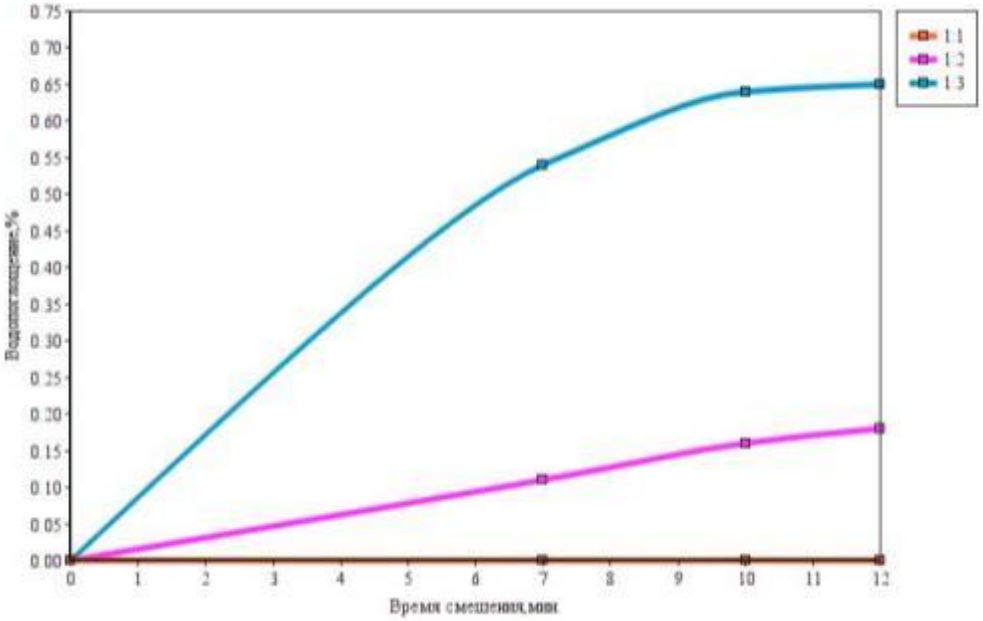



Рис. 1. График изменения водопоглощения.

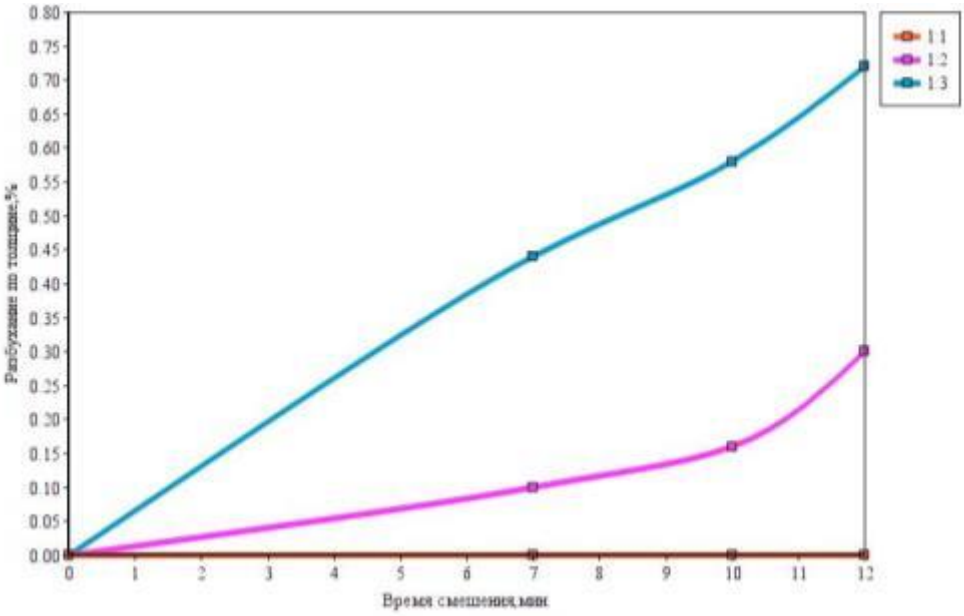



Рис. 2. Зависимость водопоглощения
от процентного содержания ПП в композите.

Таблица 1.

Плотность образцов.

| Соотношение ПП и ЦСП, % | Время смешения, мин | Толщина образца, *102 м | Масса образца, *103 кг | Длина образца, *102 м | Ширина образца, *102 м | Плотность (норма по ГОСТ 26816-86: 1100-1400 кг/м3), кг/м3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1:1 | 7 | 5,2 | 4,99 | 80 | 10 | 1199,5 |
| | 10 | 5,31 | 5,12 | | | 1205,3 |
| | 12 | 5,5 | 5,31 | | | 1206,8 |
| 1:2 | 7 | 6,1 | 5,96 | 80 | 10 | 1221,3 |
| | 10 | 6,24 | 6,17 | | | 1235,9 |
| | 12 | 6,51 | 6,38 | | | 1226,9 |
| 1:3 | 7 | 6,7 | 7,32 | 80 | 10 | 1365,7 |
| | 10 | 6,83 | 7,65 | | | 1394,6 |
| | 12 | 6,9 | 7,75 | | | 1403,9 |

Из таблицы 1 видно, что плотность всех образцов находится в пределах нормы.

Исходя из полученных результатов, можно сказать, что при увеличении процента отходов ЦСП в композите водопоглощение и разбухание по толщине увеличивается. Обусловлено это увеличением количества древесной составляющей в композите, которая имеет свойство поглощать влагу.

На основе проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что оптимальным соотношением отходов полипропилена и отходов ЦСП является 1:1 при времени смешивания 12 минут. Композит получается однородным за счет времени смешения, имеет минимальное водопоглощение и не разбу-

хает по толщине. Из этих данных следует, что композиционный материал может быть использован для производства тротуарной плитки за счет своих хороших эксплуатационных свойств.

Список используемых источников.

1. Беляев, П. С. Решение проблемы утилизации полимерных отходов путем их использования в процессе модификации дорожного вяжущего / П. С. Беляев, О. Г. Маликов, С. А. Меркулов, Д. Л. Полушкин, В. А. Фролов // Строительные материалы. – 2013. – № 10. – С. 38-41.

2. Беляев, В. П. О перспективе комплексного решения проблем экологии и повышения качества дорожных покрытий / В. П. Беляев, П. С. Беляев, Д. Л. Полушкин // Перспективы науки. – 2012. – № 5. – С. 186-189.

3. Клинков, А. С. Утилизация полимерной тары и упаковки / А. С. Клинков, П. С. Беляев, М. В. Соколов, И. В. Шашков. – Тамбов: Изд-во Тамбовск. гос. техн. ун-та, 2008. – 64 с.

4. Беляев, П. С. Повышение качества нефтяных битумов путем модификации продуктами переработки изношенных автомобильных шин / П. С. Беляев, О. Г. Маликов, М. В. Забавников, А. Р. Соколов // Вестн. Тамбовск. гос. техн. ун-та. – 2003. – Т. 9. – № 1. – С. 63-69.

5. Беляев, П. С. Модификация нефтяных дорожных битумов полимерными материалами для получения асфальтобетонных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками / П. С. Беляев, Д. Л. Полушкин, П. В. Макеев, В. А. Фролов // Вестн. Тамбовск. гос. техн. ун-та. – 2016. – Т. 22. – № 2. – С. 264-271.

6. Беляев, П. С. К вопросу о комплексном решении проблем экологии и качества дорожных покрытий / П. С. Беляев, О. Г. Маликов, С. А. Меркулов, Д. Л. Полушкин, В. П. Беляев // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2012. – № С39. – С. 184-189.

7. Беляев, В. П. Утилизация резиновой крошки из изношенных шин в контексте решения проблемы повышения качества дорожных покрытий / В. П. Беляев, А. С. Клинков, П. С. Беляев, Д. Л. Полушкин // Глобальный научный потенциал. – 2012. – № 19. – С. 169-171.

8. Клинков, А. С. Проектирование смесителей периодического действия при получении композитов заданного качества из отходов термопластов. / А. С. Клинков, М. В. Соколов, В. Г. Однолько, П. С. Беляев. – М.: Спектр, 2012. – 196с.

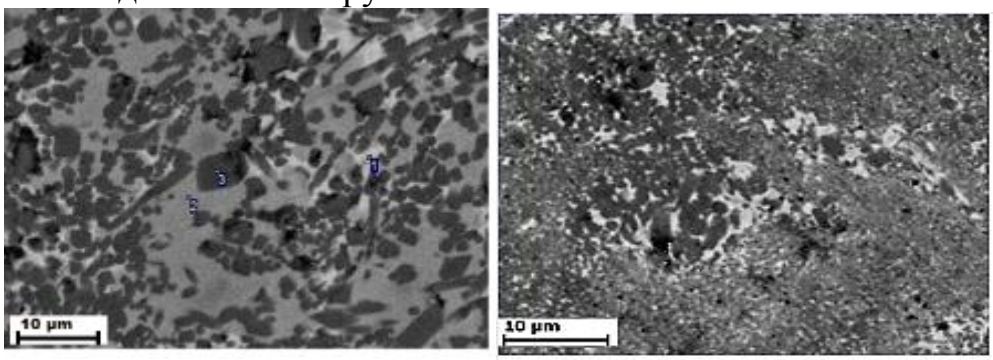
# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОЧАСТИЦ AlN НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ TiB/Ti, ПОЛУЧЕНЫХ МЕТОДОМ СВС-ЭКСТРУЗИИ

**Болоцкая А. В., Михеев М. В.**
***Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова РАН, Черноголовка***
***moon@ism.ac.ru***

В настоящее время в разных отраслях наблюдается использование композиционных материалов, как наиболее перспективных. Моноборид титана является одним из передовых композиционных материалов в авиатехнике и ракетостроении [1,2]. Получение TiB проводится с помощью методов традиционной металлургии, с чем связан ряд недостатков, таких как остаточная пористость и нулевая пластичность [3,4]. Эти недостатки значительно затрудняют его получение.

Решить эти технологические недостатки можно благодаря использованию технологии СВС–экструзии. В процессе СВС–экструзии реализуются условия сочетания процесса горения с высокотемпературным пластическим деформированием, что в свою очередь, позволяет получать за десятки секунд компактные керамические, неметаллические и интерметаллические соединения [5,6]. В более ранних работах были изучены физико-механические характеристики компактного материала на основе системы TiB/Ti, полученного методом СВС–экструзии [7].

Целью данного исследования является изучение влияния нано размерного AlN (полученного по азидной технологии СВС), на структуру и свойства компактных материалов состава (TiB – 30масс. %Ti+5 масс. % AlN), полученных методом СВС-экструзии.




а) б)

Рис. 1. Результаты СЭМ поперечного шлифа образца:
а – TiB - 30 масс.% Ti, б - (TiB - 30 масс.% Ti) + 5 масс.% AlN.

Методом СВС-экструзии были получены компактные стержни из материалов TiB - 30 масс.% Ti + 5 масс % AlN. Результаты сканирующей электронной микроскопии данных образцов показали значительное измельчение зерен TiB и их равномерное распределение по сечению шлифа образца. Такое

модифицирование структуры материала приводит к увеличению показателей микротвердости на 30%.

Список используемых источников.

1. Погрелюк, И. Н. и др. Влияние термодиффузионного насыщения из аморфного бора на микроструктуру и топографию поверхности титановых сплавов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – №. 12. – С. 40.

2. Miner, J. Titanium composite materials for Transportation application / M.G. de Cortazar[et al.] // J. Miner. Met. Mater. Soc. – 2008.– V.11.– P. 40–46.

3. Saito, T. The automotive application of discontinuously reinforced TiB-Ti composites // JOM. – 2004. – Т. 56. – №. 5. – Pp. 33-36.

4. Attar, H. et al. Nanoindentation and wear properties of Ti and Ti-TiB composite materials produced by selective laser melting // Materials Science and Engineering: A. – 2017. – Т. 688. – Pp. 20-26.

5. Bazhin, P. M., Stolin, A. M., Konstantinov, A. S., Kostitsyna, E. V., Ignatov, A. S. Ceramic Ti—B Composites Synthesized by Combustion Followed by High-Temperature Deformation. Materials, 2016. – Т. 9. – № 12. – Pp. 1027-1035

6. Столин, А. М. Получение изделий многофункционального назначения из композитных и керамических материалов в режиме горения и высокотемпературного деформирования (СВС-экструзия) / А. М.Столин, П. М. Бажин // Теоретические основы химической технологии – 2014. – Т.48 – № 6. – С. 1-13.

7. Константинов, А. С. СВС-экструзия длинномерных стержней на основе TiB/Ti / А. С. Константинов, А. В. Болоцкая, П. М. Бажин, А. М. Столин // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки». – 2017. – № 4 – С. 160-165.

# ВЛИЯНИЕ МНОГОКРАТНОГО ОТЖИГА НА ТВЕРДОСТЬ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

**Буренина А. И., Толстов Н. А.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***annaburenina266@gmail.com***

Процесс изготовления изделий различного назначения из сталей часто включает в себя термообработку, предназначенную для изменения и получения требуемых свойств. Но и без специально назначаемой термообработки стальные заготовки могут подвергаться другим технологическим операциям, связанным с нагревом и охлаждением. Кроме того в процессе эксплуатации детали из стали могут испытывать циклический нагрев и охлаждение.

Одним из видов высокотемпературной обработки сталей является полный перекристаллизационный отжиг, который заключается в нагреве выше температуры фазовых превращений, выдержке и медленном охлаждении вместе с печью. Такой нагрев может привести к обезуглероживанию поверхностного слоя стали. Углерод в структуре находится в виде растворенных атомов в кристаллической решетке и в химическом соединении Fe3C – карбиде железа [1]. Удаление атомов углерода из твердого раствора – процесс более энергозатратный, поэтому в первую очередь выгорает углерод карбида Fe3C после предварительной диссоциации. Простое испарение углерода в большом количестве с поверхности стали возможно только в вакууме. Удаление углерода из структуры стали происходит в результате химических реакций, в которые вступает углерод, находящийся в стали. В атмосфере печи активными участниками химических реакций, высвобождающих углерод, являются пары воды, кислород, углекислый газ и водород.

Скорость, с которой углерод покидает структуру приповерхностного слоя стали, определяется скоростью протекания химических реакций и скоростью диффузии внутри кристаллической решетки сплава. В свою очередь скорость диффузии зависит от строения решетки, наличия и типа точечных и линейных дефектов, и. конечно, температуры [2].

Для выявления динамики снижения твердости при циклическом воздействии температуры образец сплава подвергался пятикратному отжигу. Каждый отжиг проводился по следующей схеме: полуторочасовой нагрев до температуры 770 ˚С, выдержка 2 часа при достигнутой температуре и охлаждение медленное вместе с печью. После каждого отжига измерялась твердость [3].

Зависимость твердости структуры от времени отжига представлена на рисунке 1. В этой зависимости не учтено только время охлаждения, что вносит некоторую погрешность в результат, представленный графиком.

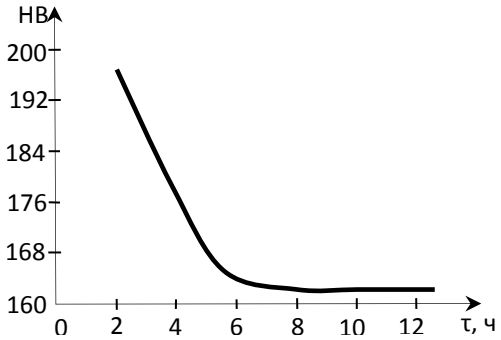


Рис. 1. Зависимость твердости стального образца от времени отжига.

Уменьшение твердости после первого отжига связано с возвратом структуры в равновесное состояние. Структура сплава поменялась с мартенситной на перлито-цементитную. Как известно, в одинаковых структурах твердость будет меньше в той, в которой меньше углерода [4]. Значит уменьшение твердости сплава при последующих отжигах связано с уменьшением содержания углерода.

Список используемых источников.

1. Королев, А. П. Повышение износостойкости методами цементации в современной технике / А. П. Королев, И. С. Пятибратов, М. В. Сертаков // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы VII международной научно-инновационной молодежной конференции, 2015. – С. 103-104.

2. Королев, А. П. Анализ эффективного энергоптребления при термической обработке металлических сплавов / А. П. Королев, М. В. Макарчук, А. И. Буренина, Н. А. Толстов // Энергосбережение и эффективность в технических системах: материалы V Международной научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов, 2018. – С. 242-243.

3. Макарчук, М. В. Неразрушающий контроль и техническая диагностика параметров и свойств исследуемых объектов (включая нанообъекты) / М. В. Макарчук, В. Н. Чернышов, В. П. Шелохвостов, Э. В. Сысоев // Вестник ТГТУ. – 2009. – Т. 15. – № 2. – С. 303-314.

4. Королев, А. П. Динамика изменения микроструктуры стали при длительном нагреве / А. П. Королев, М. В. Макарчук, А. И. Буренина, Н. А. Толстов // Энергосбережение и эффективность в технических системах: материалы V Международной научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов. 2018. – С. 243-244.

# КРЫШКИ ЛЮКОВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

**Бекеров В. Э., Арзамасцев С. В, Устинова Т. П., Герасимова В. М.**
***Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина***
**bort740@mail.ru**

Огромная проблема, с которой сталкиваются жители всех без исключения городов Российской Федерации – открытые канализационные люки. Основная причина – воровство крышек, изготовленных из черных металлов, которые, как правило, сдаются в пункты приема металлолома.

В последние несколько лет появилась альтернатива чугунным крышкам – крышки полимерпесчаные. Изготовлены они из смеси полиэтилена (около 10-15%) и песка. Они дешевле и легче традиционных, но ввиду низких прочностных характеристик не могут устанавливаться на люках, расположенных на дорогах. При наезде транспорта на такой люк, он ломается, не обеспечивая требуемые от него функции.

| Тип люка | Люк магистральный |
|---|---|
| Масса люка, не более, кг | 147,5 |
| Диаметр люка, мм | 850 |
| Высота люка, мм | 100 |
| Диаметр проема, мм | 600 |
| Номинальная нагрузка, т | 40 |

Рис. 1. Люк марки ТМ и его характеристики.

Альтернативой могут стать люки из композиционного материала на основе эпоксидной или полиэфирной смолы, армированной базальтовым или стеклянным холстом.

Технологически крышки люков могут быть изготовлены методом вакуумной инфузии. Суть метода заключается в создании разряжения внутри рабочей полости, благодаря которому происходит пропитка армирующего материала и втягивание смол. Как и при других современных методах получения композитов, в качестве формовочной полости задействуется вакуум – как правило, для организации процесса используют специальную пленку-мешок. В отличие от распространенного метода контактного формования, установка вакуумной инфузии, включающая специальную матрицу с сухим наполнителем, позволяет выпускать стекло- и базальтопластики с минимальным содержанием пористых включений и более высокой степенью армирования. Применение этого метода формования при использовании в качестве связующего ненасыщенных полиэфирных смол предполагает существенное снижение эмиссии стирола.

В рамках проводимого исследования произведена разработка конструкции крышки люка (рис. 2), обеспечивающая требуемую технологичность и высокие физико-механические характеристики,

Учитывая форму и разработанные конструкционные особенности крышки люка предпочтительной является кольцевая схема инфузионного формования. В этом случае вакуумный канал располагается по периметру матрицы, а точки подачи расположены внутри вакуумного кольца. Движение смолы от центра к периметру. Натекание воздуха исключается, поскольку вакуумный канал замыкает систему в кольцо

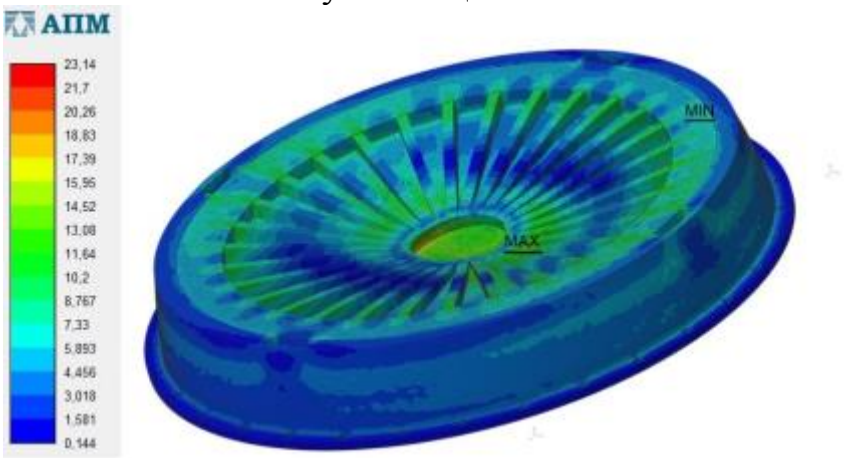



Рис. 2. Конструкция крышки люка.

Для изготовления крышек люков могут использоваться разработанные в ЭТИ (филиале) СГТУ имени Гагарина Ю.А. полимерматричные композиции на основе эпоксидной смолы марки ЭД-20 (табл. 1)

Таблица 1.

Физико-механические характеристики эпоксидных композитов на основе базальтовых и стеклянных армирующих систем.

| Армирующая система | Плотность, кг/м3 | Разрушающее напряжение, МПа, при | | Ударная вязкость, кДж/м2 | Твердость по Бринеллю, МПа | Водопоглощение за 24 часа, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | растяжении | изгибе | | | |
| - | 1250 | 50 | 110 | 10 | 115 | 0,10 |
| БН | 1645 | 98 | 485 | 315 | 135 | 0,72 |
| БН+А-187 | 1651 | 180 | 781 | 544 | 260 | 0,61 |
| БН+А-174 | 1647 | 176 | 642 | 402 | 205 | 0,65 |
| СТ | 1600-1900 | 300 | 250 | 180-200 | 400-460 | - |
| СТ | 1800-1900 | 379-517 | 517-654 | 16 | - | 0,20-0,30 |

*БН – базальтовые нити, СТ – стеклоткань, А-187 и А-174 – используемые аппреты.

Список используемых источников.

1. Герасимова, В. М. Исследование эффективности модификации базальтовых нитей органосиланами / В.М. Герасимова, Н. Г. Зубова, Т. П. Устинова // Химические волокна. – 2017. – № 6. – С. 8-10.

# УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕМОНТА ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЧ - ТЕХНОЛОГИЙ

**Сулицкий О. Ф., Штрекк Д. И., Арзамасцев С. В.**
***Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина***
**bort740@mail.ru**

Дорожное строительство является важнейшей частью экономической системы. Сказанное наиболее актуально для России, протяженность дорог которой исчисляется десятками тысяч километров. При этом состояние дорог в России за всю её многолетнюю историю оставляло желать лучшего, и с каждым годом оно приобретает новые негативные оттенки. Повышение качества возможно при использовании новых технологий, использующихся при строительстве и ремонте, что повлечет существенное сокращение расходов в этой отрасли.

Известно, что в большой степени долговечность дорожного покрытия зависит от качества используемого битума. Некоторые показатели качества битума, используемого в дорожной отрасли как вяжущее при производстве асфальтобетонных смесей или для приготовления битумных эмульсий, а также для устройства поверхностной обработки, даже в случае его соответствия требованиям стандарта, по ряду причин требуют улучшения. Битум, полученный окислением сырья при температуре 230-240°С (а иногда и более), склонен к старению, быстро теряет пластичность при понижении температуры.

В зимний период, при отрицательных температур битум становится хрупким, на поверхности и в объеме асфальтобетона образуются трещины и дефекты, которые при переходах через 00С заполняются водой, которая замерзает, увеличивается в объеме, повышая тем самым размер трещин, что в итоге и приводит к снижению долговечности и необходимости проведения ремонта дорожного покрытия.

В литературе имеются сведения об использовании СВЧ-излучения для ремонта дорог в России, Франции, США и других странах [1], а авторы теоретически обосновывают энергоэффективность и безопасность воздействия СВЧ-установки на окружающую среду при ее использования для ремонте дорожного полотна [2]. Битумное вяжущее СВЧ-прозрачно [3] и не нагревается, а при СВЧ-воздействии нагревается только минеральная часть, которая и передает тепло битуму, который и необходимо нагреть для проведения ремонта. Учитывая тот факт, что СВЧ-восприимчивость минеральных компонентов невысока и тот факт, что для нагрева всего 5% битума необходимо потратить энергию на нагрев 95% минеральных компонентов, свойства которых при таком нагреве не меняются, эффективность использования СВЧ-установок для нагрева асфальтобетона более чем сомнительна.

Вместе с тем, существенно повысить ее можно сделав битум восприимчивым к нагреву от СВЧ-излучения. Авторами [4] разработана композиция для дорожного покрытия, содержащая: смесь асфальта и материала, поглощающего СВЧ-излучения и диспергированного в асфальте для улучшения распределения нагрева смеси под воздействием СВЧ-излучения. В качестве поглощающего материала может использоваться феррошпинель, гексаферриты и их смесь, материал составляет от 1% до 25% от веса композиции.

Авторами предложена радиопоглощающая асфальтобетонная композиция для дорожного покрытия [5]. Недостатками описанного в патенте технического решения является то, что предлагается использовать магнитный песок или песок из карборунда (карбида кремния) в качестве радиопоглощающих наполнителей. Это чрезвычайно дорогие материалы, причем такие составы склонны к локальному перегреву в СВЧ-поле, как мелкозернистые порошки, и не выпускаются необходимого гранулометрического состава, что препятствует созданию ЩМАС, соответствующих требованиям ГОСТа.

В Российской Федерации также проводятся исследования в этом направлении. Так, например, предложено использование никельшлака с размером гранул 1-5 мм в количестве 18,6%, порошка никельшлака с размерами частиц 1-100 мкм в количестве 8,0% и 0,4% целлюлозной добавки «Виатоп 66» [6]. В результате модификации снижается трещинообразование, улучшается ремонтопригодность покрытия.

Для улучшения радиопоглощающих способностей в СВЧ диапазоне битум марки БНД 60/90 (ГОСТ 22245-90) модифицировали 0,5-1% графенового материала, разработанного в ЭТИ СГТУ им. Гагарина Ю.А.

Для нагрева использовалась усовершенствованная СВЧ-камера на базе промышленно выпускаемой бытовой печи Panasonic NN-ST251W.

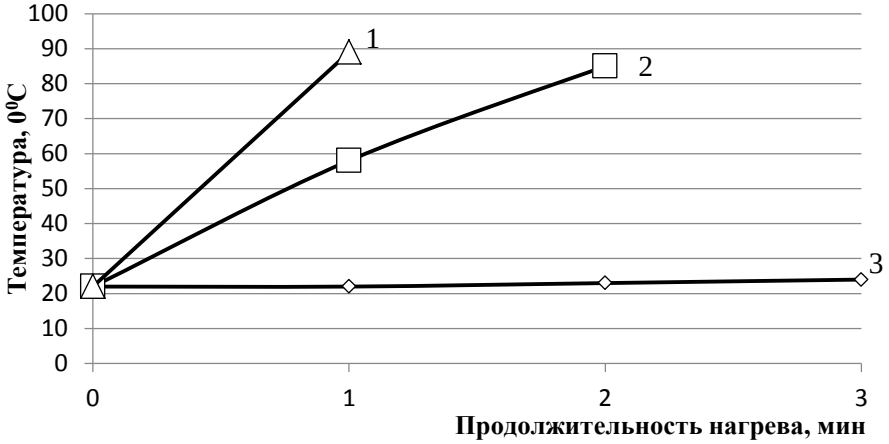



Рис. 1. Зависимость динамики нагрева исходного битума (кривая 1) и модифицированного 0,5 (кривая 2) и 1% (кривая 3) графенового материала.

Установлено, что введение модификатора в количестве до 1% масс. позволяет существенно повысить скорость нагрева битумного вяжущего. Изменение температуры исходного битума при нагреве в течение 3 минут составило лишь 1,50С. При введении 0,5% масс. модификатора уже в течение 1 минуты изменение температуры составило 360С, а после 2 мин 1 - 630С.

Введение 1% модифицирующего агента еще более сильно влияет на скорость нагрева и позволяет в течение 1 минуты повысить температуру на 640С по сравнению с начальными значениями (рис. 1).

Экспериментально установлена необходимость гомогенизации битумного вяжущего, что обеспечит его равномерный нагрев.

Кроме того, авторами [7] показано, что использование СВЧ-излучения позволяет повысить ряд характеристик битума. При обработке битума в СВЧ-поле происходит изменение структуры и состава битума. Исходя из этого, можно предложить следующий механизм влияния СВЧ-поля на битум. При обработке битума излучением сверхвысокочастотного диапазона начинается разрыв двойных связей с образованием более мелких макромолекул и свободных радикалов, происходит окисление концевых гидроксильных групп до кислотных, приводящее к повышению содержания органических кислот, циклические соединения частично преобразуются в ароматические, что подтверждено ИК- спектрами. Все это приводит к снижению вязкости в диапазоне рабочих температур, уменьшению энергии поверхностного натяжения и повышению реакционной способности битума. При охлаждении и переходе битума в упруго-пластичное состояние происходит ассоциация асфальтенов в крупные надмолекулярные структуры, что приводит к увеличению вязкости, росту температуры размягчения и когезии битума: При этом увеличивается температура хрупкости при превышении рационального времени обработки битума СВЧ-полем.

Список используемых источников.

1. Карпенко, Ю. В., Нефедов, В. Н. Машины для СВЧ-разогрева асфальтобетонных покрытий. – М., 1997. – 51 с. (Автомоб. дороги: Обзорн. информ. / Информавтодор; Вып. 1).

2. Энергосберегающая технология ремонта асфальтобетонных покрытий с применением СВЧ-устройства / В. И. Зеленцов, В. П. Базуев, В. Н. Веник, А. Л. Базилевич, И. В. Савельков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 2. – С. 111-119.

3. Возможен ли разогрев битума с помощью СВЧ-поля? Электронный ресурс: Сайт НПП «Газэнергохим». http://www.gazenergohim.ru/articles/41/ (дата обращения 10.09.2018)

4. Пат. США 4.849.020 «Асфальтовые смеси и способ восстановления (ремонта) асфальта с помощью СВЧ-излучения».

5. Патент КНР №101736671 «Радиопоглощающая асфальтобетонная композиция для дорожного покрытия».

6. Патент РФ RU 2637701 «Радиопоглощающая асфальтобетонная смесь и дорожное покрытие, выполненное из этой смеси» / В. П. Кудрявцев, В. А. Слугин, Т. С. Широкова.

7. Повышение качества асфальтобетона путем обработки битума полем сверхвысокой частоты: диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.05 / Акимов Андрей Евгеньевич; [Место защиты: Белгород. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова]. – Белгород, 2010. – 189 с.

# НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТЬ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ22 С УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

**Классман Е. Ю., Классман П. А.**
***Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа***
***klassman@mail.ru***

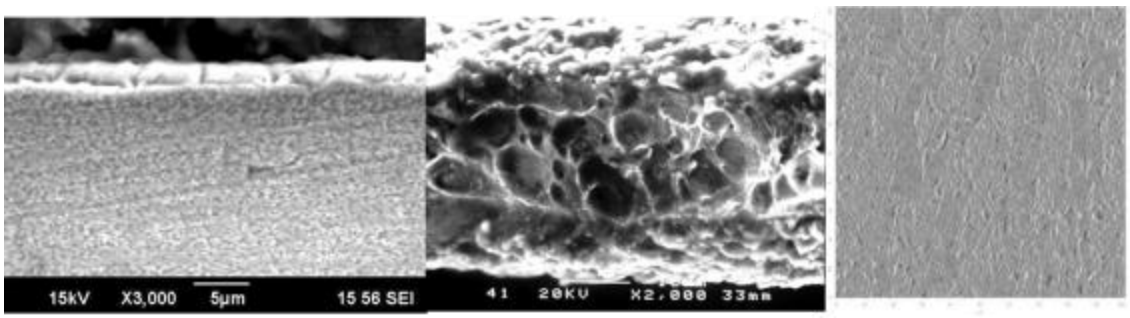
Титановые сплавы с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой обладают сверхпластичностью (СП) при температурах порядка 600 – 650 °С [1], что привлекательно для изготовления тонкостенных деталей и конструкций повышенной прочности нетрадиционными технологическими методами, например, сверхпластической формовкой [2].

При этом, применение низкотемпературной СП позволяет снизить или исключить окисление и газонасыщение титановых сплавов при деформационной обработке. В работе [1] на примере титанового сплава ВТ8 со средним размером зерен фаз 0,1 мкм эффект СП отмечается при температурах 600 – 650 °С, в то время как для обычного состояния с размером зерен 5 мкм традиционная сверхпластическая деформация (СПД) осуществляется при 900 °С [2].

Комплексно-легированный двухфазный титановый сплав ВТ22 отличается максимальным эффектом упрочняющей термообработки, относится к классу наиболее высокопрочных титановых сплавов, хотя и применяется, главным образом, в виде крупногабаритных прутков и поковок с крупнозернистой структурой. Листовые полуфабрикаты из данного сплава, полученные прокаткой с большими степенями обжатия, в том числе изотермической, имеют специфическую структуру и требуют специального исследования. В проведенных ранее работах было выявлено, что УМЗ состояние приводит к существенному повышению ударной вязкости сплава ВТ22 [3], а в работе [4] показаны некоторые особенности деформационного поведения при комнатной и повышенных температурах, однако данные о наличии/отсутствии СП не приведены.

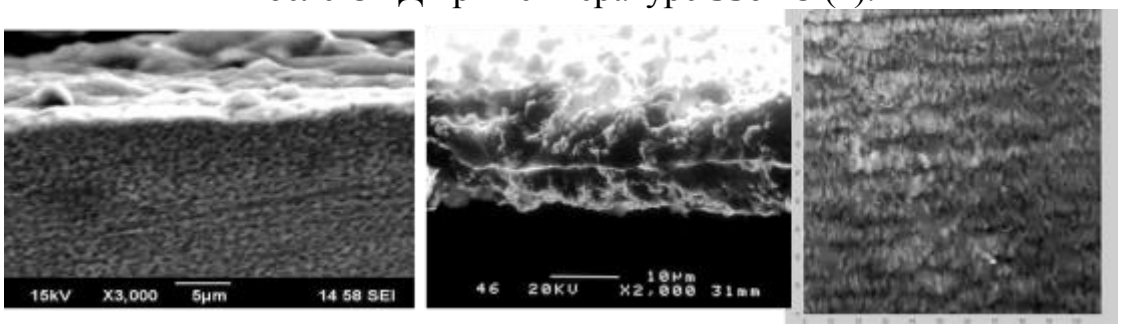
Эффект низкотемпературной СП является крайне интересным явлением и востребован для решения ряда металловедческих и технологических проблем. В данной работе решалась задача определения механических характеристик, особенностей деформации и разрушения при температурах 550 и 600 °С и скоростях деформации от 10-4 с-1 до 5·10-1 с-1.

В указанных условиях, как выявили исследования, сплав в УМЗ состоянии деформируется в состоянии СП.




а) б) в)

Рис. 1. Растровая электронная микроскопия:
а) боковой поверхности образцов после СПД при температуре 550 °С;
б) поверхности излома образцов после СПД при температуре 550 °С
и сканирующая зондовая микроскопия поверхности рабочей части образцов
после СПД при температуре 550 °С (в).




а) б) в)

Рис. 2. Растровая электронная микроскопия:
а) боковой поверхности образцов после СПД при 600 °С,
б) поверхности излома образцов после СПД при 600 °С
и сканирующая зондовая микроскопия поверхности рабочей части образцов
после СПД при 600 °С (в).

В ходе деформации в оксидной пленке образуются трещины (рисунок 1 а, рисунок 2 а), в которые проникает кислород, дополнительно окисляя поверхность сплава. При этом, толщина оксидной плёнки продолжает увеличиваться (чем выше температура и ниже скорость деформации, тем оксидная пленка толще). На снимке хорошо видны трещины оксидной плёнки (рисунок 1 а).

Поверхность излома (рисунок 1 б, рисунок 2 б) характерна для образцов, деформированных при повышенной температуре. Характер разрушения материала в глубине образца вязкий и осуществляется путем отрыва по механизму образования фасеток. Особенно это характерно для температуры 550 ºС. Ямки – равноосные, почти одинаковых размеров, фасеток скола не наблюдается (рисунок 1 б). При более высокой температуре фасеточный излом вырождается в тонкую линию (рисунок 2 б), где встречаются первичные трещины.

На рисунке 1 в видны следы разрушения оксидной плёнки, образующие систему крупных и мелких деформационных полос, связанных с грани-

цами зерен. При температуре 600 °С (рисунок 2 в) дополнительно возникают продольные складки, связанные с поперечным сужением образца.

В таблице 1 представлены зависимости напряжения σ30, относительного удлинения δ и коэффициента скоростной чувствительности m от скорости деформации при температурах 550 и 600 °С. При температуре 550 °С максимум СП приходится на скорость 10-4 с-1. При повышении температуры до 600 °С максимальные показатели СП смещаются в сторону больших скоростей деформации.

Таблица 1.

Зависимости напряжения σ30, относительного удлинения δ и коэффициента m от скорости деформации при температурах 550 и 600 °С.

| | ТЕМПЕРАТУРА, °С | СКОРОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ, ε̇, с-1 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10-4 | 5·10-4 | 10-3 | 2·10-3 | 5·10-3 |
| σ30, МПа | 550 | 260 | 407 | 430 | 520 | 650 |
| | 600 | 80 | 111 | 150 | 180 | 206 |
| δ, % | 550 | 211 | 105 | 94 | 76 | 50 |
| | 600 | 330 | 383 | 620 | 470 | 272 |
| m | 550 | 0,35 | 0,25 | 0,21 | 0,13 | 0,08 |
| | 600 | 0,34 | 0,40 | 0,45 | 0,35 | 0,29 |

Таким образом, установлено, что титановый сплав ВТ22 в УМЗ состоянии проявляет СП свойства уже при 550 °С, а максимальная СП проявляется при 600 °С.

Список используемых источников.

1. Валиахметов, О. Р. Механические свойства титанового сплава ВТ8 с субмикрокристаллической структурой / О. Р. Валиахметов, Р. М. Галеев, Г. А. Салищев // Металлы. – 2000. – № 2. – С. 204 - 205.

2. Низкотемпературная сверхпластичность и изготовление полых конструкций из титанового сплава ВТ6 / Р. Я. Лутфуллин, А. А. Круглов, М. Х. Мухаметрахимов, О. А. Руденко // Письма о материалах. – 2015. – Т. 5. – № 2. – С. 185 – 188.

3. Классман, Е. Ю. Получение листов сплава ВТ22 с УМЗ структурой путем изотермической прокатки / Е. Ю. Классман, В. В. Астанин, П. А. Классман // Перспективные материалы. – 2009. – № 7. – С. 14 - 16.

4. Классман, Е. Ю. Деформационное поведение сплава ВТ22 после изотермической прокатки / Е. Ю. Классман, В. В. Астанин, П. А. Классман // Перспективные материалы. – 2011. – № 12. – С. 218 - 223.

# ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОШКОВОГО СПЛАВА ЖЕЛЕЗО – КАРБИД ВОЛЬФРАМА

**Лоскутова А. Д., Королева И. Л.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***anya.loskutova.94@mail.ru***

Широкое распространение в электронике в настоящее время имеют карбиды. Например, хорошо известен полупроводниковый материал карбид кремния SiC, обладающий рядом ценных полупроводниковых свойств. В связи с тем, что в современном мире проводятся исследования по созданию композитных проводящих материалов, обладающих специальными свойствами [1], могут представлять интерес и карбиды металлов. Например, сплав системы W - C в основном применяется как конструкционный и материал для изготовления инструмента. Но интересными являются исследования его электрофизических свойств в составе композитного материала с металлом.

Удельное сопротивление карбида вольфрама по литературным данным из различных источников составляет примерно 1,9 10-5 Ом*см, но это усредненное значение. Удельное сопротивление меди в отожженном состоянии при 20 °С составляет 1,7241 10-6 Ом*см. В любом случае удельное сопротивление сплавов системы W – C имеет величину, большую на порядок.

Сплавы системы W – C обладают небольшой нестехиометрией. Этот факт дает возможность изменяться удельному сопротивлению при изменении температуры аналогично изменениям в нестехиометрических композитных полупроводниковых терморезисторах [2, 3]. Добавление металла в композит со сплавом W – C может внести изменения в электрофизические свойства композитного материала. Для получения композитного материала на основе металла со сплавом системы W–C в качестве первого выбрано железо. Железо не относится к хорошим проводникам, таким как алюминий, медь и, тем более, благородные металлы. В связи с этим композит с железом может представлять больший интерес, чем с хорошим проводником.

Композитный материал железо – карбид вольфрама изготавливался методом прессования из порошков железа и карбида с последующим спеканием.

В эксперименте исследовалась зависимость величины удельного сопротивления от температуры. Для подтверждения результатов при одинаковых технологических параметрах были изготовлены десять образцов одинакового химического состава. Эксперимент проводился в электропечи в температурном диапазоне от 20 до 110 °С. Результаты эксперимента приведены графически на рисунке 1.

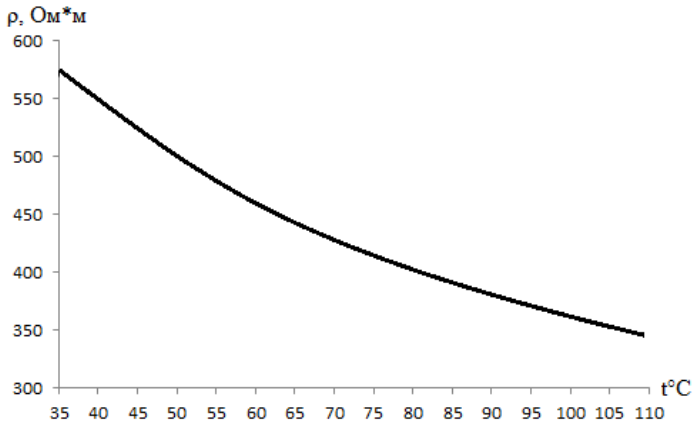



Рис. 1. Температурная зависимость удельного сопротивления композитного сплава железо – карбид вольфрама.

Значения удельного сопротивления на координатной плоскости нанесены усредненные по десяти образцам. Максимальный разброс значений составляет 10 %, что, скорее всего, связано с неоднородностью сплава после перемешивания порошков.

В результате эксперимента выясняется, что температурная зависимость удельного сопротивления исследуемого композитного материала железо – карбид вольфрама имеет вид такой же, как у классического полупроводника – удельное сопротивление падает с ростом температуры.

Список используемых источников.

1. Бруснецов, Ю. А. Исследование электрофизических процессов в полевых полупроводниковых структурах для измерения теплофизических характеристик / Ю. А. Бруснецов, А. В. Озаренко, А. П. Королев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-т. – 2006. – Т. 12, №1А. – С. 122 – 128.

2. Королев, А. П. Размерное квантование в подзатворном слое полевой полупроводниковой структуры / А. П. Королев, В. А. Ершов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-т. – 2016. – Т. 22, № 1. – С. 108 – 113.

3. Королев, А. П. Образование заряда в квантовой яме в полевой структуре / А. П. Королев, Ю. В. Яцинин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-т. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 525 – 528.

# НАРУШЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

**Королев А. П., Верчёнов В. С., Никитин А. В., Мордасов М. Д.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***korolevanpal@yandex.ru***

Острая необходимость, эффективно обрабатывать детали сложной формы из материалов труднообрабатываемых резанием предопределила возникновение ряда новых методов. К ним относятся электрофизические и электрохимические методы обработки. Одним из таких методов является электрическая эрозия.

Электрическая эрозия – это разрушение поверхности токопроводящего материала под действием электрических разрядов [3]. Наглядным примером электрической эрозии может служить разрушение контактов выключателей рубильников и реле при разрыве электрических цепей [2].

Одной из разновидностей электроэрозионной обработки, является электроискровая сложноконтурная проволочная вырезка (рис. 1).

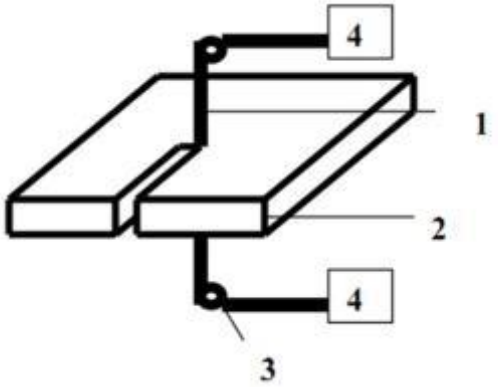
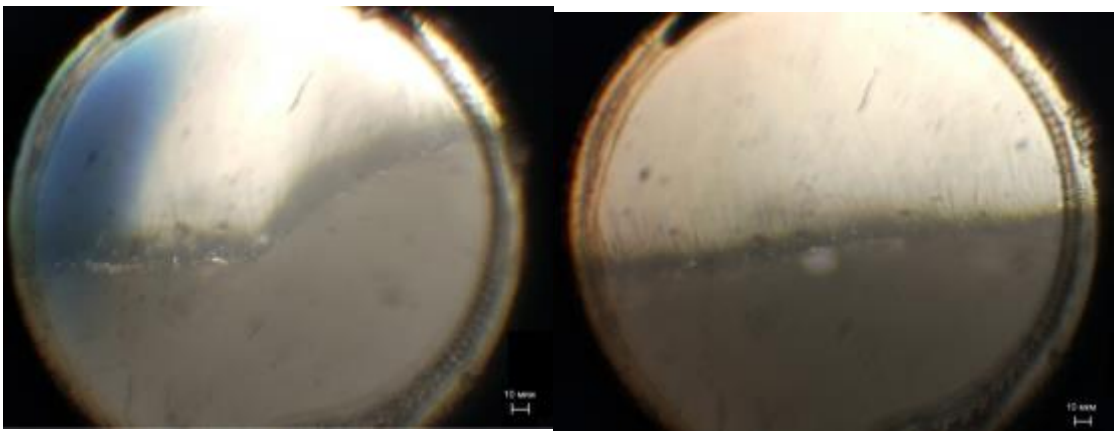



Рис. 1.Сложноконтурная проволочная вырезка:
1 - проволока, 2 - обрабатываемая деталь, 3 - направляющие ролики,
4 - устройство для регулирования скорости протяжки проволоки.

В процессе электроэрозионной обработки удаление металла с заготовки происходит за счет серии импульсов, воздействующих на участки поверхности. От параметров импульса зависит объем выплавляемого им металла (объем лунки). Наибольшее влияние на объем выплавляемого металла оказывает энергия импульса. С увеличением энергии импульса, объем выплавляемого металла возрастает, поэтому увеличивается производительность обработки, а точность и шероховатость поверхности ухудшается[1].

Исследования проводились с низкоуглеродистой высоколегированной сталью, в которой примерно 0,03 % углерода. Образец был подвержен электроэрозионной обработки. На рисунке 2 (а, б) представлена микроструктура стали.



а) б)

Рис. 2. Микроструктура низкоуглеродистой высоколегированной стали. Увеличение 650х.

На данных снимках виден микрорельеф обработанной поверхности, представленный в виде шероховатости.

Кроме шероховатости наблюдаются дефекты в виде пробоев, которые могут быть связанны с воздействием электрическо-дуговых разрядов. Механизм разрушения под действием электрической дуги вызывает большой интерес. Необходимость изучения обусловлена тем, что такое нарушение поверхностного слоя в дальнейшем приводит к коррозии на поверхности высоколегированной стали.

Список используемых источников.

1. Электроэрозионная обработка материалов / Е. Ф. Немилов. – Машиностроение, 1983.

2. Лев, В. С. Электроэрозионная обработка металлов. Справочное пособие по электротехнологии / В. С. Лев, Е. М. Левинсон. – Лениздат, 1972.

3. ГОСТ 25331-82. Обработка электроэрозионная. Термины и определения.

# РЕГИСТРАЦИЯ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В ПЛЕНКАХ ЛЕНГМЮРА

**Мордасов Д. М.[1], Мордасова Н. А.[2], Корендясев С. П.[1]**
*[1]Тамбовский государственный технический университет, Тамбов*
**mit@mail.nnn.tstu.ru**
*[2]Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, Белгород*

Пленки Ленгмюра представляют собой сформированные на поверхности жидкой субфазы мономолекулярные слои амфифильных веществ.

Пленка Ленгмюра, в зависимости от концентрации молекул вещества на единицу площади, может существовать в различных фазовых состояниях: газ, жидкость, жидкий кристалл и твердое вещество. Изменение фазового состояния происходит при сжатии мономолекулярного слоя на поверхности жидкости.

Одним из эффективных методов изучения и моделирования материалов и процессов является фрактальный анализ [1-5], при проведении которого определяют фрактальную размерность и выявляют закономерности ее изменения под влиянием вариации структурных характеристик и физических свойств как отдельных компонентов системы, так и их совокупности.

Самоорганизующаяся пленка Ленгмюра является классическим фрактальным объектом, размерность которого определяется степенью заполнения пространства и распределением в нем структурных составляющих (молекул).

Ранее нами была разработана методика и осуществлено моделирование молекулярных пленочных структур [2].

На зависимости фрактальной размерности мономолекулярного слоя от его удельной площади можно выделить 4 участка, переход между которыми сопровождается скачкообразным изменением фрактальной размерности. Эти участки соответствуют четырем фазовым состояниям слоя – газообразному, жидкому, жидкокристаллическому и твердому, а скачки фрактальной размерности обусловлены фазовыми переходами 1 рода. При изменении фазового состояния монослоя от газообразного до твердого прослеживается тенденция роста фрактальной размерности, которая в случае плотнейшей упаковки молекул (твердая фаза), достигает значения 2,88.

Экспериментальная проверка полученных закономерностей осуществлялась на специально созданной экспериментальной установке, особенности конструкции которой описаны в [6], информацию о структурно-фазовом состоянии мономолекулярного слоя получали при помощи специально созданного углового микроскопа.

На рис. 1 представлена экспериментально полученная зависимость фрактальной размерности мономолекулярного слоя от его удельной площади.

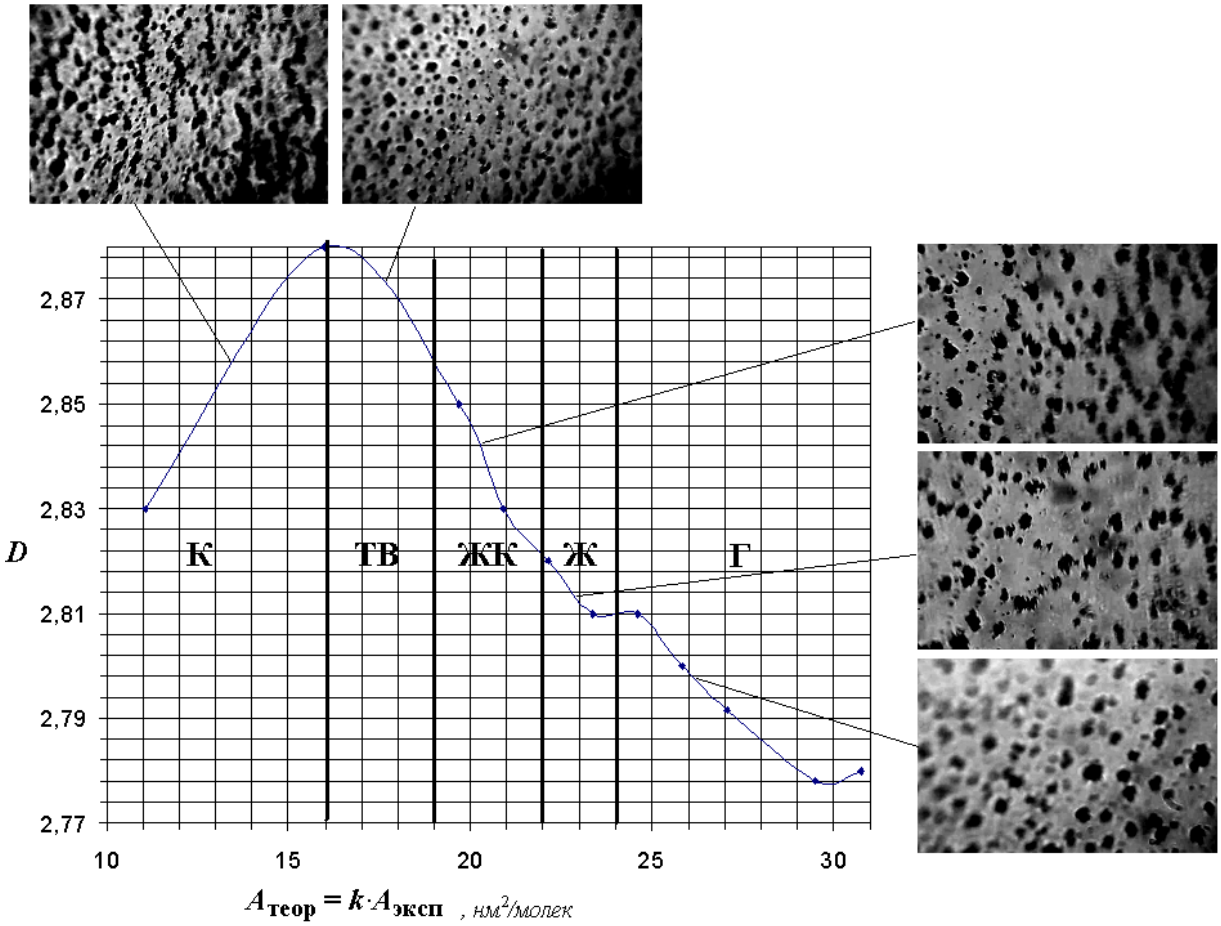



Рис. 1. Экспериментальная зависимость фрактальной размерности мономолекулярного слоя от его удельной площади.

При обработке экспериментальных данных выявлено их расхождение по сравнению с теоретическими, что вызвано влиянием систематических погрешностей. Для устранения данного несоответствия введен коэффициент k=188,6.

Анализ результатов фрактального анализа смоделированных структур и экспериментально полученных данных подтверждает адекватность разработанной методики регистрации фазовых переходов в пленках Ленгмюра в процессе их самоорганизации.

Таким образом, на основе результатов проведенного моделирования мономолекулярных слоев и фрактального анализа микроструктур, установлена связь фрактальной размерности с удельной молекулярной площадью. Изменение фрактальной размерности при фазовых переходах 1 рода в самоорганизующемся мономолекулярном слое носит скачкообразный характер.

Полученные результаты могут быть использованы при создании пленок с заранее заданными свойствами, а также при создании новых бесконтактных методов контроля поверхностного давления различных пленочных структур на поверхности жидкой субфазы.

Список используемых источников.

1. Мордасов, Д. М. Влияние истинной плотности частиц порошковых систем на их фрактальную размерность / М. Д. Мордасов, А. В. Фирсова, Д. М. Мордасов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 348 – 355.

2. Мордасов, Д. М. Моделирование и фрактальный анализ молекулярных пленочных структур / Д. М. Мордасов, С. П. Корендясев, А. В. Фирсова, М. М. Мордасов // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23. – № 3. – С. 527-534.

3. Мордасов, Д. М. Исследование структурных характеристик и физико-механических свойств реальных фрактальных кластеров / Д. М. Мордасов, А. В. Медведева, М. Д. Мордасов // Инновационное направление учебно-методической и научной деятельности кафедр материаловедения и технологий конструкционных материалов: материалы Всерос. совещ. с междунар. участием зав. кафедрами материаловедения и технологий конструкц. материалов. Саранск, 26 – 29 октября 2016 г. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2016. – С. 80 – 83.

4. Мордасов, Д. М. Моделирование слоя углеродных сыпучих материалов на основе теории фракталов / Д. М. Мордасов, А. В. Медведева // Шестьдесят девятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 20 апреля 2016 г., Ярославль: сб. материалов конф. [Электронный ресурс]. – Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2016. – С. 792-795.

5. Мордасов, Д. М. Определение фрактальной размерности порошковых материалов / Д. М. Мордасов, А. В. Медведева // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы VIII Международной научно-инновационной молодежной конференции: 27 - 28 октября 2016. – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2016. – С. 371-374.

6. Мордасов, Д. М. Угловая микроскопия пленок Ленгмюра / Д. М. Мордасов, А. В. Фирсова, И. В. Труфанов, М. Д. Мордасов // Многомасштабное моделирование структур, строение вещества, наноматериалы и нанотехнологии: материалы IV международной конференции. – Тула: Изд-во. Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого, 2017. – С. 59-60.

# ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО НАНОВОЛОКНА МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

**Озеров В. С.[1], Маркидонов А. В.[1, 2]**
*[1]Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк*
*[2]Филиал Кузбасского государственного технического университета им. Т. Ф. Горбачева в г. Новокузнецке*

В последнее время в научной литературе отмечается рост публикаций посвященных исследованию с привлечением ЭВМ структурно-энергетических превращений в процессе деформации нановолокон на основе чистых металлов, таких как золото, серебро, никель, алюминий и др [1,2].

В связи с изложенным, представленное исследование, с привлечением метода молекулярной динамики, структурно-энергетических превращений в нановолокнах чистых ГЦК металлов является актуальным.

Целью данной работы является исследование процесса деформации металлического нановолокна Ni с помощью метода молекулярной динамики, применимого для проведения исследований в области физики конденсированных состояния.

Метод молекулярной динамики базируется на математической модели, состоящей из системы дифференциальных уравнений, разностной схемы, потенциала межатомного взаимодействия, начальных и граничных условий [3]. Задание начальных условий является нетривиальной задачей, так как положение частиц и их скорости оказывают значительное влияние на получаемые в процессе моделирования результаты.

Образец металлического нановолокна был исследован при помощи метода молекулярной динамики, а в качестве потенциальной функции используется потенциал Морзе.

На рисунке 1 представлен исходный образец металлического нановолокна, который был исследован с помощью метода молекулярной динамики.

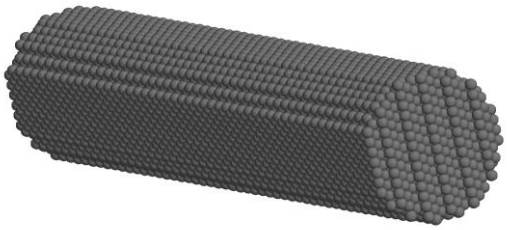


Рис. 1. Исходный образец металлического нановолокна.

Моделирование процесса деформации волокна осуществлялась следующим образом. Граничные атомы модели, соответствующие области основания цилиндра жестко фиксировались, при этом для всей модели применялись свободные граничные условия. В определенный момент времени фиксированные атомы смещались в противоположные стороны вдоль направления X

расчетной ячейки на расстояние, равное 0.5 Å. После этого следовала релаксация системы, путем многократного обнуления скоростей атомов, в течение 5 пс, что соответствует 1000 шагам компьютерных вычислений. Весь набор этих процедур рассматривался нами как один цикл деформации. Результаты эксперимента представлены ниже.

На рисунке 2 представлен образец металлического нановолокна, прошедший 30 циклов деформации.

Рис. 2. Образец металлического нановолокна, прошедший 30 циклов деформации. Изображение нановолокна представлено повернутым вдоль оси x.

На рисунке 3 представлен образец металлического нановолокна, прошедший 44 цикла деформации. Это последний этап деформации, на котором происходит разрыв нановолокна.

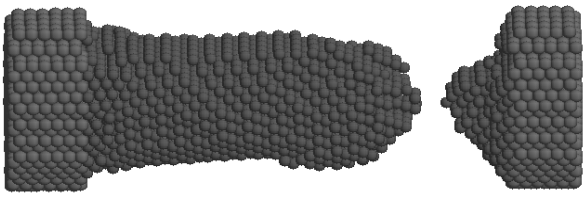


Рис. 3. Образец металлического нановолокна, прошедший 44 цикла деформации. Изображение нановолокна представлено повернутым вдоль оси x.

Результаты экспериментов, представляющие собой значение потенциальной энергии системы после выполнения различного количества циклов деформирования структуры, представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Значение потенциальной энергии системы после выполнения заданного числа циклов деформации.

| Количество циклов деформации | E, эВ |
|---|---|
| 10 | -4,27256453 |
| 15 | -4,26362416 |
| 30 | -4,23471606 |
| 44 | -4,23230096 |

Зависимость потенциальной энергии системы от относительного удлинения нановолокна, представлена на рисунке 4.

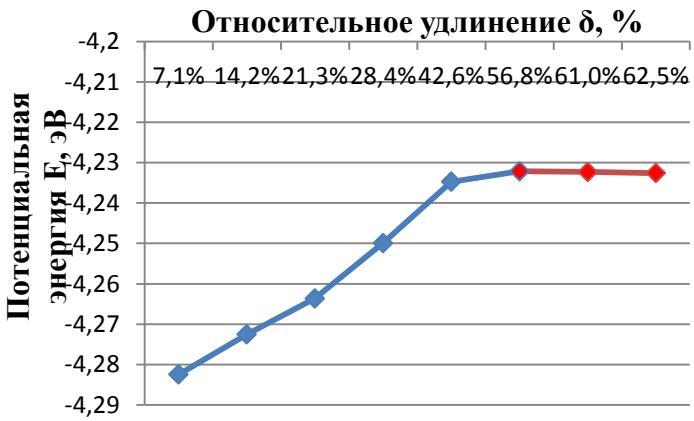



Рис. 4. График зависимости потенциальной энергии системы E в эВ, от относительного удлинения нановолокна δ в %.

Полученное экспериментально относительное удлинение нановолокна при разрыве составляет 62,5%, что на 25% больше промышленного отожженного образца, относительное удлинение которого составляет 37,5%.

Исходя из полученных экспериментальных данных, можно утверждать, что нановолокна чистого ГЦК металла обладают не только уникальными, но и лучшими прочностными свойствами, чем массивный материал, так как металлическое нановолокно не имеет дефектов.

Список используемых источников.

1. Яшин, О. В. Исследование проявлений анизотропии свойств нановолокон в процессе деформации // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2016. – Т.21. – №3. – С.1456-1460.

2. Яшин, А. В. Исследование особенностей и стадий деформации нановолокон ряда металлов и сплава Ni3Al на основе ГЦК решетки: автореф. диссер. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук // Алтайский гос. техн. университет им. И.И. Ползунова – Барнаул, 2010г. – С. 1-22.

3. Мажукин, В. И., Шапранов, А. В. Математическое моделирование процессов нагрева и плавления металлов. Часть I. Модель и вычислительный алгоритм // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша, 2012. – № 31. – 27 с. [Electronic resource]. Mode of access: http: //library.keldysh.ru/ preprint.asp?id=2012-31.

# ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КРУЧЕНИЯ ПОД КВАЗИГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ НА МИКРОСТРУКТУРУ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ФАЗЫ BI(PB)2223

**Пархимович Н. Ю., Имаев М. Ф.**
***Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа***

Из-за узкого интервала существования фазы Bi(Pb)2Sr2Ca2Cu3O10+d {Bi(Pb)2223} на диаграмме фазового равновесия получить острую текстуру в объемных изделиях из керамики на основе фазы Bi(Pb)2223 расплавными методами не представляется возможным [1]. Основным методом получения текстуры в Bi(Pb)2223 является горячая деформация. Для этой цели наиболее часто используют метод одноосного сжатия. В отличие от одноосного сжатия горячее кручение под квазигидростатическим давлением (КГД) позволяет достичь больших степеней деформации и получить более острую текстуру [2], что позволяет рассматривать КГД как перспективный метод текстурирования объемной керамики Bi(Pb)2223.

Деформация КГД является сложным процессом, поскольку включает в себя множество факторов: температура и скорость кручения, давление, режимы нагрева и охлаждения. Керамика на основе фазы Bi(Pb)2223 является многофазным материалом, и при деформации частицы вторичных фаз оказывают существенное влияние на микроструктуру фазы Bi(Pb)2223. Целью данной работы было изучить взаимосвязь микроструктуры и текстуры керамики Bi(Pb)2223 при различных температурах деформации КГД.

Исходными образцами были спеченные таблетки керамики Bi(Pb)2223 диаметром 8 мм и высотой около 2 мм. Образцы деформировали методом КГД по следующим режимам: температуры деформации T = 845 – 865 $^{o}$C, давление P = 10 МПа, скорость кручения $\omega = 1{,}85 \cdot 10^{-4}$ об/мин, углы кручения $\alpha = 5 - 30^{o}$. По изображениям, полученным на растровом электронном микроскопе Tescan Mira, измеряли среднюю длину L колоний матричной фазы Bi(Pb)2223, а также среднюю площадь S и суммарную объемную долю частиц вторичных фаз (Sr,Ca)14Cu24O41 и (Sr,Ca)2CuO3. Средние значения структурных составляющих определяли на основе статистической выборки объемом не менее 800 измерений. Более подробно методики получения образцов, КГД, исследования микроструктуры, измерения степени остроты базисной текстуры (фактора F) изложены в работе [3].

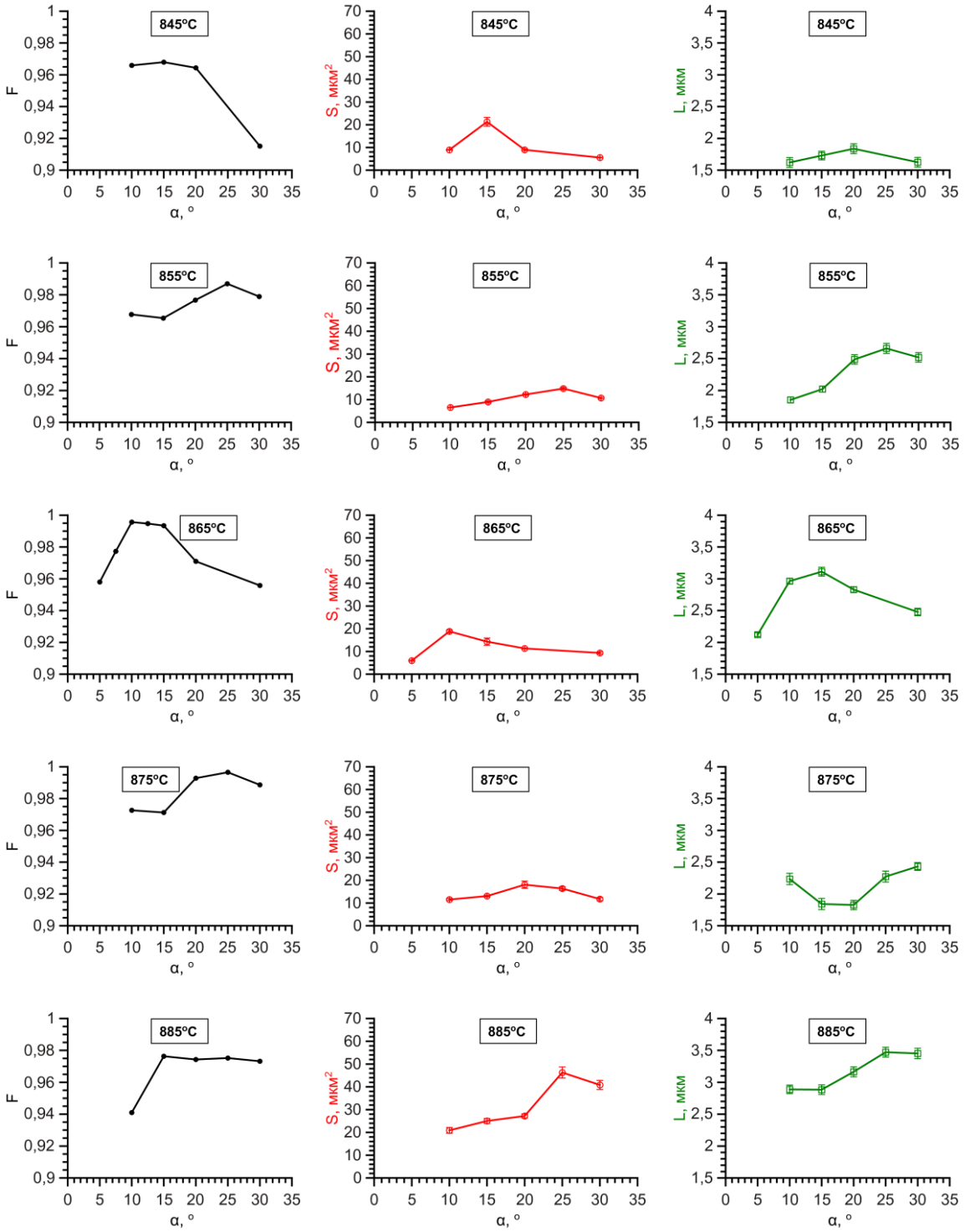



Рис. 1. Зависимости степени остроты базисной текстуры (*F*), средней площади частиц вторичных фаз (*S*) и средней длины колоний матричной фазы (*L*) от угла кручения α при различных температурах деформации.

На рис. 1 представлены зависимости степени остроты базисной текстуры (F), средней площади частиц вторичных фаз (Sr,Ca)14Cu24O41 и (Sr,Ca)2CuO3 (S) и средней длины колоний зерен матричной фазы Bi(Pb)2223 (L). При температурах КГД 855 °C и 865 °C зависимости F(α), S(α) и L(α) коррелируют друг с другом, что связано с протеканием динамической рекри-

сталлизации [4]. Данная корреляция нарушается при T = 875 и 885 $^{o}$C. При T = 875 $^{o}$C наблюдается «провал» на зависимости L(α) в интервале углов 15 – 20$^{o}$ при сохранении корреляции зависимостей F(α) и S(α). По-видимому, провал на зависимости L(α) связан с тем, что при данной температуре КГД выделяются крупные частицы фазы (Sr,Ca)2CuO3 [3]. Частицы (Sr,Ca)2CuO3, выделяясь преимущественно по границам колоний Bi(Pb)2223, затрудняют межколониальное проскальзывание и ускоряют наклеп колоний. Это приводит к динамической рекристаллизации и измельчению колоний Bi(Pb)2223.

При T = 885 $^{o}$C происходит интенсивный рост как колоний фазы Bi(Pb)2223, так и частиц вторичных фаз, вследствие чего величина F выходит на постоянное значение уже после α = 15$^{o}$. При данной температуре объёмная доля частиц вторичных фаз также увеличивается до 18 об. %, в то время как при более низких температурах на всех углах кручения она находится в интервале 5 – 10 об. %.

Таким образом, оптимальным режимом деформации является КГД при T = 865 $^{o}$C на угол 10$^{o}$. В этих условиях острая текстура достигается при сравнительно небольших размерах колоний фазы Bi(Pb)2223 и частиц вторичных фаз.

Список используемых источников.

1. Majewski, P. Materials aspects of the high-temperature superconductors in the system Bi2 O3 -SrO-CaO-CuO // Journal of Materials Research. – 2000. – Vol. 15. – № 4. – P. 854 - 870.

2. Imayev, M. F., Kabirova, D. B., Dementyev, A. V. The effect of deformation temperature on the microstructure and texture in YBa2Cu3O7-x ceramics processed by torsion under pressure // New Research on YBCO Superconductors, Ed. David M. Friedman. – 2008. – P. 235 - 252.

3. Структура и фазовые превращения при горячей деформации высокотемпературного сверхпроводника Bi (Pb) 2223: I. Вторичные фазы / Н. Ю. Пархимович, М. Ф. Имаев // Письма о материалах. – 2013. – Т. 3. – № 3. – С. 188 - 192.

4. Структура и фазовые превращения при горячей деформации высокотемпературного сверхпроводника Bi (Pb) 2223: II. Текстура и микроструктура / М. Ф. Имаев, Н. Ю. Пархимович // Письма о материалах. – 2016. – Т. 6. – № 4. – С. 343 -346.

# ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-СКОРОСТНЫХ УСЛОВИЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ И СТРУКТУРУ ГРАНУЛЬНОГО СПЛАВА ЭП741НП*

**Ганеев А. А., Валитов В. А., Утяшев Ф. З., Имаев В. М.**
***Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа***
**artem@imsp.ru, valitov_va@imsp.ru, ufz1947@mail.ru, vimayev@mail.ru**

Гранульные никелевые сплавы широко используются для изготовления деталей газотурбинного двигателя (ГТД) [1-3]. Для повышения механических свойств труднодеформируемых никелевых сплавов, в том числе гранульных сплавов, их подвергают деформационно-термической обработке (ДТО) [3-8] . Однако низкая деформационная способность сложнолегированных никелевых сплавов приводит к снижению коэффициента использования материала. Для обеспечения удовлетворительной деформируемости и полного прохождения рекристаллизационных процессов в объеме материала важно оптимизировать температурно-скоростные условия деформации.

Цель работы: установить влияние температурно-скоростных условий деформации по схеме одноосного сжатия на деформируемость и формирование мелкозернистой структуры в никелевом сплаве ЭП741НП.

Номинальный химический состав ЭП741НП: Cr - 9.3; Ti - 1.8; Al - 5.2; Mo - 4; Nb - 2.7; Co – 15.7; W - 5.4; Hf – 0.2, C – 0.04, B – 0.014 (вес. %). Исходная заготовка сплава ЭП741НП Ø90×60 мм была получена в состоянии после горячего изостатического прессования (ГИП). Температура полного растворения γ′-фазы была составила $T_S$=1180±5 °С. Заготовку подвергли гетерогенизирующему отжигу и вырезали образцы Ø10×15 мм.

Образы подвергали непрерывной (одноступенчатой) деформации в температурном интервале Т=900÷1190 °С с начальной скоростью деформации $\acute{\varepsilon}=10^{-3}$ $c^{-1}$ до степени деформации e≈1.05. Температурный интервал, обеспечивший наилучшее сочетание деформируемости, объемной доли и размера рекристаллизованных зерен, был выбран для последующей дробной (трехступенчатой) деформации с различной начальной скоростью деформации $\acute{\varepsilon}=10^{-4}$-$10^{-1}$ $c^{-1}$ до суммарной степени деформации e≈1.05. Дробную деформацию осуществляли с промежуточными отжигами при температуре деформации в течение 4 часов.

Для оценки деформируемости сравнивали внешний вид и максимальную глубину трещин при одинаковой степени деформации. Глубину трещин определяли на полированных поперечных шлифах. Исследование структуры деформированных образцов проводили методами оптической и растровой электронной микроскопии в центральной части образцов.

**Непрерывная (одноступенчатая) деформация.** С увеличением температуры испытаний напряжения течения уменьшаются, а деформируемость – увеличивается (таблица 1). Исследование микроструктуры показало, что при температуре выше 1050 °С формируется структура, представляющая со-

бой нерекристаллизованные участки, окруженные мелкими зернами γ и γ′-фаз. С увеличением температуры деформации размер и объемная доля рекристаллизованных зерен увеличиваются. Вблизи температуры сольвуса γ′-фазы наблюдается резкое увеличение среднего размер рекристаллизованных зерен: при *T*=1175 и 1190 °С средний размер рекристаллизованных зерен достигает 14 и 65 мкм соответственно. Оптимальная температура деформации для формирования мелкозернистой структуры находится в диапазоне *T*=1140-1160 °С.

Таблица 1.

Максимальная глубина трещин и параметры микроструктуры, полученные для образцов сплава ЭП741НП, подвергнутых непрерывной деформации, в зависимости от температуры деформации ($\acute{\varepsilon}=10^{-3}$ $c^{-1}$, e=1.05).

| Максимальная глубина трещин и параметры микроструктуры | Температура деформации, °С | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1100 | 1140 | 1175 | 1190 |
| Макс. глубина боковых трещин, L, мм | 4 | 3.2 | 2.6 | 2.2 |
| Объемная доля рекр. зерен, $V_{р.з.}$, % | 48 | 55 | 60 | ≈100 |
| Средний размер рекр. зерен, d, мкм | 1.2 | 3.3 | 14 | 65 |

**Дробная (трехступенчатая) деформация с промежуточными отжигами.** Обнаружена немонотонная зависимость деформируемости сплава от скорости дробной деформации (таблица 2, рис. 1 а, б, в): деформируемость достигает максимума при скорости $5\cdot10^{-3}$ $c^{-1}$. Исследование микроструктуры (рис. 1 г, д, е) показало, что с увеличением скорости деформации доля высокоугловых границ зерен и объемная доля рекристаллизованных зерен возрастает, а размер зерен – уменьшается. Это связано с тем, что при бóльших скоростях деформации увеличивается накопленная энергия деформации, в результате при отжигах образуется большее число центров рекристаллизации, что приводит к увеличению объемной доли рекристаллизованных зерен и уменьшению их размера.

Таблица 2.

Максимальная глубина трещин и параметры микроструктуры, полученные для образцов сплава ЭП741НП, подвергнутых дробной деформации, в зависимости от скорости деформации (T=1140 °С, e=1.05).

| Максимальная глубина трещин и параметры микроструктуры | Скорость деформации, $\acute{\varepsilon}$, $c^{-1}$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $10^{-4}$ | $5\cdot10^{-3}$ | $5\cdot10^{-2}$ | $10^{-1}$ |
| Макс. глубина боковых трещин, L, мм | 3.3 | 1 | 1.6 | 1.5 |
| Объемная доля рекр. зерен, $V_{р.з.}$, % | 70 | 84 | ≈100 | ≈100 |
| Средний размер рекр. зерен, d, мкм | 6 | 5.1 | 3.7 | 3.5 |
| Доля высокоугловых границ зерен, % | 70 | 79 | 90 | 90 |

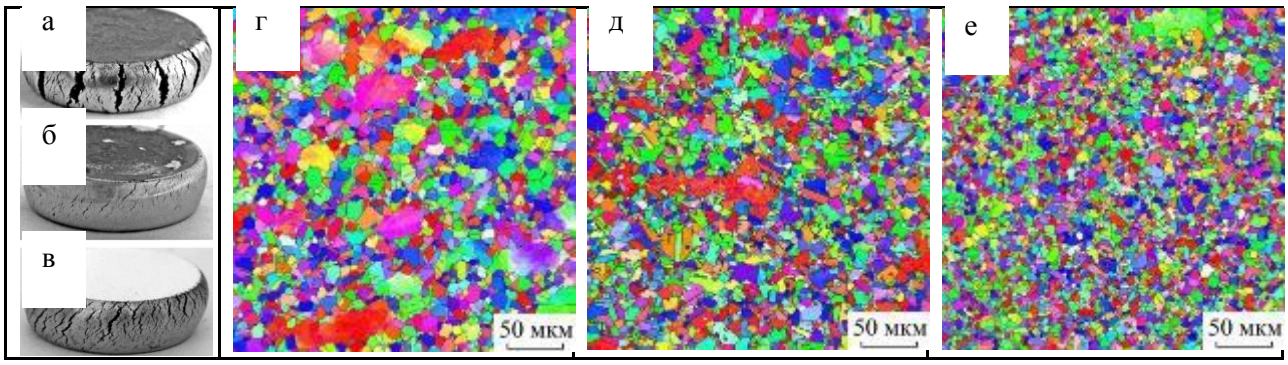



Рис. 1. Внешний вид образцов (а, б, в) и EBSD-карты (г, д, е), полученные от центральной части деформированных образцов сплава ЭП741НП после дробной деформации при T=1140 °C и $\acute{\varepsilon}=10^{-4}$ $c^{-1}$ (а, г), $\acute{\varepsilon}=5\times10^{-3}$ $c^{-1}$ (б, д), $\acute{\varepsilon}=5\times10^{-2}$ $c^{-1}$ (в, е)

Немонотонная зависимость деформируемости от скорости дробной деформации связана с тем, что при малых скоростях деформации доля рекристаллизованных зерен меньше, что ведет к ухудшению пластических свойств, а при бóльших, несмотря на увеличение объемной доли рекристаллизованных зерен при промежуточных отжигах,– затрудняются динамическая рекристаллизация и динамический возврат, что способствует образованию трещин.

Сравнение таблиц 1 и 2 показывает, что после дробной деформации была получена бóльшая объемная доля рекристаллизованных зерен при лучшей деформируемости, чем после непрерывной деформации при той же температуре. В то же время размер рекристаллизованных зерен при дробной и непрерывной деформациях близок, что связано с тем, что при 1140 °C значительная объемная доля γ′-фазы остается нерастворенной и замедляет рост зерен при промежуточных отжигах.

Показано, что деформационно-термическая обработка гранульного никелевого сплава ЭП741НП, включающая дробную деформацию в интервале температур T= 1140-1160 °C и скоростей деформации $\acute{\varepsilon}=5\cdot10^{-3}$-$10^{-2}$ $c^{-1}$ с промежуточными отжигами при температуре деформации, является более эффективной обработкой, чем непрерывная деформация при той же температуре.

**Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 18-19-00685.*

Список используемых источников.

1. Структура и свойства гранулируемых никелевых сплавов / А. Ф. Белов, Н. Ф. Аношкин, О. Х.Фаткуллин. - М.: Металлургия, 1984. – 127 с.

2. Валитов, В. А. Деформационно-термическая обработка - эффективный метод получения ультрамелкозернистой и нанокристаллической структуры в никелевых сплавах // Письма о материалах. – 2013. – Т. 3. – С. 50-55

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОСНОВАНИЯХ

**Желтов А. А., Майникова Н. Ф.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
**teplotehnika@nnn.tstu.ru**

Совершенствование известных и разработка новых эффективных методов неразрушающего контроля (НК) толщины защитных полимерных покрытий на металлических изделиях востребованы и являются актуальными из-за больших объемов практического применения и сложности реализации известных методов [1].

В данной работе исследована работоспособность математической модели распространения тепла в двухслойных объектах контроля при локальной регуляризации тепловых потоков от поверхностного действия плоского нагревателя постоянной мощности [2, 3].

Экспериментально определены значения толщины эпоксидного покрытия на стальных основаниях разработанным методом НК.

Применение в методах неразрушающего контроля толщины двухслойных полимерно-металлических изделий теплового воздействия постоянной мощности от круглого плоского нагревателя в виде диска, встроенного в подложку измерительного зонда, достаточно обосновано и полно представлено в работах [2, 3].

С целью повышения точности определения толщины полимерного покрытия при НК двухслойных материалов авторами рассматривается система, состоящая из ограниченного и полуограниченного тел.

Ограниченный стержень толщиной h1 приведен в соприкосновение с полуограниченным стержнем. Теплофизические свойства стержней (тепловой активностиε; теплопроводностиλ, температуропроводностиа, теплоёмкости с) различны. В начальный момент времени на свободном конце ограниченного стержня начинает действовать источник тепла постоянной мощности q, который действует на протяжении всего процесса нагрева. Математически задача распределения тепла в исследуемой системе может быть записана в виде прямой задачи теплопроводности, решение которой для первого тела имеет вид [3, 4]:

$$T_1(0,\tau) = \frac{2\cdot q}{\sqrt{\pi}}\cdot\frac{\sqrt{\tau}}{\varepsilon_2}+\left(1-\frac{\varepsilon_1^2}{\varepsilon_2^2}\right)\cdot\frac{q\cdot h_1}{\lambda_1} .$$

Выражение представляет собой линейную зависимость вида:

$$T(0,\tau)=b_1\sqrt{\tau}+b_0,$$

где :τ - время, с; $b_1=\frac{2q}{\sqrt{\pi}\varepsilon_2}$.

Полученное решение (1) в форме, пригодной для использования на рабочем участке термограммы (при регуляризации тепловых потоков), было

использовано для получения математических выражений для расчета толщины покрытий на металлических основаниях.Объект исследования – двухслойное тело, первый слой которого низкотеплопроводный, а второй – высокотеплопроводный, т.е. $\lambda_1 << \lambda_2$, тогда $\varepsilon_1 << \varepsilon_2$.

Следовательно,

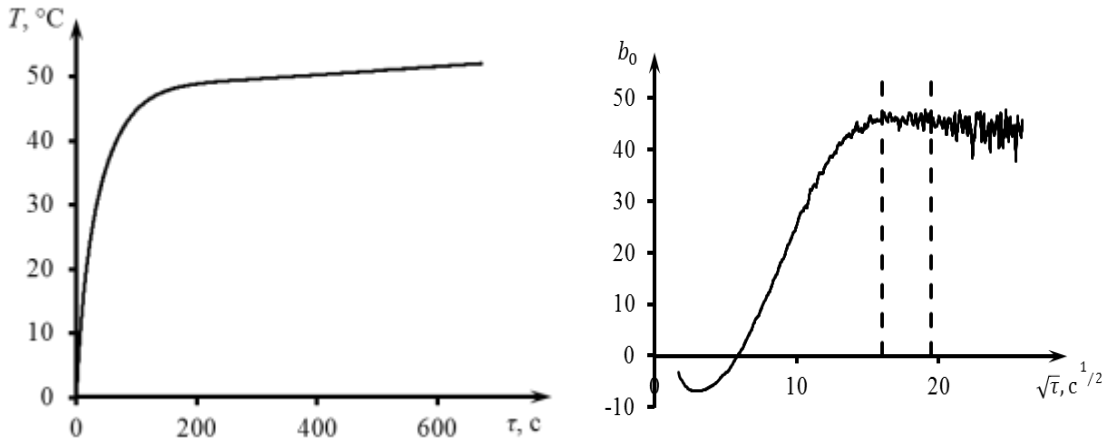
$$b_0 = \left(1 - \frac{\varepsilon_1^2}{\varepsilon_2^2}\right) \cdot \frac{q \cdot h_1}{\lambda_1} \approx \frac{q \cdot h_1}{\lambda_1}.$$

Из данного выражения следует, что

$$h_1 = \frac{\lambda_1 \cdot b_0}{q}.$$

Таким образом, зная теплопроводность материала покрытияλ1, можно определить его толщину h1 при реализации в эксперименте одномерного распространения тепла и режима регуляризации, проведении градуировочных измерений.

Для экспериментальной проверки работоспособности метода определяли толщину покрытия из эпоксидной эмали ($\lambda_1$ = 0,13 Вт/(м·К)) на стальной пластине. Испытаниям подвергали три изделия с различными толщинами покрытий h1 при мощности теплового воздействия на нагревателе – 3900 Вт/м2(радиус нагревателя – 0,004 м), временной шаг измерения температуры Δτ= 0,25 с.




а) б)

Рис. 1. Термограмма (а) и зависимость b0 = f($\sqrt{\tau}$) (б).

Пример термограммы (а), зарегистрированной при проведении опыта, и график зависимости b0 = f($\sqrt{\tau}$) (б), которая отображает изменение коэффициента математической модели b0, описывающего термограмму на рабочем участке, представлены на рисунке [4]:

Таблица 1.

Результаты экспериментов на стальном изделии
с покрытием из эпоксидной эмали.

| № опыта | h1и, мм | b0 | h1, мм | $\delta = \left\lvert \frac{h_{1и} - h_1}{h_{1и}} \right\rvert$,% |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 0,14 | 39,66 | 0,132 | 5,7 |
| 2 | 0,16 | 44,28 | 0,158 | 1,3 |
| 3 | 0,20 | 46,38 | 0,193 | 3,5 |

Здесь: h1и – толщина покрытия, определённая как разность толщины изделия с покрытием и толщины изделия без покрытия, измеренных с помощью электронного штангенциркуля.

Результаты экспериментов, представленные в таблице, подтверждают работоспособность метода неразрушающего контроля толщины низкотеплопроводных покрытий на металлических изделиях. Относительная погрешность определения толщины покрытия не превышает 6%.

Список используемых источников.

1. Кудинов, В. А. Аналитические решения задач тепломассопереноса и термоупругости для многослойных конструкций / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, В. В. Калашников. – М.: Высшая школа. – 2005. – 430 с.

2. Жуков, Н. П. Моделирование процесса теплопереноса от плоского источника тепла постоянной мощности при теплофизических измерениях / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова // Инженерно-физический журнал. – 2005. – Т. 78. – № 6. – С. 56 – 63.

3. Моделирование теплопереноса в методе неразрушающего контроля двухслойных материалов / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов, А. О. Антонов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19. – №3. – С. 506 – 511.

4. Жуков, Н. П. Метод неразрушающего определения толщины защитных покрытий / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23. – № 1. – С. 6 – 11.

# ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС ПРИ ТВЕРДОФАЗНОЙ ШТАМПОВКЕ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

**Дмитриев О. С., Баронин Г. С., Попов В. А., Худяков В. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
**phys@nnn.tstu.ru**

Политетрафторэтилен (фторполимер) и нанокомпозиты (НК) на его основе, модифицированные дисперсным наполнителем, широкое применяются в современной технике. Увеличивается и выпуск изделий из них, что вызывает необходимость математического моделирования и оптимизации технологии их производства. Для модификации фторполимерного нанокомпозита использованы наночастицы кобальта КоФП. Они влияют на физико-механические свойства материала, повышают пластичность НК и делают его пригодным для твердофазной штамповки [1].

Технологический процесс производства изделий из фторполимерных нанокомпозитов включает в себя следующие технологические стадии и операции. На первой стадии формуют заготовку для твердофазной штамповки из политетрафторэтилена и наночастиц кобальта КоФП. Сначала матрицу композита смешивают в смесителе с модификатором КоФП, затем прессуют на гидравлическом прессе в пресс-форме под давлением до 35 МПа и спекают в печи. При этом сначала заготовку выдерживают в течение 1 часа при температуре 90°С, затем температуру повышают со скоростью 10…25°С/ч и спекают при температуре 370…382°С в течение трех часов. Последней стадией является твердофазная штамповка полученной заготовки НК [1].

Основная проблема, которая возникает при разработке и реализации технологического процесса твердофазной штамповки НК, является определение температуры прессформы и скорости штамповки, потому что при твердофазном формовании за счет диссипации механической энергии может возникнуть перегрев заготовки и деструкция НК.

На основе эмпирического подхода, как правило, штамповку осуществляют при температуре, равной 80% от температуры плавления материала фторполимерного НК. В процессе объемной твердофазной штамповки необходимо учитывать ряд особенностей, чтобы не выйти за пределы твердофазной технологии и обеспечить требуемое качество получаемых изделий, в том числе давление формования (боковые и осевое) и температуру переработки (в середине заготовки), которую рассчитывают на основе решения уравнений математической модели процесса [2, 3].

Математическая модель процесса твердофазной штамповки изделий из НК представляет собой систему дифференциальных уравнений теплопроводности, диссипации механической энергии и пластической деформации (течения) нанокомпозита:

$$C_i(T)\frac{\partial T}{\partial \tau}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda_i\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_i(T)\frac{\partial T}{\partial z}\right)+Q(t),$$

$$T \equiv T(r,z,t),\ 0 \le r < R2,\ 0 < t \le tК$$

$$Q\neq 0,\ C1 \equiv C1(T),\ \lambda 1 \equiv \lambda 1(T),\ 0 \le r < \rho(t),\ 0 \le z < h(t)$$

$$Q=0,\ C2 \equiv C2(T),\ \lambda 2 \equiv \lambda 2(T),\ R1 \le r < R2,\ h(t) \le z < H$$

$$T(r,z,0)=ТНК,\ 0 \le r < R1,\ 0 \le z < h$$

$$T(R1,h,t)=ТПФ,\ 0 < t \le tК,$$

$$\lambda_i\frac{\partial T}{\partial r}\bigg|_{r=R_i-0}=\lambda_{i+1}\frac{\partial T}{\partial r}\bigg|_{r=R_i+0},\quad 0 < t \le tК,\ i=1,\ 2$$

$$T(r,z,t)\big|_{r=R_i-0}=T(r,z,t)\big|_{r=R_i+0},\ 0 < t \le tК,\ i=1,\ 2$$

$$\lambda_i\frac{\partial T}{\partial z}\bigg|_{z=h-0}=\lambda_{i+1}\frac{\partial T}{\partial z}\bigg|_{r=h+0},\quad 0 < t \le tК,\ i=1,\ 2$$

$$T(r,z,t)\big|_{z=h-0}=T(r,z,t)\big|_{z=h+0},\ 0 < t \le tК,\ i=1,\ 2$$

$$Q(t)=\frac{\gamma m}{2}\left(\frac{dh}{dt}\right)^2,\quad \gamma=0{,}84\div 0{,}96,$$

$$\frac{1}{\sqrt{h^3}}\frac{dh}{dt}+\frac{2}{R\sqrt{H}}\frac{d\rho}{dt}=0,\quad 0<\rho\le R_1.$$

где С – объемная теплоемкость материала, Дж/(м3·К); h – толщина заготовки, м; Н – толщина готового изделия и прессформы, м; i – номер технологического слоя; m – масса заготовки материала, кг; Q – полный тепловой эффект диссипации механической энергии, Дж/м3; r – радиальная координата, м; R – радиус прессформы, м; Т – температура, К; γ – коэффициент выхода тепла при пластической деформации; λ – теплопроводность, Вт/(м·К); $\rho$ –радиус заготовки, м; τ – время, с. Слои: 1 – заготовка, нанокомпозит - НК, 2 – прессформа - ПФ.

В процессе твердофазной штамповки к помещенной в прессформу заготовке с начальной температурой ТНК тепло к внутренним слоям НК подводится теплопроводностью через формообразующую поверхность прессформы (слой 1). Температура прессформы ТПФ поддерживается постоянной с помощью электрических нагревателей. В процессе формования заготовки при приложении давления начинает протекать пластическая деформация, и заготовка заполняет все пустоты прессформы, т.е. протекает твердофазная штамповка. В результате радиус заготовки $\rho$ увеличивается до размера внутренней полости прессформы R1, а толщина заготовки h уменьшается до конечной толщины готового изделия Н. При этом возникает нагрев деформируемой заготовки за счет тепла пластической деформации $Q(t)$ и тепла возникающего за счет работы сил трения поверхностей, зависящие в основном от

скорости деформации $\frac{dh}{dt}$. Учитывая, что количество тепла деформируемой заготовки гораздо больше тепла возникающего за счет работы сил трения поверхностей, в модели будем учитывать только первую компоненту. Поэтому продолжительность приложения давления прессования выбирается так, чтобы скорость деформации не вызывала значительный перегрев заготовки. Таким образом, скорость прессования $\frac{dh}{dt}$ и температура прессформы ТПФ являются управляющими воздействиями и подлежат определению на основе математического моделирования [2, 3].

Предложенная математическая модель тепломассопереноса с конкретными свойствами нанокомпозита, была использована для расчета режима твердофазной штамповки НК. Необходимые для решения уравнений математической модели свойства нанокомпозита определяются экспериментально. В результате моделирования и расчетов получены оптимальные тепловые параметры режима твердофазной штамповки, позволяющие получать изделия на основе фторполимерного нанокомпозитного материала с улучшенными физико-механическими характеристиками.

Список используемых источников.

1. Баронин, Г. С. Полимерные композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, модифицированного нанодобавками / Г. С. Баронин, В. М. Бузник, В. В. Худяков, О. С. Дмитриев, В. Л. Полуэктов // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2016. – Т. 21. – № 3. – С. 886-889.

2. Дмитриев, О. С. Математическое моделирование процесса отверждения изделия из полимерных композиционных материалов методом горячего прессования / О. С. Дмитриев, С. В. Мищенко, С. В. Пономарев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 1998. – Т. 4, № 4. – С. 390-399.

3. Дмитриев, О. С. Тепломассоперенос и кинетика отверждения полимерного композиционного материала при автоклавном вакуумном формовании изделий / О. С. Дмитриев, В. Н. Кириллов, С. В. Мищенко, А. О. Дмитриев // Инженерная физика. – 2010. – № 9. – С. 3-12.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОСЛОЙНОГО КОМПАКТИРОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Мордасов М. Д., Верчёнов В. С., Никитин А. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***makaveli.mordasov@yandex.ru***

Во многих привычных способах обработки материалов, особенно тех, которые используются на этапе моделирования и создания прототипов, чаще всего используется принцип «взять заготовку и удалить всё лишнее», при котором образуется большое количество отходов. В этом плане послойное компактирование отличается радикально: процесс начинается с нуля и постепенно, последовательным добавлением слоев (т.е. аддитивно), «выращивается» будущее изделие. Отходов при этом может вообще не быть, хотя у некоторых из имеющихся технологий без них тоже не обходится, но в относительно небольших количествах. Аддитивные технологии или технологии послойного синтеза в настоящее время одна из быстро развивающихся сфер производства. Существует множество технологий, которые можно назвать аддитивными.

Различают следующие аддитивные производства:

- SLM (Selective laser melting) — селективное лазерное сплавление металлических порошков. Самый распространённый метод 3D-печати металлом, с помощью которого можно быстро изготавливать сложные по геометрии металлические изделия;
- SLS (Selective laser sintering) — селективное лазерное спекание полимерных порошков. С помощью этой технологии можно получать большие различные по своим физическим свойствам изделия;
- MJM (Multi-jet modeling) — многоструйное моделирование с помощью фотополимерного или воскового материала;
- PolyJet — отверждение жидкого фотополимера при воздействии ультрафиолетового излучения;
- CJP (Color jet printing) — послойное распределение клеящего вещества по порошковому гипсовому материалу.

В настоящей работе исследован процесс послойного компактирования минеральных материалов глинозёма и кремнезема. Эта технология позволяет получать идентичные заготовки с тончайшими рисунками на стенках. Суть данного метода заключается в послойном компактировании суспензии глинозема в гипсовой форме. Принцип процесса базируется на двух физических явлениях: способности гипса впитывать воду и способности глины отдавать воду.

Для исследования была разработана простая форма из гипса для отливки кубика. Сначала в соответствии с технологией была сделана суспензия глинозёма. После приготовления раствора, он был залит в форму. По истечении некоторого времени слой глины равномерно осел, так как гипс впитал

излишки воды. Далее, в связи с понижением уровня суспензии в литейной форме, была залита вторая порция смеси. В связи с тем, что гипс впитал лишнюю влагу из новой порции глины, было совершено ещё несколько операций по доливке глинозёма, тем самым совершалось компактирование глины, для создания образца без дефектов и пустот. После полного высыхания образца он был демонтирован из литейной формы и отожжен в печи для придания окончательной прочности. Главным отличием данного метода от технологии шликерного литья является постепенное заполнение литейной формы.

Таким образом, рассмотренный процесс послойного компактирования может быть использован для изготовления изделий из минеральных материалов, а при правильном выборе дисперсионных жидкостей и изделий из керамики и металлических порошков.

Список используемых источников.

1. Хасанов, О. Л., Методы компактирования и консолидации наноструктурных материалов и изделий / О. Л. Хасанов, Э. С. Двилис, З. Г. Бикбаева. – Томск: Изд-во томского политехнического университета, 2008. – 212 с.

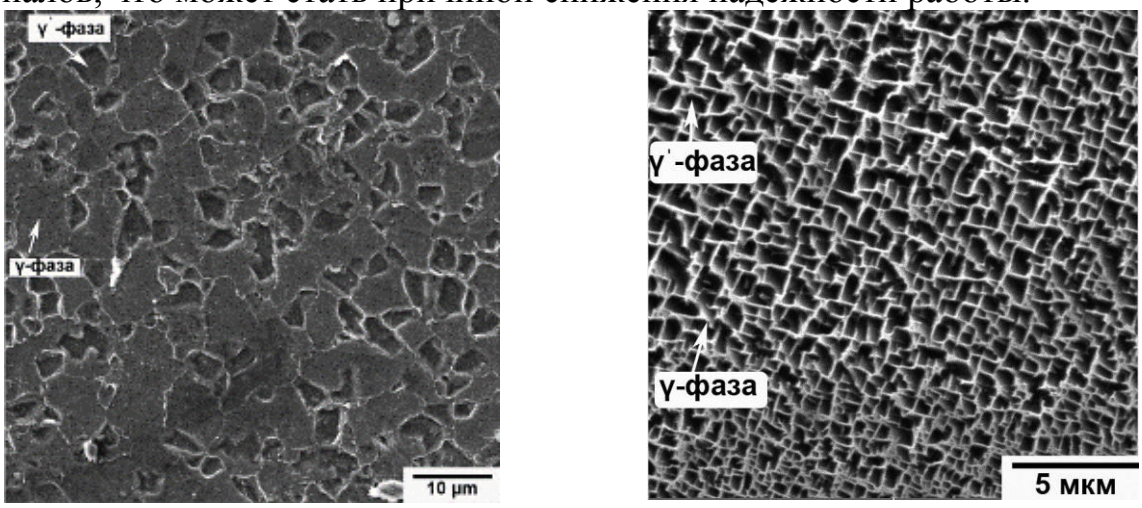
2. Шликерное литьё / А. Г. Добровольский. – Москва: Изд-во «Металлургия», 1976.

3. Шкуро, А. Е. Технологии и материалы 3D-печати / А. Е. Шкуро, П. С. Кривоногов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ ТВЕРДОФАЗНОГО СОЕДИНЕНИЯ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ*

**Шарипов И. З.[1], Галиева Э. В.[2]**
*[1]Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа*
*[2]Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа*
*ilgizsh@mail.ru*

Как известно [1], лопатки и диск газотурбинного двигателя работают в разных условиях по температуре и механическим напряжениям. Поэтому их изготавливают из разнородных никелевых сплавов. Перспективным направлением повышения рабочих характеристик газотурбинных двигателей является изготовление целикового узла лопатка-диск (blades and disks - «блисков»), что исключает необходимость в тяжелых замковых соединениях и благодаря этому обеспечивает существенное снижение массы роторных конструкций [1]. В связи с этим актуальными являются исследования, направленные на решение проблемы получения неразъемных твердофазных соединений из разнородных никелевых сплавов [2], которые необходимы при разработке технологий изготовления биметаллических деталей, например, типа «блиск». При эксплуатации в процессе нагрева изделий из разнородных сплавов возможно возникновение механических напряжений в местах их соединений вследствие разности коэффициентов термического расширения материалов, что может стать причиной снижения надежности работы.



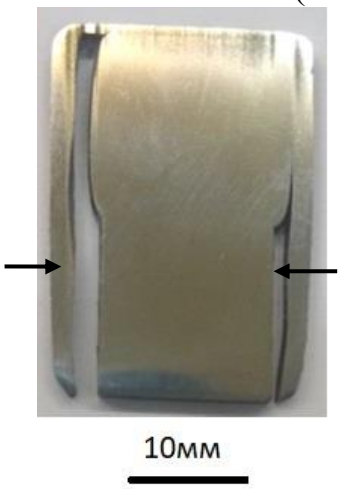

а б

Рис. 1. Исходное микроструктура сплавов на основе никеля [3]:
а – ЭП975 микродуплексная структура (dγ =7-8 мкм);
б – ВКНА-25 монокристаллическая структура.

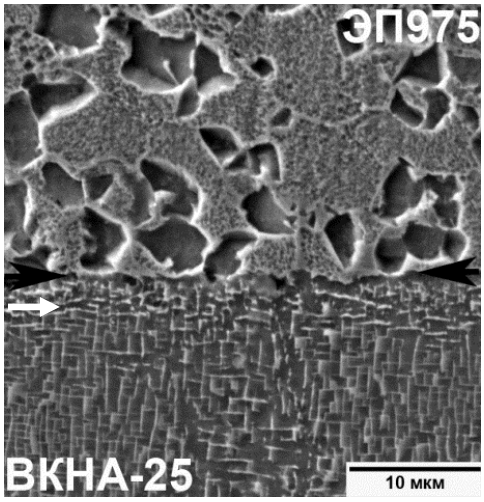
В данной работе исследованы особенности термического расширения твердофазных соединений из разнородных никелевых сплавов ЭП975 и ВКНА-25, полученных сваркой давлением в условиях сверхпластичности сплава ЭП975, в котором предварительной обработкой была сформирована

ультрамелкозернистая структура типа микродуплекс. В исходном состоянии сплав ВКНА-25 на основе интерметаллида Ni3Al имел литую монокристаллическую структуру (Рис.1).

Сварку давлением образцов из интерметаллидного сплава ВКНА-25 и никелевого сплава ЭП975 осуществляли при температуре 1125°С, скорости деформации έ=10-4с-1, соответствующих условиям проявления сверхпластичности сплава ЭП975 (Рис.2).




а




б

Рис. 2. Общий вид сварного соединения ВКНА-25//ЭП975 (а); микроструктура зоны ТФС после сварки давлением (б) [3]. Стрелками указана линия соединения

Термическое расширение образцов измерялось на дилатометре DIL402C фирмы NETZSCH, в интервале температур 20 до 1000 °С при скорости нагрева 5°С/с. Образцы для измерений имели вид стержня длиной 25 мм, квадратного сечения с размерами 5мм*5 мм.

На рис.3 приведены графики коэффициентов термического расширения (КТЗ) образцов сплавов ЭП975 и ВКНА-25. Как видно из этого рисунка, зависимости КТР сплавов практически совпадают при нагреве от 200 до 750 °С, постепенно возрастая от 13,3 до 17,2 *10-6 1/К. Вплоть до температуры 900 °С различие в значениях КТР сплавов не превышает 10 %. При дальнейшем нагреве до 1000 °С КТР сплава ЭП975 растет быстрее, чем у ВКНА-25. Вероятно это обусловлено началом процесса растворения и коагуляции упрочняющей γ′-фазы в деформируемом сплаве ЭП975.

Результаты измерений КТР сварных образцов (рис.3, графики 3,4), были проведены непосредственно после сварки давлением, а также после термообработки соединения. Они показали, что в интервале температур 200 - 700 °С их значения соответствуют значениям КТР соединяемых сплавов. При более высоких температурах 750-1000 °С графики КТР сварных образцов монотонно возрастают и имеют промежуточные значения по сравнению с исходными сплавами.

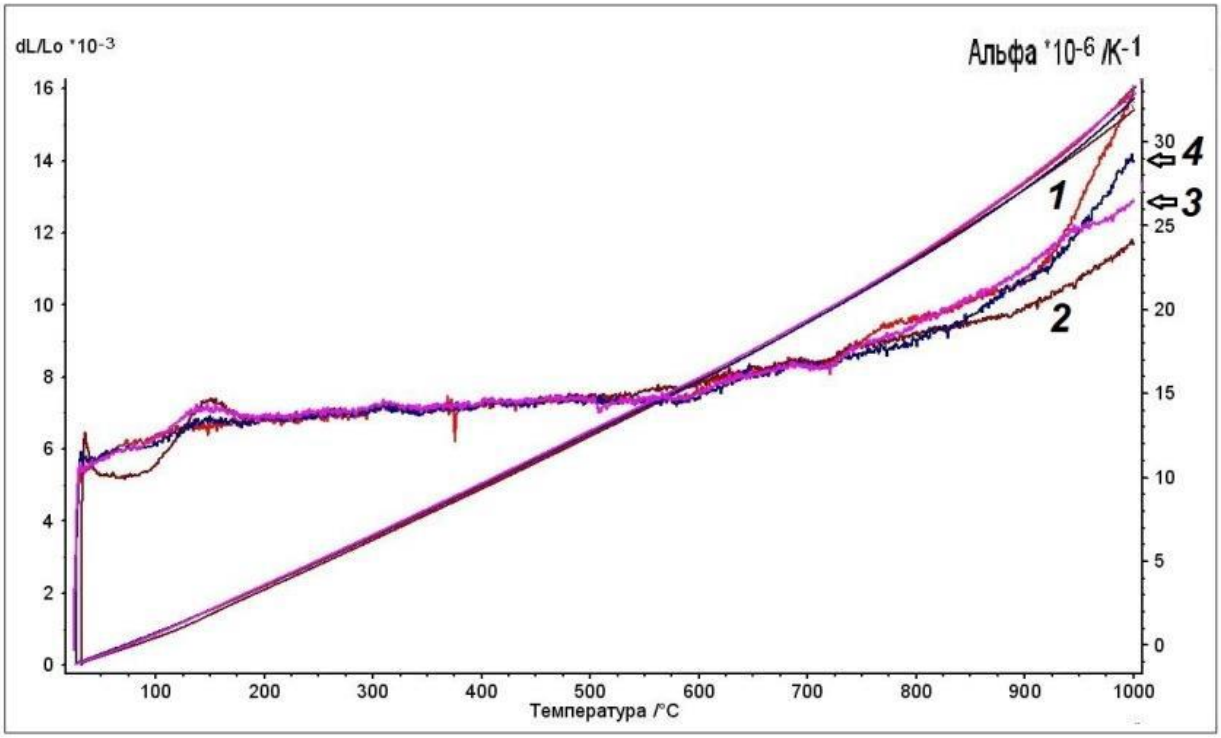



Рис. 3. Графики КТР (Альфа) сплавов ЭП975 (1) и ВКНА-25 (2), а также сварных образцов непосредственно после сварки давлением (3) и после термообработки (4).

Таким образом, показано, что значения КТР исходных разнородных сплавов на основе никеля ЭП975 и ВКНА-25, а также сварных образцов, как после сварки давлением в условиях сверхпластичности, так и после термообработки имеют близкие значения при нагреве вплоть до температуры 850 °С, которая соответствует температуре эксплуатации сплава ЭП975. Данное обстоятельство является одним из необходимых условий надежной работы биметаллических деталей типа блиск.

**Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 18-19-00685.*

Список используемых источников.

1. Логунов, А. В. Современные жаропрочные никелевые сплавы для дисков газовых турбин. / А. В. Логунов, Ю. Н. Шмотин. – М.: ООО «Наука и технология, 2013. − 256 с.

2. Поварова, К. Б. Изучение свойств и выбор сплавов для дисков с лопатками («Блисков») и способа их соединения / К. Б. Поварова, В. А. Валитов, С. В. Овсепян, А. А. Дроздов, О. А. Базылева, Э. В. Валитова // Металлы. – 2014. – № 5. – С. 61-70.

3. Поварова, К. Б. Формирование градиентных структур в зоне соединения деформируемого никелевого и монокристаллического интерметаллидного сплава при термодифузионной сварке давлением и термической обработке. / К. Б. Поварова, В. А. Валитов, А. А. Дроздов, О. А. Базылева, Э. В. Галиева, Э. Г. Аргинбаева // Металлы. – 2018. – № 1. – С. 48-57.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

**Ярмизина А. Ю., Майникова Н. Ф.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
**teplotehnika@nnn.tstu.ru**

Широкое применение в различных отраслях промышленности нашли полимерные покрытия на металлических изделиях. В решении задачи обеспечения выпуска качественной продукции важную роль играют методы и средства контроля. Тепловые методы неразрушающего контроля (НК) позволяют определять качество материалов и готовых изделий из них по теплофизическим свойствам [1, 2].

Способ определения ТФС многослойных материалов и изделий основан на физической модели, представленной на рисунке 1. На металлической пластине с низкотеплопроводным покрытием толщиной h1 расположен измерительный зонд (ИЗ), включающий в себя плоский круглый нагреватель, теплоизолирующую подложку и термоприёмники [2].

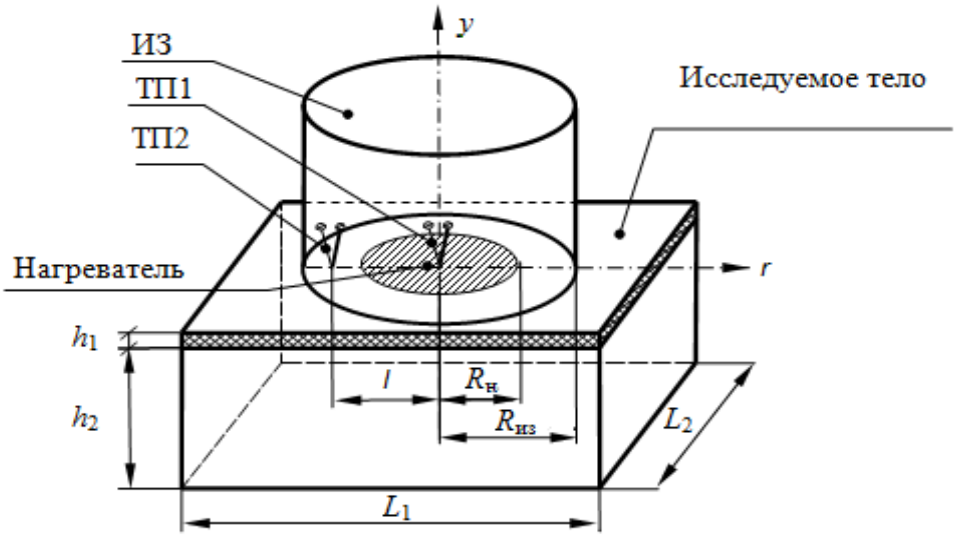



Рис. 1. Измерительная схема.

Рассматриваемое тело представляет собой конструкцию, состоящую из двух слоев: первый – низкотеплопроводный с теплофизическими свойствами λ1, c1, ρ1; второй – высокотеплопроводный с теплофизическими свойствами λ2, c2, ρ2. Толщина первого слоя – h1, второго – h2. Температура в точках контроля измеряется с помощью термоприёмников (ТП1, ТП2).

На систему с равномерным начальным температурным распределением, тепловое воздействие осуществляется с помощью нагревателя постоянной мощности, выполненного в виде тонкого диска радиусом RН, встроенного в подложку измерительного зонда (ИЗ), выполненную из рипора, радиусом RИЗ.

Размеры подложки ИЗ и металлической пластины (L1 , L2 , h2) подобраны так, что их можно считать полуограниченными. Для упрощения тепловой схемы и расчётов пренебрегаем теплоёмкостью и оттоками тепла по проводам теплоприёмников. Тепловая схема многослойной системы представлена на рисунке 2. Двухслойная система включает в себя исследуемую низкотеплопроводную пластину толщиной h1 и металлическое основание (полуограниченное тело).

Относительно тонкая низкотеплопроводная пластина толщиной h1 находится в идеальном тепловом контакте с металлическим полуограниченным телом. В начальный момент времени на свободной поверхности пластины (при x = 0) действует постоянный тепловой поток, который действует на протяжении всего процесса нагрева. Боковые поверхности тел имеют тепловую изоляцию.

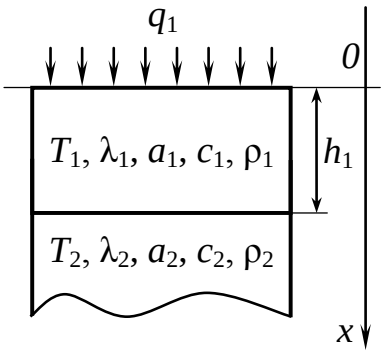



Рис. 2. Тепловая схема метода.

Для экспериментальной проверки работоспособности метода определяли теплопроводность покрытия из акрилатного материала на стальной пластине.

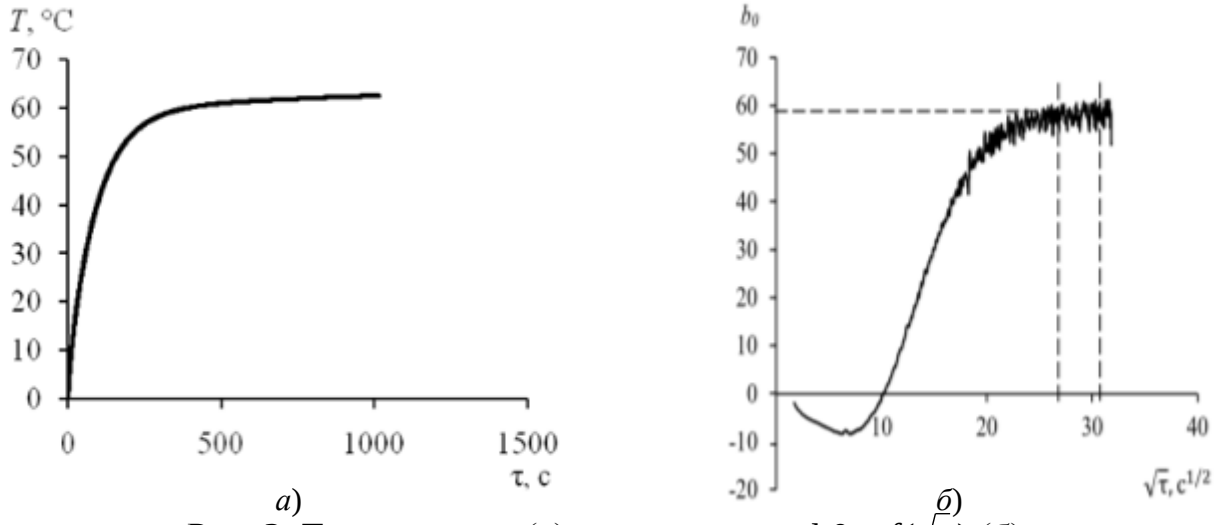



Рис. 3. Термограмма (а) и зависимость b0 = f( $\sqrt{\tau}$ ) (б).

Таблица 1.

Результаты экспериментов на стальном изделии с покрытием.

| № опыта | λ1и, Вт/(м·К) | b0 | λ1, Вт/(м·К) | $\delta = \left\lvert \frac{\lambda_{1и} - \lambda_1}{\lambda_{1и}} \right\rvert$,% |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 0,1 | 81,33 | 0,100 | 0 |
| 2 | 0,1 | 106,33 | 0,096 | 4 |
| 3 | 0,1 | 108,83 | 0,096 | 4 |
| 4 | 0,1 | 113,85 | 0,096 | 4 |
| 5 | 0,1 | 118,82 | 0,095 | 5 |

Испытаниям подвергали пять изделий с различными значениями толщины покрытий - h1.

Результаты экспериментов, представленные в таблице, подтверждают работоспособность метода неразрушающего определении теплопроводности низкотеплопроводных покрытий на металлических изделиях. Относительная погрешность неразрушающего определения теплопроводности материала покрытия не превышает 5%.

Результаты эксперимента подтверждают работоспособность метода, детальное описание которого представлено в работах [3,4].

Список используемых источников.

1. Кудинов, В. А. Аналитические решения задач тепломассопереноса и термоупругости для многослойных конструкций / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, В. В. Калашников. – М.: Высшая школа. – 2005. – 430 с.

2 Жуков, Н. П. Многомодельные методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов и изделий: монография / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова. – М.: Машиностроение–1, 2004. – 288 с.

3. Моделирование теплопереноса в методе неразрушающего контроля двухслойных материалов / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов, А. О. Антонов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19. – № 3. – С. 506 – 511.

4. Жуков, Н. П. Метод неразрушающего определения толщины защитных покрытий / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23. – № 1. – С. 6 – 11.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ И ИЗГИБЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ ПОСЛЕ ПРОПИТКИ ГЕРМЕТИКОМ

**Ярцев В. П., Клепиков А. С., Зимнухов А. Н.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Для испытания при сжатии готовили образцы кубической формы размером 5×5×5см, при изгибе призмы размером 12×2,5×2,5см.

Перед испытанием образцы выдерживали 60 минут при постоянных температурах (20±2) °С. Образцы горячего и теплого асфальтобетона выдерживали в течение 1 ч в водяной бане вместимостью 3-8 л (в зависимости от количества и размера образцов), образцы холодного асфальтобетона - 2 ч в воздушной среде в емкости того же объема. Температуру (0±2) °С создавали смешением воды со льдом.

Пропитку в битумно-полимерном герметике БП-Г-35 осуществляли в специальной емкости в течение 120 минут.

Для определения предела прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии использовали образцы, испытанные на водонасыщение и набухание в соответствии.

Предел прочности при сжатии и изгибе асфальтобетонных образцов определяли на прессе с механическим приводом при скорости деформирования образца (3,0±0,5) мм/мин.

Пресс снабжен силоизмерителем, позволяющим определять прочность при сжатии и изгибе с погрешностью 0,05 МПа (0,5 кгс/см).

Максимальное показание силоизмерителя принимают за разрушающую нагрузку.

Предел прочности при сжатии образца Rсж вычисляли с погрешностью 0,01 МПа (кгс/см) по формуле [1]

$$R_{\text{сж}} = \frac{P}{F} 10^{-2}$$

где Р - разрушающая нагрузка, Н (кгс); F - первоначальная площадь поперечного сечения образца, см2;$10^{-2}$ - коэффициент пересчета в МПа.

За результат определения принимали среднее арифметическое значение испытания трех образцов. Расхождение между результатами испытаний отдельных образцов не должно превышать 10%. Полученные эксперементальные данные , представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Результат испытаний асфальтобетонных образцов при сжатии.

| № образца | Температура окружающей среды, °С | Асфальтобетон | Размеры образца | | | Площадь поперечного сечения F, см2 | Разрушающая нагрузка Pmax, Н | Предел прочности при сжатии, МПа | Среднее значение предела прочности при сжатии, МПа |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | h | a | b | | | | |
| 1 | 50 | Без пропитки | 4,8 | 5 | 5,4 | 27 | 3284 | 1,2 | 2,33 |
| 2 | | Без пропитки | 4,8 | 4,8 | 5 | 24 | 3492 | 1,46 | |
| 3 | | Пропитанный герметиком | 5,5 | 4,8 | 4,3 | 20,64 | 3245 | 1,57 | 1,57 |
| 1 | 20 | Без пропитки | 5 | 5 | 5,1 | 25,5 | 7267,5 | 2,85 | 2,8 |
| 2 | | Без пропитки | 4,8 | 5,1 | 5 | 25,5 | 6936 | 2,75 | |
| 3 | | Пропитанный герметиком | 4,8 | 4,9 | 5 | 24,5 | 6860 | 2,8 | 2,8 |

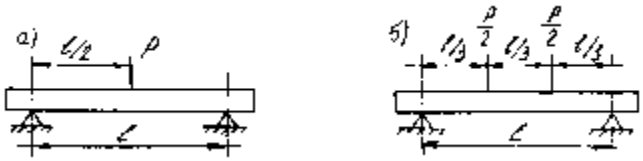



Рис. 1. Схемы испытаний образца на статический изгиб [3]:
а – одной силой, сосредоточенной посередине пролёта; б – двумя силами, сосредоточенными на равных расстояниях между собой и от опор

Предел прочности при статическом изгибе определяли разрушением на прессе образцов-балочек под изгибающей нагрузкой, приложенной к ним по следующим схемам, и рассчитывают по следующим формулам:

а) при одной силе, сосредоточенной посередине пролета (рис. 5, а), кгс/см2 (Мпа),

$$R_{изг} = \frac{3}{2}\frac{P_{max}l}{bh^2};$$

б) при двух силах, сосредоточенных на равных расстояниях между собой и от опор (рис. 5, б), кгс/см2 (МПа),

$$R_{изг} = \frac{P_{max}l}{bh^2},$$

где Rизг. – предел прочности при статическом изгибе, кгс/см2 (Мпа); l – пролёт между опорами, см; b и h – ширина и высота сечения образца посередине пролета, см. [2]

Результаты испытаний по схеме 1 представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты испытаний образцов при поперечном изгибе.

| № образца | Асфальтобетон | Температура окружающей среды, °С | Пролет между опорами l, см | Размеры сечения посередине пролёта, см | | Разрушающая нагрузка Pmax, кг | Предел прочности при статическом изгибе, МПа |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | b | h | | |
| 1 | Без пропитки Пропитанный герметиком | 20 | 12 | 2,5 | 2,5 | 25 | 28,8 |
| 2 | | | 12 | 2,8 | 2,6 | 24 | 22,8 |
| 3 | | | 12 | 2,8 | 2,5 | 24.5 | 25,2 |
| 4 | | | 12 | 2,7 | 2,5 | 25 | 26,6 |
| 5 | | | 12 | 2,6 | 2,5 | 26 | 28,8 |
| 1 | Без пропитки Пропитанный герметиком | 50 | 12 | 2,5 | 2,8 | 18 | 16,5 |
| 2 | | | 12 | 2,7 | 3 | 18 | 13,3 |
| 3 | | | 12 | 2,7 | 2,6 | 18,5 | 18,2 |
| 4 | | | 12 | 2,5 | 2,6 | 19 | 20,2 |
| 5 | | | 12 | 2,5 | 2,5 | 17,5 | 20,21 |

Из таблиц 1 и 2 видно, что при повышении температуры с 20 до 50 , прочность падает почти в два раза. При этом пропитка герметиком вызывает положительное влияние на прочность асфальтобетона с повышением температуры, что, по-видимому, связано с повышением активности герметика.

Список используемых источников.

1. Ярцев, В. П. Кровельные и гидроизоляционные материалы на основе битума / В. П. Ярцев, Е. В. Гурова // Строительные материалы. – 2003. – № 7. – С.46–47.

2. Гурова, Е. В. Влияние добавок асбофрикционных отходов на теплофизические характеристики битума / Е. В. Гурова, В. П. Ярцев // Теплофизические измерения в начале XXI века: Тезисы докладов 4-ой международной теплофизической школы. Ч. 1. – Тамбов, 2001. – С. 84–85.

3. Голованова, Т. А. Изменение свойств битума при контакте с минеральным наполнителем в асфальтобетоне: дис. канд. техн. Наук. – С - Петербург, 1996. – 350 с.

# РЕГУЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ БАЗАЛЬТОВЫХ НИТЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Максимова К. А., Румянцева А. А., Герасимова В. М.**
***Балаковский инженерно-технологический институт (филиал) НИЯУ МИФИ, Балаково***
***maksysik@yandex.ru***

Базальтовые нити относятся к числу перспективных волокнистых наполнителей, используемых в технологии полимерных композиционных материалов на основе термореактопластов [1], однако вопросы направленного регулирования их армирующих свойств недостаточно изучены.

В соответствии с этим целью работы являлось изучение влияния модифицирующих добавок на прочностные свойства базальтовых нитей (БН).

Для повышения армирующих свойств базальтовых нитей использовали их обработку водным раствором органосиланольного аппрета А-187 с концентрацией 2, 5 и 10 % при времени модификации 30, 60 и 90 с.

Полученные экспериментальные данные по влиянию параметров обработки на изменение массы модифицированной базальтовой нити представлены на рисунке 1.

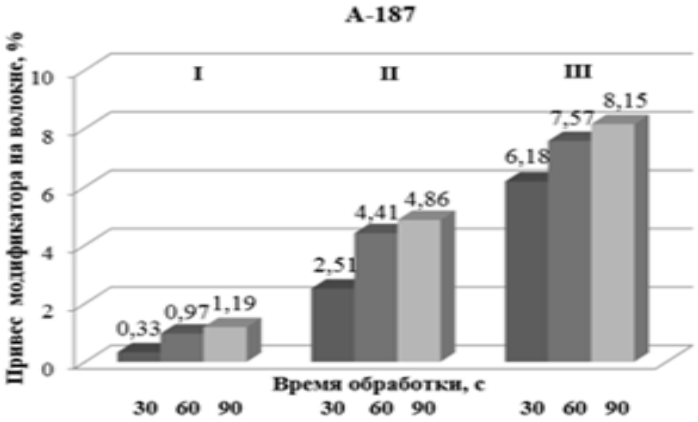



Рис. 1. Зависимость изменения массы образцов базальтовой нити от параметров модификации исследуемым аппретом: I – концентрация А-187 2%, II - концентрация А-187 5%, III - концентрация А-187 10%.

Приведенные данные показывают прямую зависимость изменения массы образцов БН от увеличения концентрации модификатора в ванне, которая достигает наибольших значений при 10 % -ном содержании аппрета и составляет 8,15 %. При этом модификация БН 2 % - ным раствором аппрета незначительно повышает массу образцов, в то время как обработка нитей 5 % - ным раствором модификатора А-187 приводит к её увеличению на 4,9 %, что говорит об эффективной сорбции исследуемого аппрета при модификации БН, следствием чего является увеличение их прочностных свойств (таблица 1).

Таблица 1

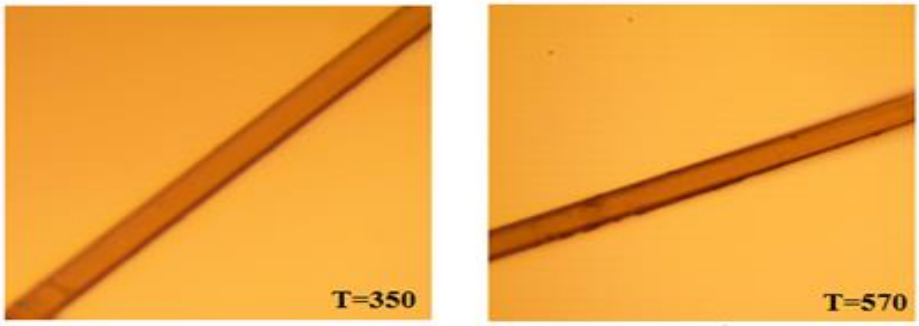
Механические свойства модифицированных базальтовых нитей.

| Модификатор | Продолжительность обработки, с | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 30 | | 60 | | 90 | |
| | Pp, сН/текс | lp, % | Pp, сН/текс | lp, % | Pp, сН/текс | lp, % |
| Концентрация 2% | | | | | | |
| А-187 | 152 | 10 | 174 | 15 | 179 | 18 |
| Концентрация 5% | | | | | | |
| А-187 | 178 | 11 | 245 | 11 | 254 | 15 |
| Концентрация 10% | | | | | | |
| А-187 | 215 | 11 | 259 | 15 | 262 | 17 |

Примечание: исходная нить характеризуется относительной разрывной нагрузкой (Pp)= 144 сН/текс и относительным разрывным удлинением (lp) = 10 %.

Сравнительная оценка свойств модифицированных нитей (таблица 1) свидетельствует о том, что обработка БН аппретом А-187 способствует значительному повышению их механических характеристик. Так, относительная разрывная нагрузка возрастает на 6-82 % по сравнению со значением этого показателя у немодифицированной базальтовой нити.

При этом следует отметить, что модифицирование нитей 5 %-ным раствором аппрета А-187 при продолжительности обработки 60 с увеличивает относительную разрывную нагрузку БН, на 70 %. Это связано с формированием плёночного покрытия на поверхности комплексных нитей (рисунок 2, б), которое обеспечивает их компактность и «залечивает» поверхностные дефекты.




а б

Рис. 2. Микрофотографии образцов (n=800): а-БН; б-БН+А-187.

В связи с этим для дальнейших исследований был выбран режим модифицирования БН: концентрация раствора 5±0,3 %; продолжительность модифицирования 60±3 с.

Для изучения характера адгезионного взаимодействия в системе БН/органосиланольный модификатор использовали метод инфракрасной спектроскопии (рисунок 3).

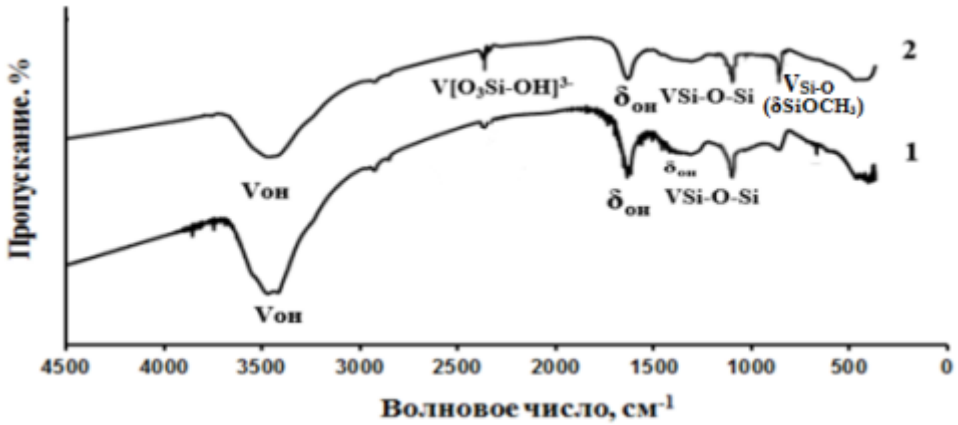



Рис. 3. ИК-спектры: 1 - БН; 2 - БН+А-187.

Для ИК-спектра исходной базальтовой нити (кривая 1) характерно наличие пиков в области 3400-3550 см$^{-1}$, соответствующих валентным колебаниям ОН-групп поверхностного слоя [2] и в области 1150 см$^{-1}$, обусловленных валентными колебаниями -Si-O-Si группы. Также в интервалах 1640-1590 и 1370-1390 см$^{-1}$ наблюдается присутствие пиков, соответствующих деформационным колебаниям групп –ОН.

Анализ ИК-спектров подтверждает, что модификация БН аппретирующим раствором А-187 (кривая 2) обеспечивает появление в спектре волокнистого наполнителя пика в области 850-800 см$^{-1}$, соответствующего деформационным колебаниям функциональной группы -SiOCH3, характерной для исследуемого модификатора, и пика валентных колебаний ОН-групп, входящих в состав поверхностных анионов [O3Si-OH]3- в области 2360 см$^{-1}$, а также снижение интенсивности пика в областях 3400-3550 и 1600 см$^{-1}$. Появление дополнительных функциональных групп, а также изменение спектральной картины в областях 1600 и 3550 см$^{-1}$ свидетельствуют о возможности физико-химического взаимодействия в системе волокнистый наполнитель/модификатор на уровне образования водородных связей.

Таким образом, повышение механических свойств модифицированных базальтовых нитей, а также достигнутая стабильность модифицирующего эффекта позволяют рекомендовать их в качестве армирующих систем для получения эпоксикомпозитов.

Список используемых источников.

1. Оснос, М. С. Базальтовое непрерывное волокно – вчера, сегодня и завтра / М. С. Оснос, С. П. Оснос // Композитный мир. – 2015. – №2. – С. 32-38.

2. Сытник, Р. Д. Модифицирование поверхности силикатных стекол расплавами и растворами. – Харьков: Майдан, 1997. – 188 с.

# КОНТРОЛЬ СООТВЕТСТВИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА СЖАТИЕ

**Максимович С. В.**
***Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Гродно***
***cheslovna@tut.by***

Контроль соответствия прочности бетона играет важную роль в регулировании качества производимой продукции.

Контроль по выборочным планам при установленных критериях соответствия должен, главным образом, обеспечивать защиту потребителя от принятия дефектной партии бетона, не соответствующей установленным требованиям качества.

Статистический контроль качества применяется тогда, когда производство установленной партии бетона является законченным. Следовательно, производитель декларирует соответствие бетона по показателю прочности на сжатие только для некоторого завершенного периода производства, т.е. для оценочного периода.

По ГОСТ 18105 [1] контроль и оценку прочности бетона производят по схемам А и Б, которые различаются количеством единичных результатов определения прочности ( схема А - n≥30, схема В - n≥15). Вне зависимости от схемы проводят оценку прочности бетона каждой партии, изготовленной в контролируемом периоде по следующим критериям;

$$R_m \geq R_T, \tag{1}$$

$$B_{\text{норм}} < R_i^{min} \geq (R_T - 4). \tag{2}$$

На основании этих критериев партия бетонной смеси подлежит приемке по прочности бетона, если фактическая прочность Rm (среднее значение прочности из серии единичных результатов) не ниже требуемой прочности RT, а минимальное единичное значение Rimin – не ниже величины (RT - 4) и больше нормируемого класса бетона по прочности Внорм.

Требуемое значение прочности определяется по формуле:

$$\text{RT} = \text{kT} \cdot \text{Внорм}, \tag{3}$$

где kT – коэффициент требуемой прочности, определяемый:

– при контроле по схеме А – по таблице [1, табл. 2];

– при контроле по схеме Б – рассчитывается по формуле [1, ф-ла 10].

Причем следует отметить, что в соответствии последовательностью оценки прочности (п. 4.6, 4,7 ГОСТ18105 [1]), расчет требуемой прочности по схеме А невозможен при больших вариациях единичных значений прочности, характеризующихся коэффициентом вариации $\bar{V}$, даже если минимальное единичное значение прочности больше нормируемого. Поэтому норматив контролирует в первую очередь однородность значений прочности бетона.

При оценивании соответствия прочности бетона на сжатие по EN 206[2] решение о соответствии или несоответствии прочности бетона принимают на основе сравнения результатов испытаний контрольных образцов с двойными критериями соответствия, выделяя начальный и непрерывный периоды производства, определения которых приведены в п. 8.2 EN 206 [2].

Деление на этапы производства (начальное и непрерывное) обусловлено тем, что для оценивания соответствия прочности бетона на сжатие приняты выборочные планы, содержащие различную частоту отбора проб, количество единичных результатов, получаемых в оценочный период и различные критерии, применяемые для такого оценивания. Это связано с тем, что для начальных условий производства план испытаний является более интенсивным, при более высоком запасе в значении требуемой средней прочности.

В соответствии с EN206[2] все единичные результаты испытаний, как для начального, так и для непрерывного этапа производства, полученные в оценочный период проверяют по критерию (4):

$$f_{ci} \geq \left( f_{ck} - 4 \right), \text{МПа} \tag{4}$$

Если критерий (4) выполняется для всех единичных результатов за оценочный период, переходят к следующему этапу оценивания соответствия. Если критерий не выполняется хотя бы для одного из индивидуальных результатов, то для всех результатов, полученных в оценочном периоде подтверждается несоответствие, о котором производитель должен уведомить потребителя. На основании исследований [4], при невыполнении критерия (4) доля дефектов в выборке бетона превышает как минимум 15 %.

Для начального производства (метод А), результаты испытаний прочности, полученные в оценочный период делят на группы, состоящие из трех перекрывающихся или неперекрывающихся последовательных результатов. Для каждой группы проверяют критерий для среднего (5):

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 4, \text{ МПа} \tag{5}$$

Если средняя прочность бетона, fcm , вычисленная для каждой из групп результатов, удовлетворяет требованиям критерия (5), соответствие подтверждается для всего оценочного периода.

Только в том случае, когда критерии (4),(5) выполняются, переходят к оцениванию соответствия по методу В. Если критерий (5) не выполняется хотябы для одной группы устанавливается несоответствие для всего оценочного периода.

При оценивании соответствия для непрерывного производства (метод В) средняя прочность, перекрывающихся или неперекрывающихся групп ($n \geq 15$) последовательных результатов должна удовлетворять критерию (6):

$$f_{ck} \geq (f_{ck} + 1.48\sigma), \text{МПа} \tag{6}$$

В случае когда критерий (6) не выполняется для всех результатов, оцениваемых одновременно, либо для любой из выделенных групп, бетон, произведенный в оценочный период, оценивается как несоответствующий.

Если критерий (6) выполняется, подтверждается соответствие для всего оценочного периода.

По окончанию первого и следующих оценочных периодов проверяется, существенно ли изменяется стандартное отклонение, вычисленное на основании результатов, полученных за определенный оценочный период (Sn) по отношению к предыдущему значению стандартного отклонения выборки (σ). Если данное стандартное отклонение (Sn) существенно не изменилось (пределы указаны в [3]), тогда в следующем оценочном периоде продолжает применятся определенное ранее стандартное отклонение (σ). Если изменения значительны, рассчитывают новое значение стандартного отклонения выборки (σ) на основе 35 последних последовательных результатов. Рассчитанное значение применяется только для следующего оценочного периода.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно заключить следующее:

- в соответствии с EN206 [2] производится деление на начальный и непрерывный этапы, содержащие различную частоту отбора проб, количество единичных результатов, получаемых в оценочный период и различные критерии, применяемые оценивания соответствия;
- в ГОСТ 18105[1] не выделяются отдельные этапы. Оценка производится по схемам А и Б, которые различаются количеством единичных результатов. Оценку прочности бетона каждой партии, изготовленной в контролируемом периоде, вне зависимости от схемы, проводят по одинаковым критериям;
- EN206 [2] позволяет производить контроль прочности и однородности параллельно, в то время, как по ГОСТ 18105[1] при несоблюдении однородности, контроль прочности затруднен.

Список используемых источников.

1. ГОСТ 18105–2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности (EN 206–1:2000; NEQ).– Госстандарт РБ, 2010. – 11 с.

2. EN 206:2013 Concrete – Specification, performance, production and conformity (EN 206:2013 Бетон – требования, свойства, производство и соответствие) – CEN, December, 2013. – 93 p.

3. О применении критериев соответствия прочности бетона согласно СТБ EN 206–1: 2000 / В. В. Тур, С. С. Дереченник, А. С. Дереченник // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. научн. трудов БелНИИС, 2012. – С. 152–177.

4. Статистический контроль прочности бетона на сжатие в соответствии с требованиями EN 206–1:2000 и ГОСТ 17105–2010 (EN 206–1:2000; NEQ) / В. В. Тур, С. С. Дереченник, Е. Щигельска // Вестник БрГТУ, Строительство и архитектура. – 2014. – № 1 (76).– С. 113–136.

# ФРАКТОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛОМОВ МНОГОСЛОЙНОГО СТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА 08Х18Н10+08Х18 И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 08Х18Н10 ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ В УСЛОВИЯХ ЧИСТОГО ПЛОСКОГО ИЗГИБА

**Минаков А. А., Плохих А. И.**
***Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет) (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Москва***
***plokhikh@bmstu.ru, crytoicem@rambler.ru***

Одним из новых классов исследуемых машиностроительных материалов являются многослойные металлические материалы. Этот класс материалов отличается от обычных объемных конструкционных материалов более высоким сочетанием механических свойств, которое обусловлено наличием у таких материалов ламинарной (многослойной) структуры, состоящей из сотен (или тысяч) слоев с толщиной субмикронного (или нанометрического) диапазона [1]. Наибольший интерес в изучении представляют собой многослойные металлические материалы на базе черных металлов – сталей, при получении которых возможно использование большой группы машиностроительных марок сталей – как углеродистых, так и легированных.

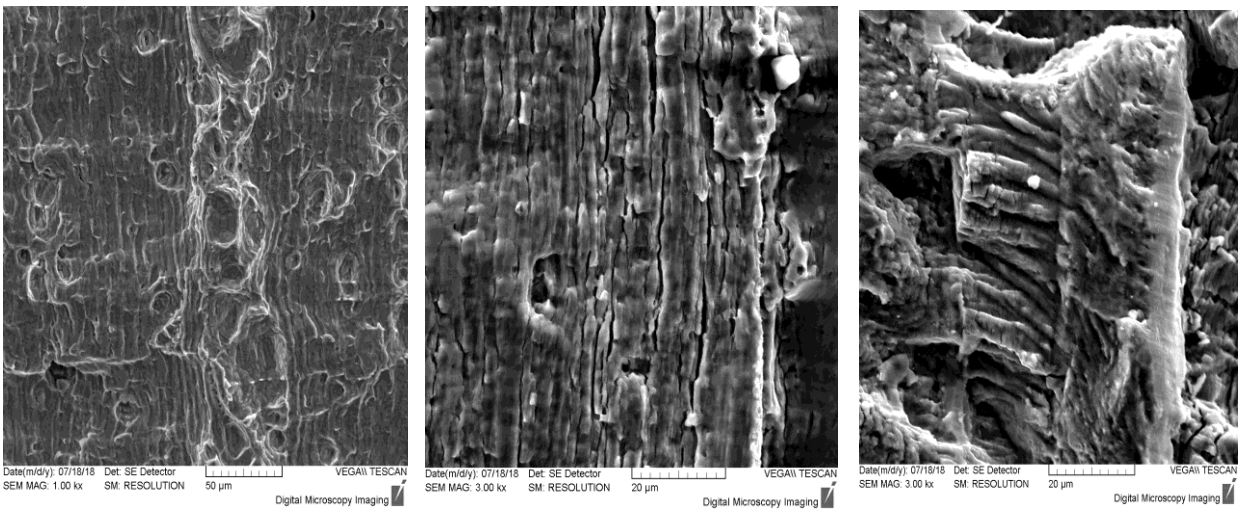
Исследования механических свойств многослойных металлических материалов при циклическом нагружении показывают, что многослойные металлические материалы имеют более высокие усталостные показатели, чем объемные конструкционные материалы. Исследование усталостных свойств многослойного металлического материала на базе цветных металлов – Cu и Nb показало, что в таком материале возрастает предел усталостной прочности (до 450 МПа) при уменьшении толщины отдельного слоя в таком материале до 40 нм [2]. При проведении эксперимента по циклическому нагружению многослойного стального материала 08Х18Н10+08Х18 по схеме одноосного растяжения было выявлено, что циклическая долговечность возросла в 3,5 раза (с количества циклов до разрушения N=6,6·104 до N=23·104 при нагрузке 570 МПа) при уменьшении толщины отдельного слоя с 20 мкм до 3 мкм [3]. При исследовании усталостных свойств этого же многослойного стального материала, но в условиях более жесткого циклического нагружения по схеме чистого плоского изгиба также наблюдался рост циклической долговечности в 3,2 раза (с количества циклов до разрушения N=3,05·104 до N=9,9·104 при нагрузке 570 МПа) при уменьшении толщины отдельного слоя с 20 мкм до 3 мкм [4]. Таким образом, на усталостные свойства многослойных металлических материалов значительным образом влияет толщина отдельного слоя ламинарной структуры, а также механизмы деформации, которые происходят на границе раздела между слоями. Это показывается молекулярным моделированием процессов передачи скольжения в многослойных

металлических материалах [5], которое показало, что деформационный механизм передачи скольжения заключается в продвижении единичных дислокационных петель (а не плоского скопления дислокаций, как происходит в объемных конструкционных материалах) параллельно поверхностям раздела. Это дает полагать, что существуют отличия в усталостных изломах объемных конструкционных материалов и многослойных металлических материалов. Поэтому целью данной работы было проведение фрактографического исследования изломов многослойного стального материала 08Х18Н10+08Х18 и нержавеющей стали 08Х18Н10 при циклическом нагружении в условиях чистого плоского изгиба.

Экспериментальный технологический процесс получения многослойного стального материала состоит из нескольких технологических циклов [6]. В начале первого цикла листы сталей (в данном исследовании марок 08Х18Н10 и 08Х18) с толщиной 0,5 мм разрезаются на мерные карточки с обработкой их поверхностей. Далее карточки собираются в многослойный пакет, состоящий из 100 чередующихся между собой листов сталей через один по 50 штук каждой марки. Затем пакет вакуумируется и в горячую прокатывается при температуре 1000 оС. В результате синтезируется многослойный стальной материал толщиной 2 мм с ламинарной структурой (толщина отдельного слоя составляет 20 мкм). В начале второго цикла исходными материалами являются мерные карточки, полученные из листов многослойного стального материала после первого цикла. Второй цикл состоит из идентичных технологических операций. По окончании второго цикла синтезируется многослойный стальной материал толщиной 2 мм с ламинарной структурой (толщина отдельного слоя уменьшается до 3 мкм).

Для получения усталостных изломов в данном исследовании использовались образцы толщиной 2 мм (по типу № IV; ГОСТ 25.502-79): многослойного стального материала 08Х18Н10+08Х18 (после проведения одного и двух технологических циклов) и нержавеющей стали 08Х18Н10. В качестве схемы циклического нагружения использовалась схема плоского чистого изгиба, которая была реализована в машине «Schenk-Erlinger» (прикладываемая нагрузка к образцам составила 570 МПа). Изломы исследовались на растровом электронном микроскопе Tescan VegaII LMH.

Анализ усталостных изломов показал следующее. Для нержавеющей стали 08Х18Н10 в изломе (рис. 1а) были видны четко различимые бороздки, обусловленные характерным для нержавеющих сталей плоским скольжением. Горизонтальные вторичные трещины соответствуют расщеплениям по границам зерен. Для многослойного стального материала 08Х18Н10+08Х18 (рис.1 б и рис.1 в) усталостные бороздки наблюдаются по слою вдоль границы. Раскрытие слоев говорит о том, что малая часть усталостных трещин зарождалась вдоль границы раздела слоев, и их распространение шло за счет этого раскрытия. При этом фронт развития магистральной усталостной трещины был параллелен границе раздела слоев.




а б в

Рис. 1. Фрактография поверхности изломов: а – нержавеющей стали 08Х18Н10; б – многослойного стального материала 08Х18Н10+08Х18 после первого технологического цикла; в – многослойного стального материала 08Х18Н10+08Х18 после второго технологического цикла.

Список используемых источников.

1. Hannink, R. H. J. Nanostructure control of materials / R. H. J. Hannink, A. J. Hill. – Woodhead Publishing Limited. – Cambridge England. 2006. – 372 P.

2. Wang, Y. – C. Fatigue properties of nanoscale Cu/Nb multilayers / Y. – C. Wang, A. Misra, R. G. Hoagland // Scripta Materialia. – 2006. – Vol. 54. – P. 1593-1598.

3. Production- and microstructure-based fatigue assessment of metallic AISI 304/430 multilayer materials produced by hot pack rolling / A. Schmiedt, L. Luecker, A. Kolesnikov, A. I. Plokhikh, F. Walther // Materialpruefung. – 2017. – Vol. 59. – N. 2. – P. 123-129.

4. Минаков, А. А. Исследование циклической долговечности многослойных материалов на основе сталей 08Х18Н10+08Х18, испытанных по схемам одноосного растяжения и чистого изгиба / А. А. Минаков, А. И. Плохих // Механические свойства современных конструкционных материалов: сборник материалов научных чтений им. чл.-корр. РАН И. А. Одинга. 6-7 сентября 2018 г. – М: ИМЕТ РАН, 2018. – 184 с.

5. Wang, J. An overview of interface-dominated deformation mechanisms in metallic multilayers / J. Wang, A. Misra // Current Opinion in Solid State and Materials Science. – 2011. – № 15. – P. 20-28.

6. Колесников, А. Г. Конструкционные металлические материалы с субмикро- и наноразмерной структурой / А. Г. Колесников, А. И. Плохих // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. Спецвыпуск «Наноинженерия». – 2010. – С. 44-52.

# ВЛИЯНИЕ МНОГОКРАТНОГО ОТЖИГА НА МИКРОСТРУКТУРУ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

**Буренина А. И., Толстов Н. А.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***annaburenina266@gmail.com***

В зависимости от температуры и длительности нагрева могут значительно меняться свойства стали, и, следовательно, качество изготовленных из них изделий. Проанализировав теоретический опыт изучения влияния нагрева, и исследовав на практике динамику структурных изменений в стали при нагреве, можно определить методы борьбы с нежелательными последствиями, вызванными воздействием температуры [1].

Эксперимент проводился с углеродистой сталью, в которой примерно 1,2 % углерода. Сталь подверглась полной закалке с последующим низким отпуском и приобрела неравновесную мартенситную структуру. Микроструктура этого образца сфотографирована с помощью оптического микроскопа при увеличении 650х (рис. 1).

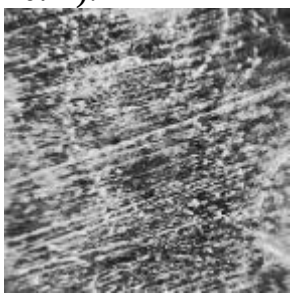


Рис. 1. Микроструктура углеродистой стали с содержанием углерода примерно 1,2 % после закалки и низкого отпуска. Увеличение 650х.

На микрофотографии в виде светлых изогнутых линий слабо видны остатки цементитной сетки. Твердость этой структуры составила 65 HRC, что соответствует твердости закаленной стали после низкого отпуска с таким содержанием углерода [2].

Для выявления динамики обезуглероживания стали при циклическом воздействии температуры образец сплава подвергался пятикратному отжигу. Каждый отжиг проводился по следующей схеме: полуторочасовой нагрев до температуры 770 ˚С, выдержка 2 часа при достигнутой температуре и охлаждение медленное вместе с печью. После каждого отжига проводился микроанализ структуры образца.

После первого полного перекристаллизационного отжига структура, как и полагается, стала более пластичной с меньшей твердостью, со структурными составляющими перлит и цементит [3].

Выдвинута и подтверждена теория, что после каждой термической обработки происходит измельчение зерна (зерно растет при увеличении температуры термообработки). При последующих четырех отжигах твердость не

менялась. Микроструктура сплава после последнего шестого отжига представлена на рисунке 2.

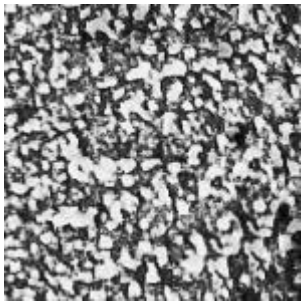


Рис. 2. Микроструктура исследуемого образца стали после пятого отжига при температуре 770 0С. Увеличение 650х.

Если сравнить снимки на рисунках 1 и 2, то хорошо видно, что в структуре на последнем рисунке гораздо меньше темных перлитных зерен. Следовательно, в последней структуре углерода значительно меньше [4]. Следует не забывать, что это микроструктура поверхностного слоя сплава, а не всего объема. Таким образом, подтверждается теория обезуглероживания поверхностного слоя сплава.

Список используемых источников.

1. Королев, А. П. Анализ эффективного энергоптребления при термической обработке металлических сплавов / А. П. Королев, М. В. Макарчук, А. И. Буренина, Н. А. Толстов // Энергосбережение и эффективность в технических системах: материалы V Международной научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов. – 2018. – С. 242-243.

2. Макарчук, М. В. Неразрушающий контроль и техническая диагностика параметров и свойств исследуемых объектов (включая нанообъекты) / М. В. Макарчук, В. Н. Чернышов, В. П. Шелохвостов, Э. В. Сысоев // Вестник ТГТУ. – 2009. – Т. 15. – № 2. – С. 303-314.

3. Королев, А. П. Динамика изменения микроструктуры стали при длительном нагреве / А. П. Королев, М. В. Макарчук, А. И. Буренина, Н. А. Толстов // Энергосбережение и эффективность в технических системах: материалы V Международной научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов. – 2018. – С. 243-244.

4. Королев, А. П. Повышение износостойкости методами цементации в современной технике / А. П. Королев, И. С. Пятибратов, М. В. Сертаков // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы VII международной научно-инновационной молодежной конференции. – 2015. – С. 103-104.

# ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И РЕЖИМОВ ГОРЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ РАСТВОРНОГО СВС ОКСИДА ЦИНКА

**Моисеев Н. В., Никулина А. Д., Новиков В. А.**
***Самарский государственный технический университет, Самара***

Один из способов синтеза наноструктурных порошков оксидов является растворный самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС-Р), который основан на самоподдерживающейся экзотермической реакции взаимодействия компонентов на основе систем, содержащих окислитель (нитрат металла) и горючее (растворимые в воде амины, органические кислоты).

Схему процесса можно представить следующим образом:

горючее+окислитель+растворитель=оксид+газообразные продукты

Процесс СВС-Р можно контролировать, изменяя соотношение горючее/окислитель, используя смеси различных горючих.

Исследование и разработка процесса растворного СВС весьма перспективна для создания простых и недорогих наноструктурных порошков оксидов.

В качестве горючих используются органические вещества: мочевина (CO(HN2)2), глицин (C2H5NO2), лимонная кислота (C6H8O7). Окислителем служат нитраты металлов, оксиды которых необходимо получить.

Рассмотрим пример синтеза оксида цинка. Расчёт адиабатических температур позволяет понять свойства процесса и методы его регулирования.

Целью данной работы является сравнение расчётной адиабатической температуры горения с температурами горения, полученными в ходе эксперимента. Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выбрать составы исходных реакционных растворов.
2. Провести расчеты адиабатических температур горения для выбранных составов при помощи программного продукта THERMO.
3. Провести эксперимент.
4. Сравнить расчетные значения температур с экспериментально полученными.
5. Изучить влияние содержания горючего в растворе на скорость реакции.

В данной работе в качестве горючего используется мочевина CO(HN2)2, а нитрат цинка Zn(NO3)2*6H2O в качестве окислителя. Уравнение реакции процесса СВС-Р ZnO:

$$5CO(NH_2)_2 + 3Zn(NO_3)_2 * 6H_2O = 3ZnO + 5CO_2 + 28H_2O + 8N_2$$

Составы исходных реагентов представлены в таблице 1. Объем дистиллированной воды, используемой для одного раствора, 10 мл.

Исходные компоненты растворяем в дистиллированной воде до полного растворения. У всех растворов отсутствует запах и цвет.

Таблица 1.

| Содержание мочевины, % | Ттеор, К | Тэксп, ±50°К | mгор,±0,01г | mпрод,±0,01г | τг, ±0,5сек |
|---|---|---|---|---|---|
| 80 | 309 | 370 | 1,97 | 1,52 | 9 |
| 90 | 523 | 566 | 2,21 | 1,67 | 8 |
| 100 | 715 | 1195 | 2,46 | 1,72 | 5 |
| 110 | 577 | 650 | 2,71 | 1,76 | 7 |
| 120 | 435 | 540 | 2,95 | 1,82 | 7 |

В таблице 1 приведены данные по содержанию горючего, адиабатическим температурам горения, рассчитанным в программе THERMO, масса целевого продукта, время синтеза.

Для всех составов горение идет в режиме объемного взрыва. Продукты горения представляют собой рыхлые, легко разрушающиеся до состояния порошка спеки песочного цвета.

На рисунке 1 представлены расчетные и экспериментальные значения температур горения.

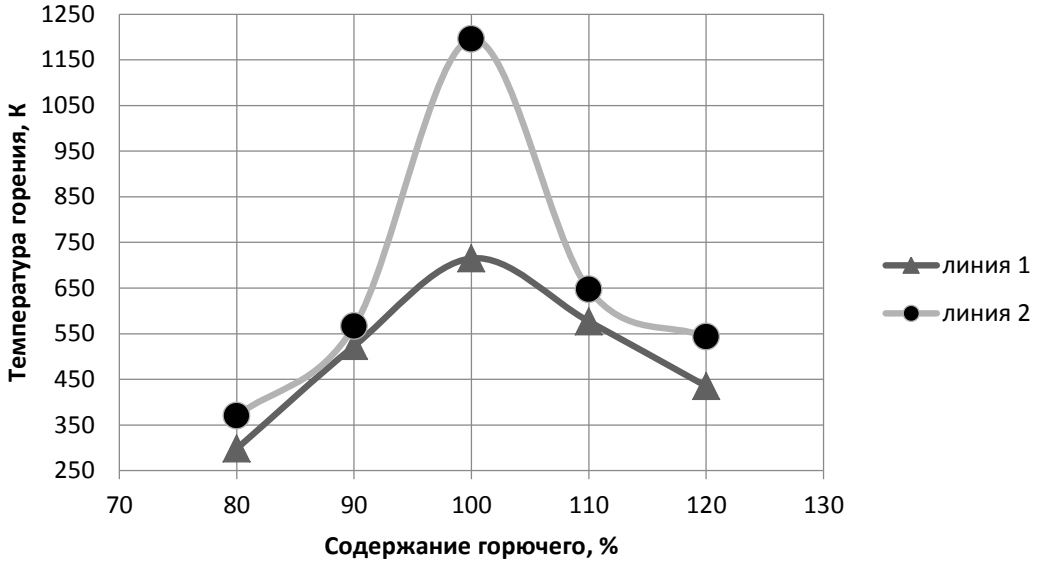



Рис. 1. Зависимость температуры СВС процесса ZnO от содержания горючего в смеси исходных компонентов: 1 – расчетное значение температуры, 2 – экспериментальное значение температуры.

Как видно из рисунка, граничными условиями протекания процесса горения являются значения концентраций горючего в 70% и 130%, т.е. растворы не горят. Если содержание горючего в интервале 80-100%, то температура линейно увеличивается, а в интервале 100-120% - линейно уменьшается.

На рисунке 2 представлены экспериментальные значения времени горения. Как видно из рисунка, при добавлении мочевины в диапазоне от 80 до

100%, время реакции уменьшается, т.е. скорость протекания реакции становится выше и достигает своего максимума при 100%-ой (стехиометрической) концентрации горючего, а с увеличением концентрации в диапазоне от 100 до 120% время реакции, наоборот, увеличивается, т.е. скорость реакции уменьшается.

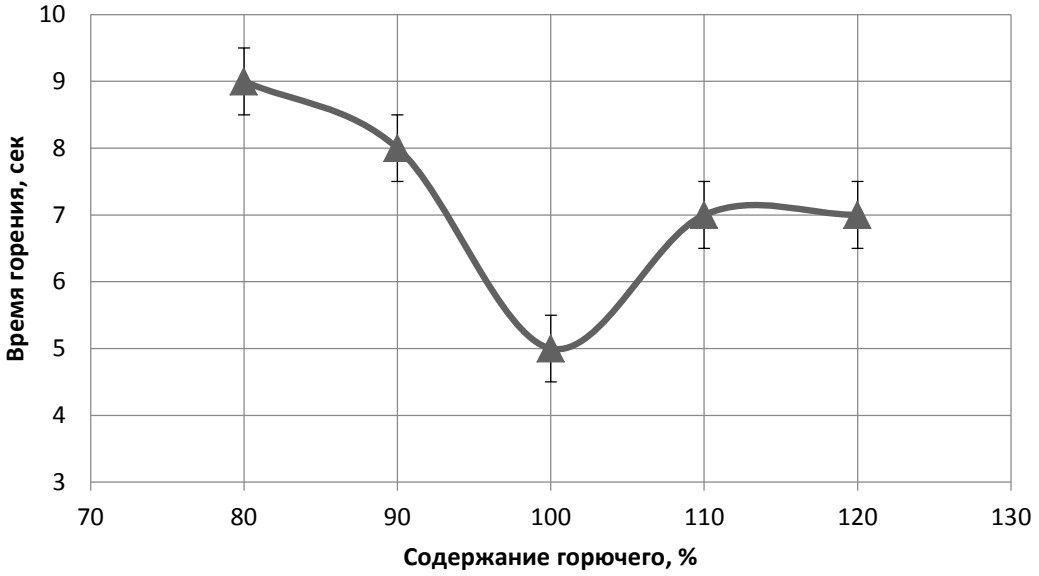



Рис. 2. Зависимость времени СВС процесса ZnO
от содержания горючего в смеси исходных компонентов.

Если температура горения повышается, то и скорость горения повышается – это согласуется с теоретическими данными [1].

В результате эксперимента найдены граничные условия протекания реакций. При нестехиометрическом содержании мочевины расчетные и экспериментальные значения температур горения достаточно хорошо согласуются друг с другом. Рассчитанные в программе THERMO значения температур близки к экспериментальным значениям. Предполагается, при стехиометрическом соотношении исходных компонентов механизм взаимодействия отличается от механизма с избытком/недостатком горючего, поэтому значение резко отличается от опытного. Так как экспериментальная температура СВС реакции составляет не более 1200К, то, согласно литературным данным [1], в результате протекания процесса должны образовываться наноструктурные продукты горения.

Список используемых источников.

1. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: учеб. пособ. / А. П. Амосов, И. П. Боровинская, А. Г. Мержанов. Под научной редакцией В.Н. Анциферова. – М.: Машиностроение–1, 2007. – 567 с.

# ВЛИЯНИЕ МИКРОСФЕР ОКСИДА КРЕМНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПОЛНЕННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

**Мостовой А. С., Таганова А. А.**
***Энгельсский технологический институт (филиал), Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина***
***Mostovoy19@rambler.ru***

В последние годы наблюдается значительное расширение ассортимента полимерных композитов. Высокая стойкость к действию различных агрессивных факторов создает большой потенциал применения полимерных материалов, благодаря чему интерес к ним неуклонно растет во многих отраслях промышленности. Это способствует появлению большого числа разнообразных полимерных связующих и отверждающих систем, а также изделий и конструкций на их основе. В настоящий момент все чаще применяются многокомпонентные композиционные материалы на основе эпоксидных связующих [1-4].

Несмотря на то, что эпоксидные связующие используются более 70 лет и постоянно совершенствуются, задача снижения стоимости композитов при обеспечении требуемых эксплуатационных характеристик по-прежнему остается актуальной. Несмотря на значительное число известных наполнителей для полимерных связующих, постоянно ведется поиск новых эффективных компонентов, в том числе выпускаемых промышленностью, с контролируемым фракционным и химическим составом, что позволяет получать на их основе композиты с высоким комплексом свойств [1-4]. Одним из наиболее перспективных наполнителей на сегодняшний день являются микросферы оксида кремния (МОК).

В связи с этим, целью данной работы являлась рецептурная модификация эпоксидных смол, обеспечивающая повышение физико-механических свойств, с использованием в качестве высокоэффективного наполнителя – МОК.

Фракционный состав МОК характеризуется бимодальным распределением частиц и представлен частицами с размерами от 0,1 до 100 мкм, со средними размерами частиц 1 и 5-6 мкм, при этом частицы имеют форму, близкую к сферической, и гладкую внешнюю поверхность.

В качестве полимерной матрицы использован ранее разработанный состав, состоящий из 100 масс.ч. эпоксидной смолы марки ЭД-20, 40 масс.ч. – трихлорэтилфосфата (ТХЭФ) и 15 масс.ч. отвердителя – полиэтиленполиамина (ПЭПА).

Выбор ТХЭФ объясняется наличием в его составе ингибиторов горения (фосфора и хлора), оказывающих структурирующее действие при термолизе и горении эпоксидного полимера, обеспечивающее повышение выхода карбонизованных структур, кроме того, хлор действует в газовой фазе при горении, разбавляя горючие газы. Таким образом, композиции, содержащие ТХЭФ, не поддерживают горение на воздухе и относятся к классу трудновоспламеняемых материалов [5-6].

Разработаны составы эпоксидных композитов, содержащих МОК в качестве структурообразующей добавки (0,1 масс.ч.) и наполнителя (50 масс.ч.) с комплексом эксплуатационных свойств выше аналогов.

Введение малых добавок МОК в эпоксидный композит приводит к повышению комплекса физико-механических характеристик: в 2 раза возрастает прочность и на 90 % модуль упругости при изгибе; на 52 % повышается прочность и на 22 % модуль упругости при растяжении, на 50 % возрастает ударная вязкость; на 30 % повышается твердость, табл.1.

Таблица 1.

Свойства эпоксидных композитов.

| Состав композиции, масс.ч., отвержденной 15 масс.ч. ПЭПА | σиз, МПа | Еиз, МПа | σр, МПа | Ер, МПа | ауд, кДж/м2 | Нв, МПа |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 100ЭД-20 | 40 | 2654 | 26 | 2040 | 3 | 225 |
| 100ЭД-20+40ТХЭФ | 53 | 1750 | 36 | 1610 | 8 | 84 |
| 100ЭД-20+40ТХЭФ+0,1МОК | 111 | 3340 | 55 | 1966 | 12 | 110 |
| 100ЭД-20+40ТХЭФ+50МОК | 119 | 8339 | 50 | 2505 | 8 | 230 |

Примечание: σиз – изгибающее напряжение; Еиз – модуль упругости при изгибе; σр – прочность при растяжении; Ер – модуль упругости при растяжении; ауд – ударная вязкость; Нв – твердость по Бринеллю; коэффициент вариации по свойствам 4-6 %.

С точки зрения снижения себестоимости продукции эффективно введение МОК как наполнителя эпоксидного композита (50 масс.ч.), при этом также возрастают физико-механические характеристики: более чем в 2 раза повышается изгибающее напряжение и в 4,7 раза модуль упругости при изгибе, на 38 % повышается прочность и на 55 % модуль упругости при растяжении, также отмечено повышение в 2,7 раза твердости, при этом ударная вязкость сохраняется на уровне ненаполненной, пластифицированной композиции.

Таким образом, проведенные исследования показали эффективность применения МОК в качестве наполнителя эпоксидных композитов, обеспечивающего повышение деформационно-прочностных характеристик и снижение себестоимости продукции.

Список используемых источников.

1. Низина, Т. А. Влияние гранулометрического состава микромрамора на физико-механические характеристики наполненных эпоксидных композитов / Т. А. Низина, А. Н. Чернов, М. А. Морозов, Д. Р. Низин, А. И. Попова // Вестник МГСУ. – 2016. – № 9. – С. 98-107.

2. Майсурадзе, Н. В. Наполнение эпоксидных композиций дисперсными органо-неорганическими отходами / Н. В. Майсурадзе, Л. А. Абдрахманова // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18. – №18. – С. 179-181.

3. Осипов, П. В. Регулирование свойств наполненных эпоксидных олигомеров / П. В. Осипов, В. С. Осипчик, С. А. Смотрова, Д. Н. Савельев // Пластические массы. – 2011. – № 4. – С. 3-5.

4. Мостовой, А. С. Модификация эпоксидных полимеров кремнийсодержащим наполнителем с целью повышения эксплуатационных свойств / А. С. Мостовой, Л. Г. Панова, Е. А. Курбатова // Вопросы материаловедения. – 2016. – № 2 (86). – С. 87-95.

5. Мостовой, А. С. Разработка огнестойких эпоксидных композиций и исследование их структуры и свойств / А. С. Мостовой, Е. В. Плакунова, Л. Г. Панова // Перспективные материалы. – 2014. – № 1. – С. 37-43.

6. Мостовой, А. С. Разработка составов и исследование свойств пожаробезопасных эпоксидных компаундов / А. С. Мостовой, Е. В. Плакунова, Л. Г. Панова // Дизайн. Материалы. Технология. – 2012. – № 5 (25). – С. 135-137.

# УСЛОВИЯ СПЕКАНИЯ ПРОЗРАЧНОЙ КЕРАМИКИ Al2O3

**Севостьянов М. А., Опарина И. Б., Леонов А. В.**
***Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН, Москва***
***ibo@imet.ac.ru***

Мелкозернистая керамика из оксида алюминия (α-Al2O3) помимо высокой прочности (до 600-800 МПа), теплопроводности, теплового расширения и высокой температуры плавления [1], достаточно высокого пропускания [2], обладает исключительной коррозионной стойкостью [3]. Керамика Al2O3 с субмикронным размером зерен является самой твердой из всех прозрачных броневых материалов, твердость по Виккерсу может составлять HV10 > 20 ГПа [4]. Сочетание этих свойств позволяет изготавливать изделия на основе Al2O3 для особых применений: прозрачной брони, обтекателей ракет и оболочек сверхзвуковых управляемых снарядов.

Прозрачная поликристаллическая керамика Al2O3 спекается разными методами: ГИП, ГП, SPS. Традиционный метод получения прозрачной керамики Al2O3 заключается в спекании при температуре выше 1700 оС в атмосфере водорода [5]. Для уменьшения пористости используют добавки MgO, La2O3, Y2O3. Как и у всех прозрачных керамик оптические свойства Al2O3 напрямую связаны с характеристиками исходных порошков [6], в значительной степени зависят от размера зерна [7] и остаточной пористости [8, 9].

Самые высокие показатели пропускания керамики Al2O3 были достигнуты ГИП. Значения RIT от 51 % до 64 % при длине волны 640 нм зарегистрированы несколькими авторами на образцах толщиной 0,8 мм с размером зерна 470-580 нм [10]. Максимальная прозрачность Al2O3 была достигнута в работах: RIT=72 %, λ=640 нм [1]; RIT=71 %, λ=645 нм [7];

Для достижения высокого качества мелкозернистой прозрачной керамики применяются разные стратегии в том числе многоступенчатое спекание. Наноструктурная керамика Al2O3 со средним размером зерен 70 нм и относительной плотностью 95 % получена двухэтапным спеканием [11]. Для получения такой керамики сначала синтезировали порошки α-Al2O3 со средним размером частиц 10 нм низкой агломерации. Авторы считают, что уплотнение и подавление роста зерен в процессе спекания достигается за счет разной кинетики зернограничной диффузии и миграции границ зерен. Активному уплотнению предшествует медленная зернограничная диффузия, которая препятствует росту зерна на второй стадии спекания.

Плотная (более 99,5 %), высокопрочная поликристаллическая керамика Al2O3 получена в работе [12]. Порошок α-Al2O3 с добавлением 0,4% MnO и этанола измельчался в шаровой мельнице в течение 24 часов, затем прессовался в изостате при 200 МПа и спекался при 1200-1400 оС в течение 2 часов. Пропускание образцов составило 42% при длине волны 600 нм, прочность при испытании на трехточечный изгиб - 528 МПа.

Технология плазменного спекания (Spark Plasma Sintering, SPS) основана на модифицированном методе ГП и заключается в нагреве порошкового материала путем подачи импульсного тока не на внешний нагреватель, а непосредственно на пресс-форму и заготовку с одновременным приложением давления. Благодаря возникающему эффекту плазменных микроразрядов удается реализовать быстрый предварительный нагрев, чтобы подавить рост зерна. SPS обеспечивает спекание в широком интервале скоростей нагрева и в частности, высокоскоростной нагрев.

Спеканием SPS получают прозрачную керамику высокой плотности с тонкой микроструктурой при относительно низкой температуре. Прозрачность достигается оптимизацией условий спекания, таких как скорость нагрева, температура спекания, допирование и давление.

Для получения мелкозернистой микроструктуры прозрачной керамики Al2O3 предложен комбинированный метод с предварительным прессованием SPS с последующим окончательным спеканием методом горячего изостатического прессования [13]. SPS-пресинтез стабилизировал размер зерна. Тонкая микроструктура образцов с незначительным ростом зерна сохранилась во время последующей ГИП-обработки. Реальная светопередача на образцах толщиной 0,8 мм со средним размером зерна 237 нм составила 76,2% при длине волны 632,8 нм и достигла теоретического максимума в инфракрасном диапазоне длин волн от 2000 до 4500 нм. Высокое значение величины линейной передачи в видимом диапазоне доказывает превосходство комбинированного метода SPS/ГИП.

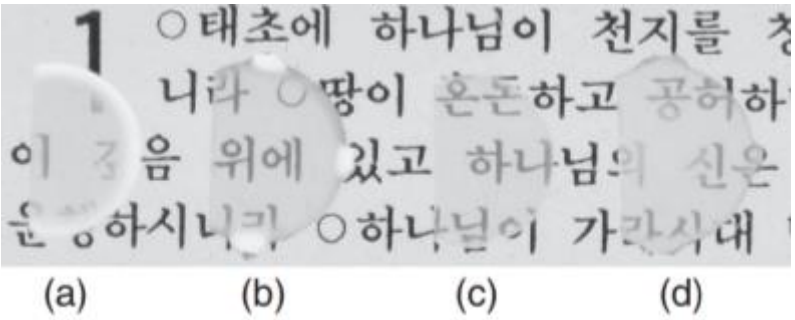



Рис. 1. Фотографии керамики Al2O3, спеченной SPS, при 400 МПа образцов: 1000 (a), 1050 (b), 1100 (c), 1150 (d) оС [39].

В работе [14] установлены следующие закономерности спекания: увеличение температуры на 100 °С приводит к четырехкратному увеличению размера зерна. При более низких давлениях рост зерна менее значителен, например, при 200 МПа, размер зерна образцов, спеченных при 1100 и 1200 °С составляет 0,14 и 0,31 мкм. Образцы керамики Al2O3, спеченной при 400 МПа в диапазоне температур 1000-1200 оС, показаны на рис. 1.

Для достижения высокой прозрачности поликристаллической керамики Al2O3 требуются специальные, оптимизированные режимы твердофазного спекания, например, многоступенчатое спекание: без давления для удаления пористости с последующим горячим изостатическим прессованием. Другие методы, например, искровое плазменное спекание, обеспечивают получение

образцов только простой формы, имеющих сопоставимые, но более низкие характеристики светопропускания.

Список используемых источников.

1. Krell A., Hutzler T., Klimke J. Transmission physics and consequences for materials selection, manufacturing, and applications // Journal European Ceramic Society, 2009. V.29. P.207–221.

2. Krell A, Blank P, Ma HW, Hutzler T, van Bruggen MPB, Apetz R. Transparent sintered corundum with high hardness and strength // Journal of the American Ceramic Society, 2003. V.86(1). P.12-18

3. Nagaoka T., Kita K. and Kondo N. Hot corrosion of Al2O3 and SiC ceramics by KCl–NaCl molten salt // Journal of the Ceramic Society of Japan, 2015. V.123 P.685-689.

4. Krell A., Klimke J., Hutzler T. Advanced spinel and sub-μm Al2O3 for transparent armour applications // Journal of the European Ceramic Society, 2009. V.29. P. 275–281.

5. Wei GC, Rhodes WH. Sintering of translucent alumina in a nitrogene hydrogen gas atmosphere // Journal of the American Ceramic Society. 2000. V.83(7). P.1641-1648.

6. Meng FC, Fu ZY, Zhang JY, Wang H, Wang WM, Wang YC, et al. Rapid densification of nano-grained alumina by high temperature and pressure with a very high heating rate // Journal of the American Ceramic Society, 2007. V.90(4). P.1262-1264.

7. Apetz R, van Bruggen MPB. Transparent alumina: a light-scattering model // Journal of the American Ceramic Society, 2003. V.86(3). P.480-486.

8. Kim BN, Hiraga K, Morita K, Yoshida H. Spark plasma sintering of transparent alumina // Scripta Materialia, 2007. V.57(7). P.607-610.

9. Jiang D, Hulbert DM, Anselmi-Tamburini U, Ng T, Land D, Mukherjee AK. Optically transparent polycrystalline Al2O3 produced by spark plasma sintering // Journal of the American Ceramic Society, 2008. V.91(1). P.151-154.

10. Bernard-Granger G, Guizard C, Addad A. Influence of co-doping on the sin-tering path and on the optical properties of a submicronic alumina material // Journal of the American Ceramic Society, 2008. V.91. P.1703–1706.

11. Li JG, Ye YP. Densification and grain growth of Al2O3 nanoceramics during pressureless sintering // Journal of the American Ceramic Society, 2006. V.89(1). P.139-143.

12. Nagashima M., Motoike K., Hayakawa M. Fabrication and optical characterization of high-density Al2O3 doped with slight MnO dopant // Journal of the Ceramic Society of Japan, 2008. V.116 [5]. P.645-648.

13. Trunec M., Klimke J., Shen Z.J. Transparent alumina ceramics densified by a combinational approach of spark plasma sintering and hot isostatic pressing // Journal of the European Ceramic Society, 2016. V.36. P.4333–4337.

14. Kim B-N., Hiraga K., Grasso S., Morita K., Yoshida H., Zhang H., Sakka Y. High-pressure spark plasma sintering of MgO-doped transparent alumina // Journal of the Ceramic Society of Japan, 2012. V.120 P.116-118.

# ВЛИЯНИЕ ПИГМЕНТНОЙ ЧАСТИ И ОБЪЕМНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПИГМЕНТОВ НА БИОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ЛАКОКРАСОЧНОГО ПОКРЫТИЯ

**Сабадаха Е. Н.**
***Белорусский государственный технологический университет, Минск Республика Беларусь***
***elenasabadaha@mail.ru***

Пигменты и наполнители имеют в составе некоторых материалов существенное значение в обеспечении грибостойкости. Пигменты могут механически затруднять развитие мицелия, оказывать токсичное действие на плесневые грибы и другие микроорганизмы. В данной работе исследовалось совместное влияние различных массовых концентраций диоксида титана, оксида цинка и кальцита, а также их объемных концентраций (ОКП) на грибостойкость покрытия на основе водно-дисперсионного лакокрасочного материала.

Для планировании эксперимента использовались симплекс-решетчатые планы Шеффе[1]. При разработке биозащитного водно-дисперсионного лакокрасочного материала для достижения высоких эксплуатационных характеристик покрытия количество пленкообразователя для всех модельных составов было принято 30%.

Для выполнения ограничения: сумма компонент в каждой точке факторного пространства должна быть постоянной; рассматривался факторный треугольник, в котором пигментная часть составила 30%мас.

Для проведения исследований в локальных областях факторного пространства накладывались ограничения по двум компонентам: диоксиду титана и оксиду цинка. Третий компонент – кальцит определялся вычитанием из суммы компонент диоксида титана и оксида цинка.

Обычно для обеспечения высокой укрывистости и белизны покрытий рецептуры водно-дисперсионных красок с улучшенными эксплуатационными характеристиками содержат большое количество диоксида титана (15–20%). Так как в рецептуру вводился еще один белый пигмент, который также влиял на технические характеристики покрытия, интервал варьирования TiO2 составил 10–20%. Количество ZnO приняли в пределах 5 – 20% (в модельных композициях на основе данной дисперсии покрытия полностью ингибировали рост плесневых грибов при содержании ZnO в указанных пределах).

В таблице приведена матрица планирования со значениями пигментной части в натуральных единицах, а также значения объемной концентрации пигментов в каждой экспериментальной точке.

Известно [2], что на биозащитные свойства покрытий существенное влияние оказывает окрашиваемая поверхность. Поэтому грибостойкость покрытий определяли на минеральной (шпатлевка различных составов) и дере

вянной подложках, а также на свободной пленке без подложки по ГОСТ 9.050 по методу 2 (в присутствии источника питания).

Контролем служили образцы шпатлевки и древесины без покрытия, зараженные суспензией спор грибов по методу 2. Контрольные образцы испытывались в тех же условиях, что и экспериментальные покрытия. Грибостойкость минеральной подложки оценена 3 баллами, деревянной – 5.

Таблица 1.

Матрица планирования.

| № состава | Состав пигментной части | | | ОКП, % |
|---|---|---|---|---|
| | TiO2 | ZnO | CaCO3 | |
| 1 | 15 | 10 | 5 | 34,6 |
| 2 | 16,65 | 10 | 3,35 | 33,2 |
| 3 | 18,35 | 10 | 1,65 | 31,7 |
| 4 | 20 | 10 | 0 | 30,3 |
| 5 | 16,7 | 13,3 | 0 | 29,4 |
| 6 | 13,3 | 16,7 | 0 | 28,5 |
| 7 | 10 | 20 | 0 | 27,6 |
| 8 | 10 | 11,7 | 3,3 | 30,1 |
| 9 | 10 | 8,3 | 6,7 | 32,5 |
| 10 | 13,3 | 8,3 | 3,4 | 34,6 |

На древесине грибы развивались интенсивнее, чем на минеральной подложке. Древесина в отличие от минеральных подложек является органическим материалом природного происхождения и служит источником углеродного питания для многих живых организмов. Снижают грибостойкость древесины также определенная температура и кислый pH среды, как известно, слабо кислая среда благоприятна для развития плесневых. Минеральные поверхности (бетонные, кирпичные, шпатлевочные) имеют щелочной pH поверхности, который замедляет развитие плесневых грибов.

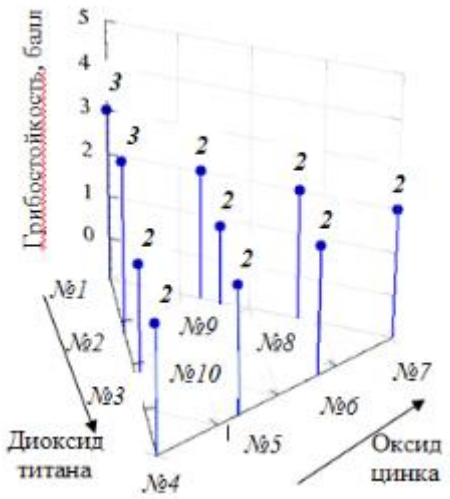



Рис. 1. Грибостойкость покрытий без подложки.

Результаты испытаний экспериментальных составов на грибостойкость приведены на рисунках 1 – 3.

При изучении биозащитных свойств свободных пленок по методу 2 низкая грибостойкость в 3 балла была отмечена у покрытий № 1 и № 2, что связанно с составом пигментной части (рис. 1). Остальные покрытия проявили грибостойкость равную 2 баллам.

На древесине (рис. 2) у всех составов биозащитные свойства отсутствовали: на покрытиях № 4–10 грибостойкость оценена в 3 балла; на покрытиях № 1–3 было едва видно развитие грибов на поверхности без использования микроскопа (3 балла). Составы № 1–3 показали грибостойкость 3 балла, благодаря более высоким значением ОКП по сравнению с другими составами в исследуемой области, то есть пигментная часть создавала лучший барьерный эффект, тем самым снижала негативное влияние деревянной поверхности. На грибостойкость покрытия № 7 на древесине, содержащего максимальное количество оксида цинка, в большей степени влияла ОКП и соответственно окрашенная поверхность, чем состав пигментной части.

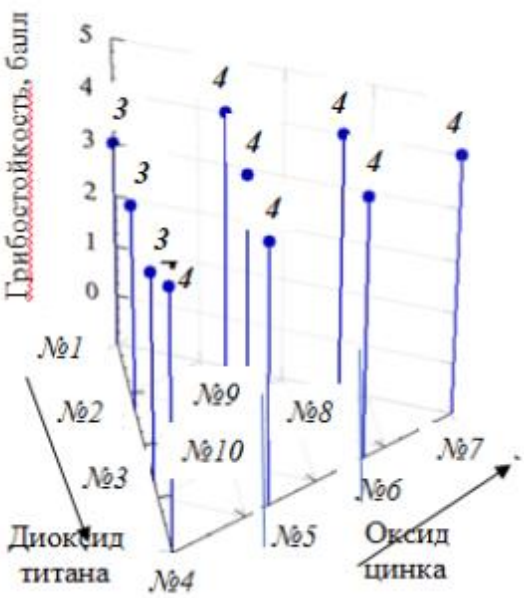



Рис. 2. Грибостойкость покрытий на деревянной подложке.

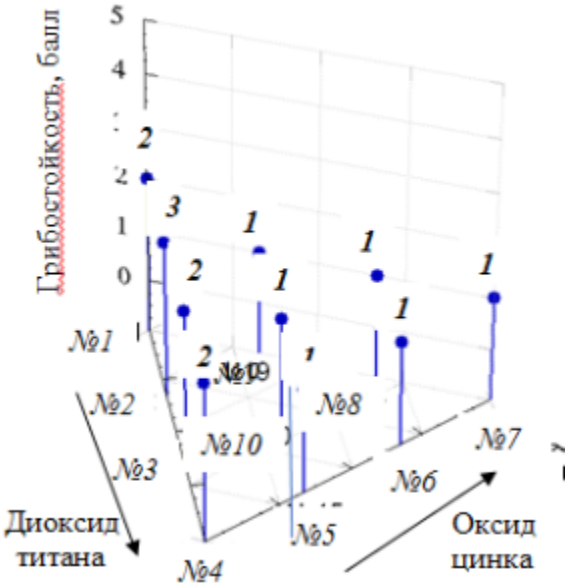



Рис. 3. Грибостойкость покрытий на минеральной подложке.

На минеральной подложке (рис. 3) ингибировали рост плесневых грибов покрытия № 5–10 (1 балл). При увеличении наполнителя и снижении оксида цинка у покрытий № 1–4 снижалась стойкость к плесневым грибам до 2 баллов. Кроме того, максимальное значение ОКП составов № 1–2 снижало положительной действие окрашенной поверхности.

Таким образом, проведенные исследования показали, что на грибостойкость лакокрасочных покрытий может оказывать влияние окрашиваемая поверхность и пигментная часть композиции, а также объемная концентрация пигментов.

Список используемых источников.

1. Грачев, Ю. П. Математические методы планирования экспериментов / Ю. П. Грачев, Ю. М. Плаксин. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 296 с.

2. Ремонт влажных и поврежденных солями строительных сооружений / Ф. Фрессель. – М.: Пэйнт-Медиа, 2006. – 320 с.

# БИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВЫСОКОДЕМПФИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ СВАРКИ ВЗРЫВОМ*

**Сайков И. В.[1], Винтайкин И. Б.[2], Чудаков И. Б.[3], Федотова Н. Л.[3], Макушев С. Ю.[3]**

***[1]Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А. Г. Мержанова Российской академии наук, Черноголовка***
***revan.84@mail.ru***

***[2]Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет) (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Москва, vintaikin_ivan@mail.ru***

***[3]ФГУП Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И. П. Бардина, Москва***

В настоящее время хорошо известно [1], что высокодемпфирующие сплавы и стали могут быть эффективно использованы в промышленности для борьбы с шумом и вибрацией. По сравнению с широко применяющимися на практике органическими высокодемпфирующими материалами (такими как пластики, древесина, резина и композиты со специальными волокнами), сплавы высокого демпфирования (СВД) и высокодемпфирующие стали обладают высоким модулем упругости Е (до 210-220 000МПа, что сопоставимо с конструкционными сталями). Сочетание высокого модуля упругости и высокой демпфирующей способности позволяет изготавливать из СВД конструкции и изделия, которые характеризуются одновременно высокой конструкционной жесткостью и высокой демпфирующей способностью. При этом многие СВД могут быть использованы при высоких температурах (до 500-600оС), что является совершенно недостижимым для применяющихся демпфирующих материалов. Недостатком известных СВД являются их не слишком высокие механические свойства, в результате чего эти материалы не могут быть использованы для изготовления изделий, в которых требуется экономия веса и повышенная поверхностная твердость.

В рамках настоящей работы проведена экспериментальная проверка возможности получения массивных слоистых металлических материалов, в которых одновременно достигается высокая прочность и высокая демпфирующая способность. В качестве демпфирующего слоя применялись массивные листы, выполненные из сплавов высокого демпфирования марок 60Г40Д, 60Г37Д3Х или 80Г15Д2Н3Х, а в качестве высокопрочного армирующего слоя - листы высококачественной стали 30ХГСА (эта сталь широко используется в авиации и в машиностроении как конструкционный материал для ответственных деталей). Вышеуказанные сплавы высокого демпфирования на основе металлической системы Mn-Cu являются наиболее широко известными СВД, параметры этих материалов подробно описаны в литературе [2], что позволяет производить сравнение получаемых свойств.

При подготовке экспериментов принималось во внимание, что режимы термической обработки высокопрочной качественной стали марки 30ХГСА и сплавов высокого демпфирования марок 60Г40Д, 60Г37Д3Х, 80Г15Д2Н3Х близки (температура закалки 800-880оС, температура отпуска 400-450оС), что позволяло осуществлять совместную термообработку уже сформированного многослойного композиционного материала. Прочное планарное соединение двух разнородных материалов было получено сваркой взрывом, с помощью которой можно получать различные твердофазные соединения. Эксперименты по получению двухслойного металлического материала проводили по стандартной плоской схеме с параллельным расположением пластин. В качестве взрывчатого вещества использовали аммонит 6ЖВ. Перед сваркой взрывом обе заготовки были закалены. Исследуемые композиционные материалы формировались при давлениях соударения от P=20,7ГПа до P=11,2ГПа. Толщина материала основы (демпфирующий сплав) варьировалась от t=2,4мм до t=9мм; а толщина высокопрочного слоя (сталь 30ХГСА) – от 1,2 до 1,5мм. После проведения сварки взрывом исследовалась кинетика изменения демпфирующих и механических свойств материала и его структуры в процессе отпуска при температурах 400-450оС, при этом контролировались адгезионные свойства границы раздела слоёв.

На рисунках 1а и 1б приведены амплитудные зависимости удельной демпфирующей способности (SDC) для биметаллов 30ХГСА-60Г40Д (а) и 30ХГСА-80Г15Д2Н3Х (б) после сварки взрывом и термической обработки.

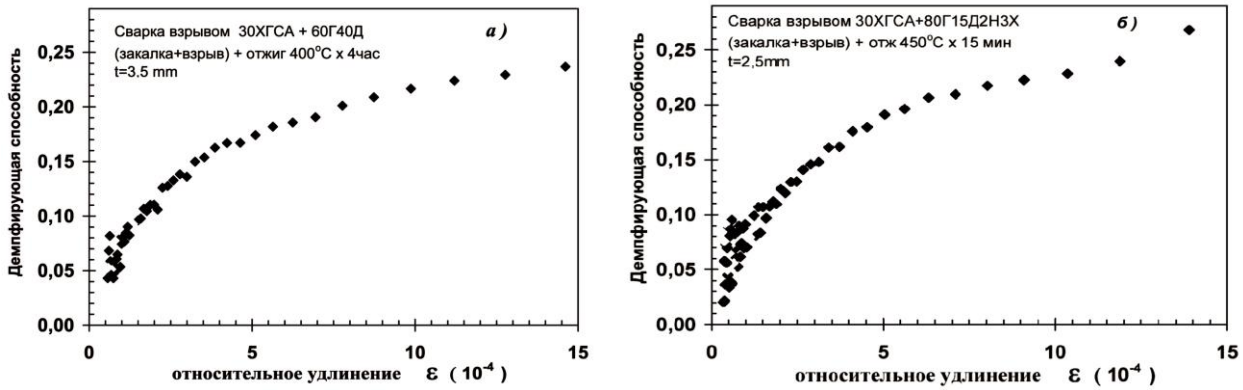



Рис. 1. Амплитудные зависимости демпфирующей способности биметаллов с основой из СВД марки 60Г40Д (а) и 80Г15Д2Н3Х (б) в толщинах 3,5 и 2,5мм.

Из рисунка 1 видно, что полученные биметаллические материалы обладают высокой демпфирующей способностью как в области малых, так и в области больших амплитуд колебаний, что является важным для их практического применения. При этом для целой серии практических применений наиболее актуальной является область малых амплитуд, где демпфирующая способность биметаллов остается высокой (Рис.1), хотя и уступает по уровню демпфирования монолитным СВД 60Г40Д, 80Г15Д2Н3Х.

Работоспособность любых биметаллических материалов определяется адгезионными характеристиками границы раздела. На рисунке 2 приведено электронномикроскопическое изображение поверхности разрушения биме-

талла 30ХГСА-60Г40Д после испытания на ударный изгиб при Т=20оС (левая часть фрактограммы относится к сплаву 60Г40Д, а правая часть – к стали 30ХГСА). Рисунок 2а показывает, что характер разрушения биметаллического образца является вязким, в области стали преобладает мелкоямочная картина излома, а в демпфирующем сплаве наблюдаются крупные деформированные ямки. Из Рис.2 видно, что на границе раздела двух материалов расслоение не происходит даже в области разрыва металла как для образца непосредственно после сварки взрывом (а), так и для этого же материала после дополнительного отжига 400оС х 1час (б). Испытания на циклический изгиб также не выявили расслоение материалов. Полученные результаты указывают на то, что конечная форма изделий из демпфирующего биметаллического материала может достигаться методом штамповки.

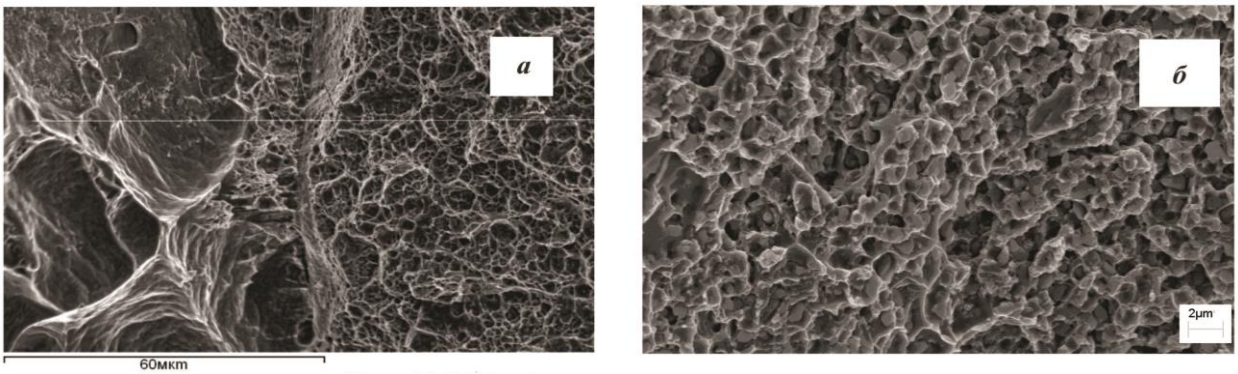



Рис. 2. Рельеф поверхности излома биметаллического образца 60Г40Д-30ХГСА в областях, прилегающих к границе раздела (а) и в центре границы раздела (б).

Исследование прочностных характеристик армирующего слоя и значений поверхностной твердости показало, что после различных обработок твердость на поверхности биметалла достигает 48÷53 единиц HRC, а предел прочности армирующего слоя превышает 1100МПа и при этом сохраняется запас пластичности. Высокопрочный слой толщиной 1,2÷3,0 мм на поверхности высокодемпфирующего сплава позволяет использовать его для принципиально других практических назначений.

Таким образом, в рамках настоящей работы продемонстрирована возможность получения композитных высокодемпфирующих материалов, имеющих высокую прочность и высокую демпфирующую способность.

**Авторы благодарят Российский фонд фундаментальных исследований за финансовую поддержку (грант РФФИ № 18-08-01506).*

Список используемых источников.

1. Фавстов, Ю. К. Металловедение высокодемпфирующих сплавов / Ю. К. Фавстов, Ю. Н. Шульга, А. Г. Рахштадт. – М.:Металлургия, 1980. – 272 с.

2. Удовенко, В. А. Структура и демпфирующие свойства ГЦК сплавов марганец-медь / В. А. Удовенко, Н. А. Полякова, Т. А. Турмамбеков // Физика металлов и металловедение. – 1991. – Т.72. – № 11. – С. 142-149.

# СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ЗАПОЛНИТЕЛЯ

**Санько Е. А.**
***Брестский государственный технический университет, Брест, Республика Беларусь***
***e-sanko@list.ru***

Бетоны – это один из строительных материалов, который используется повсеместно. Это происходит благодаря хорошим характеристикам, простоте в работе, стоимости. Но с каждым годом область строительства подвергается изменениям и в использование входят новые компоненты. Одним из них выступает керамзит, который выступает в роли крупного или мелкого заполнителя.

Бетоны с использованием керамзита широко применяются в гражданском и промышленном строительстве. Это позволяет улучшить характеристики по теплотехнике, акустике, а также снизить массу. Но, для обеспечения правильного расчета и использования, необходимо уточнять прочностные и деформационные характеристики не только таких бетонов, но и каждого компонента.

На сегодняшний день бетоны с легким заполнителем – это относительно новый материал. Он еще недостаточно изучен и сейчас только начинает получать широкое распространение. Он используется благодаря ряду положительных характеристик:

- низкий удельный вес;
- низкая проницаемость;
- высокая абсорбция;
- долговечность.

Все механические свойства контролируются несколькими показателями:

- прочность на сжатие;
- пористость;
- модуль упругости всех компонентов.

Одним из понятий, о которых нужно знать, является модуль упругости заполнителя. Сейчас существует несколько методик для определения характеристики, каждая из которых отличается друг от друга. Изучением вопроса занимаются как отечественные ученые, так и иностранные.

По источнику [1] имеется способ для определения модуля упругости, когда изготавливаются образцы - призмы с использованием горной породы. Проводятся их испытания сжимающей нагрузкой и определяются деформации. После этого происходит расчет модуля упругости. В этом случае имеется ряд недостатков:

1. Большая трудоемкость при испытаниях. Это получается из-за того, что нужно изготавливать образцы правильной геометрической формы из горной породы.

2. Ограниченность использования методики, потому что многие лаборатории не оснащены приборами, которые помогут сделать такие образцы.

По источнику [1] имеется способ, который позволяет определить модуль упругости заполнителя, предварительно изготовив образцы из бетона. Для этого нужно изготовить образцы, а после этого отсеять растворную смесь для определения модуля упругости. Среди недостатков отмечается:

1. Большая трудоемкость, потому что нужно отсеивать растворную смесь.

2. Наличие погрешности

По источнику [2] существует патент на определение модуля упругости. В этом случае изготавливаются образцы, в которых используется как эталонный заполнитель, так и испытуемый. После окончания твердения они испытываются, и определяется модуль упругости для каждой серии. После этого идет расчет по формулам и определяется нужная характеристика.

Это методики, которые приводятся в отечественных источниках. Особое внимание нужно уделять зарубежным, потому что там их больше, и они отличаются.

Одной из них можно отметить испытания с использованием эпоксидной смолы [3]. Выполнялись эталонные и испытуемые образцы, которые в дальнейшем испытывались, и определялся модуль упругости. Эпоксидная смола подбиралась под условия твердения, прочность и другие показатели.

Помимо этого, существует еще ряд методик, которые будут различны между собой по принципу получения данных.

Керамзит – материал, который в бетоне оказывает влияние на все характеристики. Именно поэтому следует изучить его характеристики и использовать их при расчетах.

Список используемых источников.

1. Технология заполнителей бетона / С. М. Ицкович, Л. Д. Чумаков, Ю. М. Баженов. – М.: Высшая школа, 1991. – 272 с.

2. Пат. 2110069. G01N33/38. Способ определения модуля упругости заполнителя / Г. А. Айрапетов, Г. В. Несветаев, В. Н. Вартанова, И. О. Егорочкина, И. А. Ефремова. – № 96116367/03; Заявлено 07.08.96; Опубл. 27.04.98. – 6 с.

3. Greene, G. and Graybeal, B. (2013). Lightweight Concrete: Mechanical Properties, Report No. FHWA-HRT-13-062, Federal Highway Administration, Washington, DC.

4. Barbuta M., Lepadatu D. Mechanical characteristics investigation of polymer concrete using mixture design of experiments and response surface method. Appl. Sci. 2008;8:2242–2249.

# ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ДЕВУЛКАНИЗАЦИИ РТИ НА ВАЛКОВОМ ОБОРУДОВАНИИ

**Морева И. И., Шашков И. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***dfyj10@yandex.ru***

В результате проведенного литературного обзора установлено, что одним из наиболее перспективных способов девулканизации РТИ является непрерывный термомеханический метод регенерации резины. Он включает в себя несколько основных стадий, таких как подготовка резиновой крошки (например, дробление шин), смешивание крошки с химическими компонентами, непосредственная переработка на оборудовании [1-3].

Известно, что чем меньше размеры частиц крошки, тем более быстро и равномерно происходит набухание резины в мягчителях и её нагрев до заданной температуры. Это приводит к получению более равномерно деструктированного материала, уменьшению содержания в девулканизате недостаточно девулканизованных частиц резины («крупы») и, как следствие этого, получению более однородного по качеству регенерата, снижению количества отходов рафинирования и повышению производительности рафинировочного оборудования. Однако по мере уменьшения размеров частиц резиновой крошки возрастают затраты на её производство. В связи с этим при существующих в настоящее время способах получения резиновой крошки применение для получения регенерата шинной резиновой крошки с размерами частиц 0,5 мм и менее, как правило, экономически нецелесообразно. При изучении процесса девулканизации РТИ использовалась резиновая крошка с размером частиц до 2 мм.

При получении регенерата на валковом оборудовании резиновую крошку предварительно смешивают с химическими активаторами, мягчителями, такими как, например, стеариновая кислота.

Температура валков варьировалась от 30 до 55 С°.

Технологические режимы получения регенерата и химические реагенты выбираются таким образом, чтобы обеспечить девулканизацию резины, то есть максимально разрушить поперечные связи, чаще всего C-S и S-S, при этом максимально сохраняя от термодеструкции молекулу каучука. Это позволяет получить высокомолекулярную резиновую смесь (регенерат), обладающую пластичностью, с широким спектром применения [4-6].

На рисунке 1 представлена схема лабораторной установки, на которой проводились экспериментальные исследования.

Эксперимент проводился следующим образом. Подготовленная шинная крошка смешивалась первоначально со стеариновой кислотой, затем эта смесь подавалась на уже нагретые вальцы. В течение некоторого времени обработки на вальцах в смеси под действием давления и температуры происходила девулканизация. В результате обработки смесь превращалась в лист, ко-

торый возможно в дальнейшем использовать для последующей переработки, например для загрузки в экструдер с целью получения длинномерных профильных изделий. Предварительные эксперименты включали в себя несколько этапов обработки резиновой смеси со стеариновой кислотой: обработка на z-образном смесителе при температуре более 150 °С, далее на вальцах, а после в червячной машине.

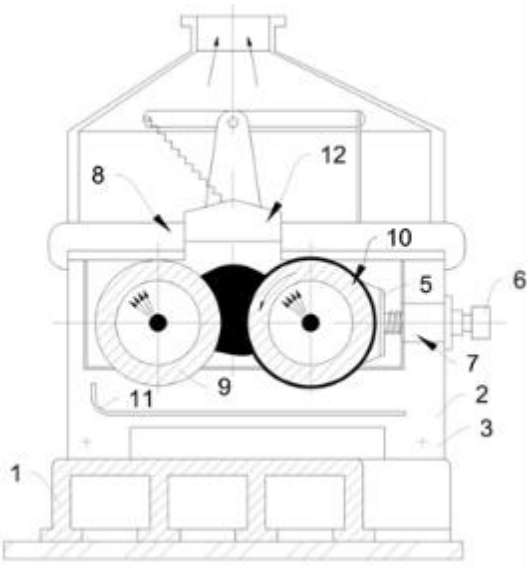



Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования процесса девулканизации резиновой крошки: 1 – плиты; 2 – станина; 3 – стяжки; 4 и 5 – подшипники валков; 6 - нажимный винт; 7 – резьбовая втулка винта; 8 – траверса; 9 и 10 – валки; 11 – противень; 12 – ограничительная стрелка.

Эксперименты показали, что наибольшая степень девулканизации достигается на валковом оборудовании, и из вышеописанных этапов можно исключить наиболее энергоёмкий – обработку на z-образном смесителе.

Степень девулканизации переработанной смеси определялась методом ацетоно-хлороформенной экстракции. Результаты её измерения представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Зависимость степени девулканизации от потребляемой мощности оборудования

| Оборудование | Порт. мощность, Вт | Степень девулканизации, % |
|---|---|---|
| Z-обр. смеситель | 3750 | 2,31 |
| Z-обр. смеситель + вальцы | 9250 | 20,368 |
| Z-обр. смеситель +вальцы+экструдер | 11799,5 | 25,14 |

В дальнейших исследованиях планируется получить более высокую степень девулканизации отходов РТИ.

Процесс регенерации, описанный выше, отличается от подобных тем, что при его использовании применяется минимум химических компонентов, при этом затрачивается достаточно мало энергии и аппаратурное оформление не занимает больших площадей. Все вышеописанные качества положительно влияют как на экологическую составляющую процесса, так и экономическую.

Интенсификация технологических процессов, заключающаяся в повышении их скорости и сокращении продолжительности, уменьшении удельных энергетических и трудовых затрат, необходимых для их осуществления, в увеличении калибров и улучшении конфекционных свойств резиновых заготовок и технологических свойств резиновых смесей на участке вулканизации, а также улучшение некоторых качественных показателей готовых изделий - тот технический эффект, который в той или иной степени может сопровождать применение регенерата в резиновой промышленности и служить дополнительным источником экономической эффективности.

Список используемых источников.

1. Беляев, П. С. Повышение качества нефтяных битумов путем модификации продуктами переработки изношенных автомобильных шин / Беляев П.С., Маликов О.Г., Забавников М.В., Соколов А.Р. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 9. – № 1. – С. 63-69.

2. Беляев, В. П. Утилизация резиновой крошки из изношенных шин в контексте решения проблемы повышения качества дорожных покрытий / В. П. Беляев, А. С. Клинков, П. С. Беляев, Д. Л. Полушкин // Глобальный научный потенциал. – 2012. – № 10 (19). – С. 169-171.

3. Беляев, В. П. Повышение энергоэффективности процесса модификация битума регенератом резиновой крошки / В. П. Беляев, О. Г. Маликов, С. А. Меркулов, П. С. Беляев, Д. Л. Полушкин, В. А. Фролов // Components of Scientific and Technological Progress. – 2013. – № 1 (16) – С. 75 – 77.

4. Беляев, П. С. Модификация нефтяных дорожных битумов полимерными материалами для получения асфальтобетонных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками / П. С. Беляев, Д. Л. Полушкин, П. В. Макеев, В. А. Фролов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22. – № 2. – С. 264-271.

5. Рециклинг и утилизация тары и упаковки: учебное пособие / А. С. Клинков, М. В. Соколов, П. В. Макеев, И. В. Шашков, В. Г. Однолько. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО «Тамбовский гос. технический ун-т», 2010.

# СИНТЕТИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТА И ВОЛЛАСТОНИТА

**Солоненко А. П.**[1, 2]
[1]*Омский государственный медицинский университет, Омск*
annsolonenko@gmail.com
[2]*Омский государственный технический университет, Омск*

Один из приемов улучшения химических, механических и манипуляционных характеристик материалов, предназначенных для эффективного восстановления твердых тканей человека, заключается в переходе от однокомпонентных субстанций к полифазным составам, сочетающим вещества с различными свойствами. Так, разрабатываются смеси гидроксиапатита (ГА, Ca10(PO4)6(OH)2) и таких соединений, как трикальция фосфат (Ca3(PO4)2), брушит (CaHPO4·2H2O), кальцит (CaCO3), гипс (CaSO4·2H2O), волластонит (ВТ, β-CaSiO3) и некоторых других. Названные соли обладают более высокой растворимостью (по сравнению с ГА), за счет чего способны оказывать положительное влияние на скорость резорбции материала в условиях in vivo. Особое внимание, среди перечисленных веществ, в последнее время привлекают силикаты кальция как допанты ГА, ввиду активного участия SiO32-- ионов в процессах репаративного восстановления и развития костной системы.

В настоящей работе изучены композиты на основе ГА и ВТ с варьируемым содержанием компонентов, полученные последовательным осаждением солей в водных растворах и прокаливанием продуктов синтеза [1]. Порошки исследовали с применением методов РФА, ИК-Фурье-спектроскопии, СЭМ и лазерной дифракции.

Согласно результатам РФА, образцы состоят из Ca10(PO4)6(OH)2 и β-CaSiO3 (рис. 1). Другие фазы в составе образцов отсутствуют. Пики солей на дифрактограммах четко выражены и хорошо разрешены, следовательно, в ходе эксперимента формируются кристаллические вещества. По мере уменьшения содержания апатита в материалах интенсивность соответствующих данной фазе рефлексов снижается (наиболее отчетливо угасание фиксируется по пикам ГА при 32.2°, 34.0° и 35.4° по 2θ), тогда как пики, характерные для фазы ВТ, становятся более выраженными.

В ИК-спектрах порошков совместно проявляются полосы поглощения фосфатов (565, 603, 630, 962, 1040, 1090 и 1650 см-1) и гидроксильных групп (1625 и 1645 см-1) из структуры Ca10(PO4)6(OH)2, а также силикат-ионов (565, 645, 680, 902, 935, 962, 1018, 1080 и 1200 см-1), входящих в состав β-CaSiO3 (рис. 2). Аналогично дифракционным картинам, полосы силикатной фазы становятся все более выраженными по мере роста доли ВТ в композитах, тогда как интенсивность рефлексов фосфатов закономерно уменьшается.

Согласно расчету по данным рентгеновской дифракции, кристаллиты фосфата и силиката кальция имеют нанометровые размеры (табл.). Однако,

анализ образцов методом лазерной дифракции показал, что твердые фазы включают частицы с диаметрами 3 - 200 мкм, их медианный диаметр лежит в диапазоне 80 - 140 мкм. Установленное существенное различие размеров кристаллитов и частиц порошка указывает на высокую степень агломерации зародышей солей в процессе их осаждения и прокаливания. Спекание частиц твердых фаз при термообработке обусловливает невысокие значения площади удельной поверхности образцов, которые при переходе от чистого ГА к ВТ изменяются от 16 до 1 м2/г.

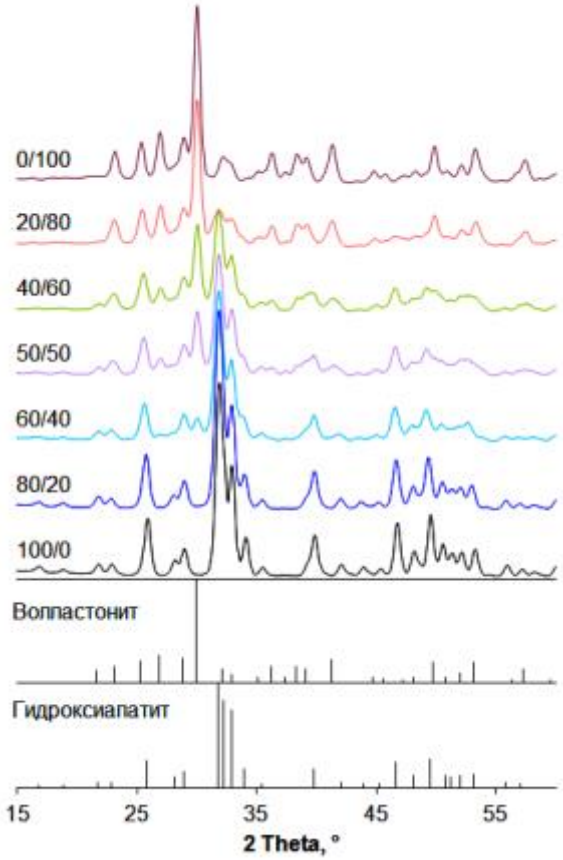



Рис. 1. Дифрактограммы композитов и чистых фаз ГА и ВТ

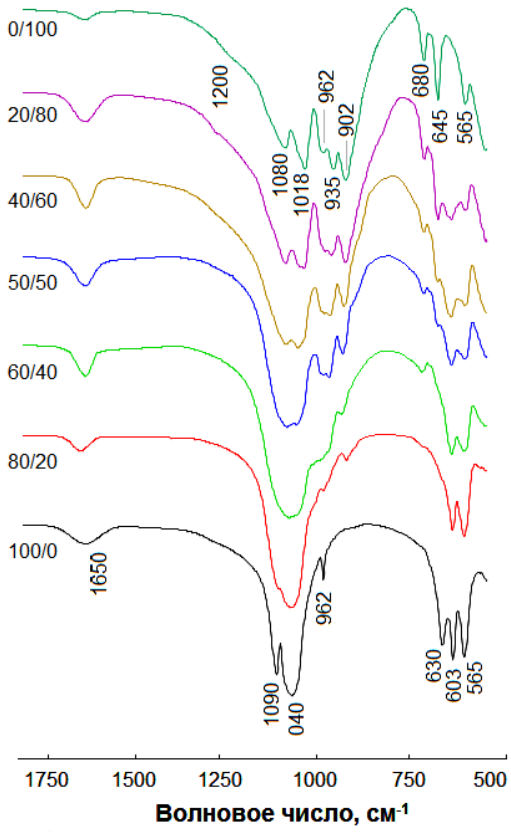


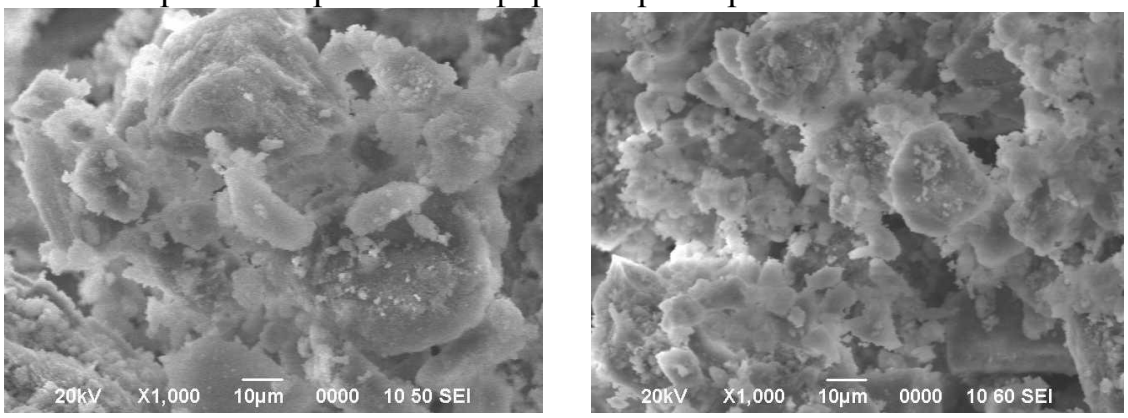

Рис. 2. ИК-спектры композитов и чистых фаз ГА и ВТ

Таблица 1.

Дисперсный состав композитных порошков и чистых фаз ГА и ВТ

| WГА, мас.% | DГА, нм | DBT, нм | Dmedian, μм |
|---|---|---|---|
| 100 | 12.9 | - | 133.8 |
| 80 | 12.4 | - | 87.7 |
| 60 | 11.9 | 9.5 | 99.0 |
| 50 | 11.4 | 12.2 | 103.6 |
| 40 | 11.0 | 11.0 | 110.7 |
| 20 | 12.2 | 10.8 | 133.8 |
| 0 | - | 13.1 | 133.3 |

На рис. 3 представлены микрофотографии частиц композитов на основе ГА и ВТ. По данным СЭМ порошки сложены плотными практически беспористыми агрегатами различной формы и размеров.




а б

Рис. 3. Микрофотографии композитов состава (а) 50/50 и (б) 40/60 ГА/ВТ.

Таким образом, установлено, что синтетические керамические порошки состоят из частиц, которые представляют собой микрокомпозиты агломерированных плотно уложенных нанометровых кристаллитов ГА и ВТ. Данные материалы могут быть перспективными компонентами медицинских материалов для инженерии костной ткани.

Список используемых источников.

1. Солоненко, А. П. Синтез композитов на основе фосфатов и силикатов кальция / А. П. Солоненко, А. И. Блесман, Д. А. Полонянкин, В. А. Горбунов // Журнал неорганической химии. – 2018. – Т. 63. – № 8. – С. 953-960.

# СВЧ-МОДИФИКАЦИЯ НАПОЛНЕННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

**Толстов В. А., Мостовой А. С., Теслина Н. В., Кадыкова Ю. А.**
***Энгельсский технологический институт (филиал), Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина***
***Mostovoy19@rambler.ru***

Обработка электромагнитными колебаниями СВЧ относится к физическим методам модификации полимерных композиционных материалов. Применение излучений СВЧ в электротехнологических процессах (микроволновые технологии) и для модификации материалов является одним из основных направлений современной технологии [1].

Под влиянием физических колебательных воздействий, как и при нагревании, повышается подвижность структурных элементов полимера. Наибольшего эффекта от применения колебательных воздействий следует ожидать при совпадении частоты внешнего воздействия с частотой собственных колебаний структурных элементов макроцепей. Такая обработка обеспечивает более равномерный прогрев, чем обычные обогреватели, работающие по принципу теплопроводности [1].

В качестве полимерной матрицы в данной работе применялась эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, пластифицированная олиго(резорцин)дифенилфосфатом Fyrolflex (ОРДФФ). Выбор ОРДФФ объясняется наличием в его составе ингибитора горения (фосфора), который обеспечивает структурирование эпоксидного полимера при повышенной температуре, тем самым повышается выход карбонизованных структур при горении, которые в свою очередь являются физическим барьером для взаимодиффузии окислителя и горючих газов в зону горения, что обеспечивает эффективное снижение горючести композиционного материала [2].

В связи с тем, что наполнение является наиболее широко применяемым и высокоэффективным способом направленного регулирования свойств эпоксидных полимеров, позволяющим повысить показатели механической прочности и жесткости, теплостойкости [3-5], в качестве дисперсного минерального наполнителя применяли охру. Фракционный состав охры характеризуется бимодальным распределением и представлен частицами от 0,1 до 100 мкм, со средними размерами частиц 2-3 и 30-40 мкм.

Для повышения равномерности распределения охры применялась ультразвуковая обработка состава (частота УЗ - 22±2 кГц, продолжительность 60 мин.).

Для повышения деформационно-прочностных свойств эпоксидных композитов применяли СВЧ-модификацию.

СВЧ-обработка эпоксидной композиции обеспечила повышение механических характеристик композитов: на 22% возрастает прочность композитов на изгиб, на 27% повышается модуль упругости при изгибе, на 18% повышается ударная вязкость, табл.1.

Таблица 1

Свойства эпоксидных композитов.

| Состав композиции, масс.ч., отвержденной 15 масс.ч. ПЭПА | Gиз, МПа | Еиз, МПа | ауд, кДж/м2 |
|---|---|---|---|
| Без СВЧ модификации | | | |
| 100ЭД-20+40ОРДФФ+0,5Охра | 105 | 3500 | 11 |
| СВЧ модификация | | | |
| 100ЭД-20+40ОРДФФ+0,5Охра | 128 | 4438 | 13 |

Примечание: Gиз – изгибающее напряжение; Еиз – модуль упругости при изгибе; ауд – ударная вязкость; коэффициент вариации по свойствам 3-5 %.

Таким образом, проведенные исследования показали, эффективность применения СВЧ модификации эпоксидных композитов наполненных охрой, которая обеспечила повышение физико-механических характеристик композитов, что объясняется дополнительным структурированием материала в результате СВЧ обработки.

Список используемых источников.

1. Черемухина, И. В. Оценка физико-химической активности различных способов физической модификации / И. В. Черемухина, В. Н. Студенцов // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 2 (2). – С. 299-302.

2. Мостовой А. С. Разработка огнестойких эпоксидных композиций и исследование их структуры и свойств / А. С. Мостовой, Е. В. Плакунова, Л. Г. Панова // Перспективные материалы. – 2014. – № 1. – С. 37-43.

3. Майсурадзе, Н. В. Наполнение эпоксидных композиций дисперсными органо-неорганическими отходами / Н. В. Майсурадзе, Л. А. Абдрахманова // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18. – №18. – С. 179-181.

4. Осипов, П. В. Регулирование свойств наполненных эпоксидных олигомеров / П. В. Осипов, В. С. Осипчик, С. А. Смотрова, Д. Н. Савельев // Пластические массы. – 2011. - № 4. – С. 3-5.

5. Мостовой, А. С. Модификация эпоксидных полимеров кремнийсодержащим наполнителем с целью повышения эксплуатационных свойств / А. С. Мостовой, Л. Г. Панова, Е. А. Курбатова // Вопросы материаловедения. – 2016. – № 2 (86). – С. 87-95.

# СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИЭФИРА НА РАЗРЫВНОЙ МАШИНЕ

**Макарчук А. П., Преображенская Е. М.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***energ-lab@yandex.ru***

В последнее время применение термопластичного полиэфира в качестве материала для 3D принтеров многократно возросло. Данный полимер относится экологичному виду материала, является устойчивым к изменению температуры, не растворяется в ацетоне. Однако механические свойства материала недостаточно изучены [1-3].

В работе проводились исследования предела прочности при растяжении образцов из термопластичного полиэфира на разрывной машине МР-0,5-1 (рис.1). Образцы изготавливались на 3D принтерах PICASO 3D Designer PRO 250 и MakerBot Replicator Z18. Геометрические размеры образцов выполнялись согласно ГОСТа 33693-2015.

Рис. 1. Испытание образца из термопластичного полиэфира на разрывной машине МР-0,5-1.

Результатом испытания образца на разрывной машине МР-0,5-1 является график зависимости сопротивления к разрушению от приложенной нагрузки (рис. 2). Полученные данные испытания образцов напечатанных на 3D принтерах PICASO 3D Designer PRO 250 и MakerBot Replicator Z18 сведены в таблицу.

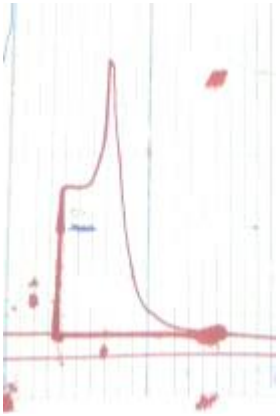


Рис. 2. График испытания образца из полиэфира
на разрывной машине МР-0,5-1.

Таблица 1.

| Принтер | Тип отв-й | Масса, г | Сила, кгс | Удл., мм |
|---|---|---|---|---|
| Picaso | нет | 6,97 | 47 | 15 |
| | квадрат | 5,98 | 0 | 0 |
| | квадрат2 | 7,9 | 24 | 4 |
| | круг | 7,08 | 18 | 5 |
| Z18 | нет | 10,04 | 211 | 15 |
| | нет2 | 9,78 | 187,5 | 9 |
| | квадрат | 8,74 | 83 | 7 |
| | квадрат2 | 8,7 | 81 | 6 |
| | квадрат3 | 8,76 | 27 | 5 |
| | круг | 8,8 | 79 | 6 |
| | круг2 | 9,03 | 86 | 6 |
| | круг3 | 9,11 | 89 | 4 |
| | круг4 | 8,99 | 86 | 6 |
| Z18 без отверстий | | | | |
| 100% | 1 | 9,65 | 211,5 | 15 |
| | 2 | 9,68 | 218 | 14 |
| | 3 | 9,65 | 217,5 | 11 |
| 50% | 1 | 7,58 | 137 | 8 |
| | 2 | 7,53 | 128 | 8 |
| | 3 | 7,55 | 138 | 8 |

В таблице приведены данные для трех типов образцов напечатанных на каждом из принтеров. Образцы выполнены с отверстиями в них разной формы и сплошно. Как видно из таблицы наилучшие прочностные характеристики показали образцы, напечатанные без отверстий. Зависимость прочностных характеристик от типа принтера (от алгоритма печати) не замечена.

Дополнительно были проведены испытания образцов напечатанных на 3D принтере MakerBot Replicator Z18 с 50 и 100% плотностью заполнения.

При заполнении на 100% у образцов наблюдается не стабильность прочностных характеристик. В свою очередь у образцов с заполнением на

50% наблюдается одинаковое удлинение при разрыве, что по-видимому связано с ячеистой структурой образца.

Таким образом, анализа полученных данных показал, что необходимо провести дополнительные исследования образцов полученных с разной плотностью заполнения - от 10 до 100%.

Данная работа проводится с целью дальнейшего исследования влияния наноструктурных добавок на механические свойства образцов из композита с термопластичным полиэфиром [4-6].

Список используемых источников.

1. Исследование режимов формирования углеродных нанообъектов на островковой структуре меди / М. В. Макарчук [и др.] // Физика и технология наноматериалов и структур: сборник научных статей 3-й Международной научно-практической конференции, 2017. – С. 90-95.

2. Макарчук, М. В. Исследование проблем синтеза углеродных нанообъектов / М. В. Макарчук, М. Н. Дутов // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы IX Международной научно-инновационной молодёжной конференции, 2017. – С. 188-189.

3. Макарчук, М. В. Деформационный метод получения объемных наноструктурных материалов / М. В. Макарчук, А. А. Шипилов // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы IX Международной научно-инновационной молодёжной конференции, 2016. – С. 177-178.

4. Королев, А. П. Исследование наноструктурных материалов методом Муара / А. П. Королев, М. В. Макарчук, М. Н. Дутов, А. Д. Лоскутова // Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций: сборник материалов XI Международной конференции, 2017. – С. 98-99.

5. Исследование режимов формирования углеродных нанообъектов на островковой структуре меди / М. В. Макарчук [и др.] // Физика и технология наноматериалов и структур: сборник научных статей 3-й Международной научно-практической конференции, 2017. – С. 90-95.

6. Макарчук, М. В. Дериватографическая методика исследования синтезированных нанообъектов / М. В. Макарчук, А. Д. Лоскутова, М. Н. Дутов // Энергосбережение и эффективность в технических системах: материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, 2017. – С. 304-305.

# РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ШНЕКОВОГО УСТРОЙСТВА

**Ромашкина Л. В., Макеев П. В., Ануфриев И. О., Буравлёв Н. А.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

С целью обеспечения непрерывной работы валково-шнекового агрегата необходимо согласовать производительности валковой машины и шнекового устройства. Для решения поставленной задачи в качестве условия согласования было выбрано равенство производительностей вальцов и шнекового устройства.

Таким образом, расчёт сводится к определению частоты вращения шнека, при которой может быть обеспечена заданная производительность процесса. При этом геометрические размеры шнека (шаг винтовой нарезки шнека, глубина винтового канала шнека, длина нарезной части шнека, радиальный зазор, угол подъема винтовой нарезки шнека) могут быть выражены через коэффициенты [1].

Так производительность вальцов, работающих по непрерывной схеме, может быть определена [2-4]:

$$Q_в = 60 \cdot \pi \cdot D_в \cdot n_в \cdot F_л \cdot \rho \cdot \eta \qquad (1)$$

где Dв – диаметр валка вальцов, м; nв – число оборотов переднего валка, об/мин; FЛ – площадь поперечного сечения ленты материала, снимаемого с валка, м2; ρ – плотность смеси, кг/м3; η – коэффициент использования машинного времени (η = 0,8-0,9).

Производительность шнекового устройства определяем из уравнения [4-6]:

$$Q_ш = \frac{\alpha \cdot K}{K + \beta + \gamma} n_ш \qquad (2)$$

где K – коэффициент геометрической формы головки, м3; nш – частота вращения шнека, с-1; α – постоянная прямого потока, м3; β – постоянная обратного потока, м3; γ – постоянная потока утечки, м3.

Значения постоянных прямого потока α, обратного β и потока утечки γ определяются следующим образом:

$$\alpha = \frac{\pi \cdot D_ш \cdot h \cdot (t - i \cdot e) \cdot \cos^2 \varphi}{2}; \qquad (4)$$

$$\beta = \frac{h^3 \cdot (t - i \cdot e) \cdot \sin 2\varphi}{24 \cdot l_0}; \qquad (5)$$

$$\gamma = \frac{\pi^2 \cdot D_ш{}^2 \cdot \delta^3 \cdot tg\varphi \cdot \sin\varphi}{10 \cdot e \cdot l_0}, \qquad (6)$$

где Dш – наружный диаметр шнека, м; t – шаг нарезки шнека, м; h – глубина нарезки шнека, м; e – ширина гребня нарезки шнека, м; i – число заходов шнека; L – длина зоны дозирования (в данном случае длина нарезной части

шнека), м; δ – величина радиального зазора между гребнем нарезки и внутренней поверхностью материального цилиндра, м; φ – угол наклона винтовой нарезки.

В конечном итоге условие, обеспечивающее согласование, может быть записано приравнивая (1) и (2):

$$60 \cdot \pi \cdot D \cdot n_{в} \cdot F_{л} \cdot \rho \cdot \eta = \frac{\alpha \cdot K}{K + \beta + \gamma} n_{ш} \tag{7}$$

Определяющее влияние на производительность устройства будет оказывать дозирующая зона шнека. Производительность дозирующей зоны в значительной степени зависит от геометрических параметров самого шнека. Производительность же шнекового устройства в целом зависит не только от геометрических параметров шнека и частоты его вращения, но и в значительной степени от геометрии формующей головки [7-10].

На основании полученной зависимости был разработан алгоритм расчета геометрических размеров шнекового устройства (рис. 1). Результатом работы программы является множество значений диаметров Dш и частот вращения nш шнека шнекового устройства при которых обеспечивается условие согласования (7) для заданных геометрических размеров профилирующей формующей головки и коэффициентов для геометрических размеров шнека.

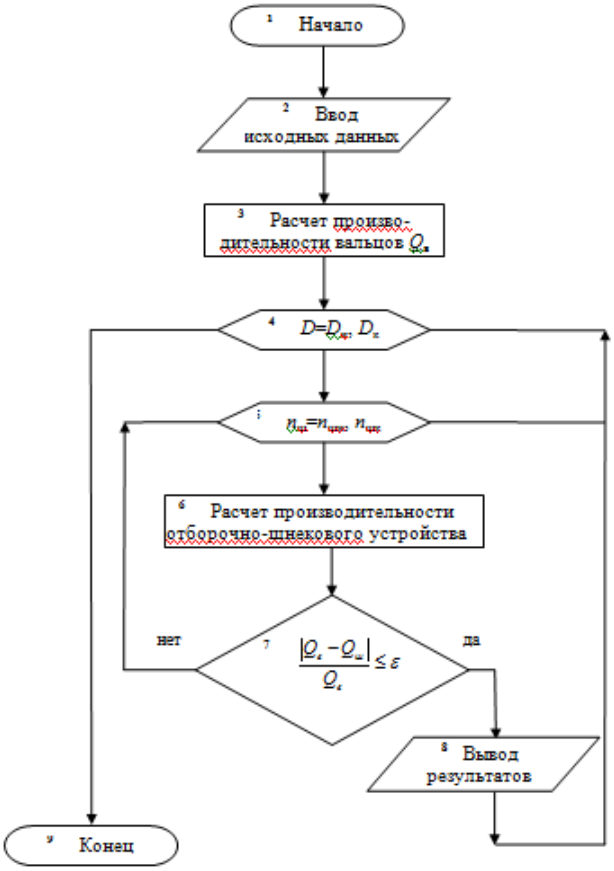



Рис. 1. Алгоритм расчета геометрических размеров шнекового устройства.

Список используемых источников.

1. Клинков, А. С. Утилизация и переработка твёрдых бытовых отходов / А. С. Клинков, П. С. Беляев, В. Г. Однолько, М. В. Соколов, П. В. Макеев, И. В. Шашков. – Тамбов, 2015.

2. Макеев, П. В. Переработка отходов полимерных материалов на валково-шнековом агрегате / П. В. Макеев, А. С. Клинков, И. В. Шашков, Д. Л. Полушкин // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – Т. 6. – № 1 (104). – С. 119-123.

3. Клинков, А. С. Ресурсосберегающая технология переработки отходов полимерных материалов / А. С. Клинков, П. В. Макеев, И. В. Шашков, Д. Л. Полушкин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2013. – № 3 (47). – С. 292-300.

4. Макеев, П. В. Методика расчета величины сдвиговой деформации при получении профильных изделий заданного качества / П. В. Макеев, А. С. Клинков, Д. Л. Полушкин, П. С. Беляев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18. – № 1. – С. 166-172.

5. Патент на изобретение RUS 2417881. Валково-шнековый агрегат / А. С. Клинков, П. В. Макеев, Д. Л. Полушкин, М. В. Соколов, В. Г. Однолько 11.01.2009.

6. Макеев, П. В. Анализ эффективности разработанных технологий утилизации отходов термопластов / П. В. Макеев, А. С. Клинков, И. В. Шашков, В. Г. Однолько // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17. – № 4. – С. 1002-1006.

7. Рециклинг и утилизация тары и упаковки: учебное пособие / А. С. Клинков [и др.]. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО «Тамбовский гос. технический ун-т», 2010.

8. Шашков, И. В. Вторичная переработка полимерных материалов на вальцах / И. В. Шашков, А. С. Клинков, М. В. Соколов, Д. Л. Полушкин // Полимеры в строительстве: Тез.докл. – Казань, 2004. – С. 111.

9. Хрущев, С. П. Технология получения полимерпесчаной черепицы из отходов термопластов / С. П. Хрущев, И. В. Шашков, А. С. Клинков, П. С. Беляев // Полимеры в строительстве: Тез.докл. – Казань, 2004. – С. 110.

10. Утилизация полимерной тары и упаковки: учебное пособие / А. С. Клинков, П. С. Беляев, М. В. Соколов, И. В. Шашков. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 64 с.

# ФОРМИРОВАНИЕ ТВЕРДОФАЗНОГО СОЕДИНЕНИЯ ТИПА ДИСК-ВАЛ ИЗ РАЗНОИМЕННЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ*

**Жигалова М. Ю., Ахунова А. Х.**
***Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа***
**marya.zhig@yandex.ru**

В настоящее время актуальными являются исследования, направленные на разработку инновационных технологий получения неразъемных соединений при изготовлении биметаллических деталей типа диск-вал из жаропрочных никелевых сплавов с целью повышения надежности и снижения массы роторных конструкций, которые предназначены для газотурбинного двигателя (ГТД) нового 5-го поколения [1, 2]. Для получения неразъемных твердофазных соединений (ТФС) таких деталей перспективным является использование процесса сварки давлением (СД) в условиях сверхпластичности соединяемых материалов [1, 2]. Согласно известным экспериментальным данным, повышению качества сварного соединения и его прочности способствует сдвиговая деформация вблизи свариваемых поверхностей [2, 3]. На основании проведенных исследований в настоящей работе показана возможность получения неразъемного твердофазного соединения типа диск-вал из никелевых сплавов ЭП975 и ЭК79 с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой в процессе сварки давлением в условиях сверхпластичности по схеме деформации, при которой возникают сдвиговые деформации на контактной поверхности соединяемых материалов.

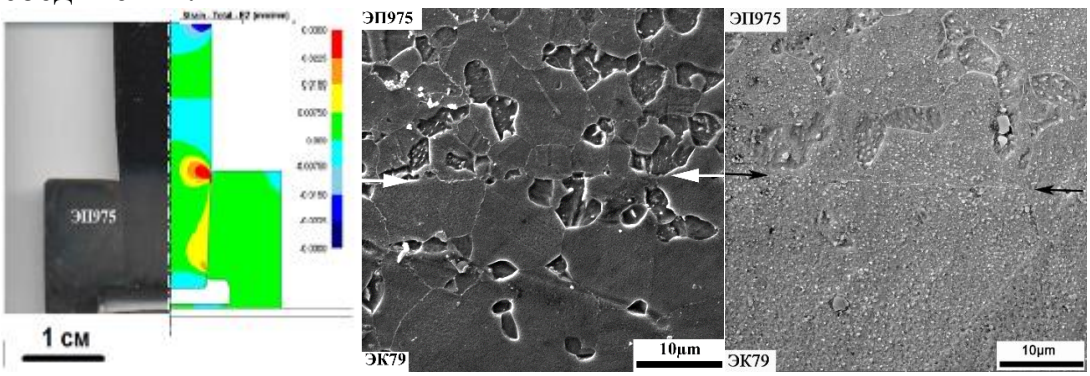
В качестве материала для исследований были выбраны деформируемые жаропрочные сплавы в ультрамелкозернистом состоянии ЭП975 и ЭК79, имитирующие поведение материалов диска и вала, соответственно, для случая изготовления модельной заготовки биметаллической детали типа диск-вал.

Конечно-элементное моделирование сварки давлением проводили для 1/2 образцов в двумерной постановке (осесимметричная задача) с помощью пакета прикладных программ DEFORM-2D.

Для получения неразъемного соединения сварку давлением проводили на универсальной машине RMS-100 фирмы «Schenck». Сварку образцов в виде «вала» из сплава ЭК79 и «диска» из сплава ЭП975 проводили при температуре 1100оС и скорости деформации 10-4 с-1 путем внедрения «вала» в «диск». Общая высота «диска» составляла 15 мм. Образец в виде «вала» представлял собой цилиндрическую часть высотой 18 мм, переходящую в усеченный конус высотой 12 мм. Деформация осуществлялась перемещением образца в виде вала относительно другого образца в виде диска, что достигалось передвижением траверсы испытательной машины на 1, 2 и 3 мм. Величина перемещения составляла 9…23 % от значений высоты конической части вала. После сварки давлением сварные образцы были подвергнуты

термической обработке, включающей высокотемпературный нагрев и старение.

При анализе результатов моделирования рассматривалось распределение сдвиговых компонент деформации, поскольку при данной схеме деформации нормальные компоненты деформации слабо влияют на качество сварного соединения.




а б в

Рис. 1. Общий вид (1/2) модельных образцов вала и диска после сварки давлением: а - совмещенный с картиной распределения сдвиговой деформации в сварном образце (1/2), имитирующем биметаллическую деталь диск-вал; микроструктура зоны ТФС сплавов ЭК79 и ЭП975 (величина перемещения траверсы – 1 мм): б - после сварки давлением; в - после сварки давлением и ТО.

По картинам распределения интенсивности деформаций было установлено, что деформация в цилиндрической части вала несколько больше, чем в зоне контакта с диском. Степень деформации в зоне контакта «вала» и «диска» распределена достаточно равномерно и находится в диапазоне 1 - 2% для перемещения траверсы на 1 мм, 3 – 4% для перемещения на 2 мм и 4 - 6% для перемещения на 3 мм. Картины распределения сдвиговых деформаций (рис. 1 а) показывают их равномерное распределение в зоне контакта и лежат в диапазоне 0,75 – 1,5% для перемещения траверсы на 1 мм, 1,5 – 3% для перемещения на 2 мм и 2,3 - 3% для перемещения на 3 мм. Таким образом, даже при небольшой деформации самого «вала», можно достичь достаточной деформации в зоне контакта «вала» и «диска».

По результатам физического моделирования было установлено, что при осевом смещении «вала» относительно «диска» формируется беспористое соединение без каких-либо выделений избыточных фаз.

После сварки в обоих сплавах сохраняется ультрамелкозернистая структура типа «микродуплекс». После термической обработки, включающей старение, в сплаве ЭП975 сохраняется УМЗ структура. В сплаве ЭК79 термическая обработка приводит к растворению некогерентных выделений γ'- фазы и увеличению среднего размера зерен γ- фазы с выделением в них когерентных частиц упрочняющей γ'- фазы (рисунок 1 б, в).

По результатам микрорентгеноспектрального анализа зоны ТФС установлено, что в результате деформации происходит диффузия вольфрама и

алюминия из сплава ЭП975 в сплав ЭК79 и диффузия хрома и железа в обратном направлении. В результате ТО в зоне ТФС наблюдается монотонное изменение концентрации легирующих элементов при переходе от одного материала к другому.

Установлено, что значения микротвердости в зоне ТФС находятся между значениями микротвердости соединяемых материалов в пределах погрешности. Термическая обработка не приводит к существенным изменениям в значениях микротвердости сплавов и зоны ТФС.

Прочность соединения оценивали по результатам механических испытаний на растяжение при комнатной температуре. Установлено, что максимальная прочность сварного соединения наблюдается после сварки давлением при смещении вала относительно диска на 2 мм и последующей термической обработки и составляет 0,68 от прочности сплава ЭК79.

Показано, что метод сварки давлением в условиях сверхпластичности никелевых сплавов ЭП975 и ЭК79 с УМЗ структурой, при котором обеспечивается сдвиговая деформация, является эффективным методом получения твердофазного соединения, в частности, применительно к биметаллической детали типа диск-вал.

Прочность твердофазного соединения сплава ЭП975//ЭК79 после термической обработки составляет 0,68 от прочности сплава ЭК79.

**Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 18-19-00685.*

Список используемых источников.

1. Логунов, А. В. Современные жаропрочные никелевые сплавы для дисков газовых турбин / А. В. Логунов, Ю. Н. Шмотин. – М: ООО «Наука и технология». – 2013. – 264 с.

2. Валитов, В. А. Исследование напряженно-деформированного состояния и микроструктуры в зоне твердофазного соединения типа диск-вал из разноименных сплавов на основе никеля / В. А. Валитов, А. Х. Ахунова, Э. В. Галиева, С. В. Дмитриев, Р. Я. Лутфуллин, М. Ю. Жигалова // Письма о материалах. – 2017. – Т.7. – №2. – С. 180-185.

3. Лукин, В. И. Исследование влияния технологии ротационной сварки трением деформируемого жаропрочного никелевого сплава ВЖ175 на структуру и прочностные характеристики сварных соединений / В. И. Лукин, В. Г. Ковальчук, М. Л. Саморуков, Ю. М. Гриднев // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2011. – С. 114-121.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ ОТХОДОВ ПОЛИМЕРНОЙ ТАРЫ И УПАКОВКИ

**Ромашкина Л. В., Ануфриев И. О., Шашков И. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***Liliyaromashkina433@gmail.com***

Несмотря на кризисные явления, тароупаковочная индустрия является наиболее динамично развивающимся сегментом российской экономики за последние 10 лет, что сопровождается ростом количества образования отходов тары и упаковки. Особо быстро растут объемы образования полимерных отходов, в т.ч. использованных ПЭТ-бутылок, отходов упаковки. Значительная часть использованной тары и упаковки, по существу в тех же источниках ее образования, систематически сжигается в металлических контейнерах, а за их неимением или недостатком просто в кучах, загрязняя окружающую среду вредными продуктами горения. Причем в большинстве случаев это делается в местах с высокой плотностью населения или скопления большого количества людей [1-4].

Одним из способов переработки отходов полимерной тары и упаковки является их дробление. В качестве оборудования для дробления в большинстве случаев используется ножевой измельчитель (рис. 1).

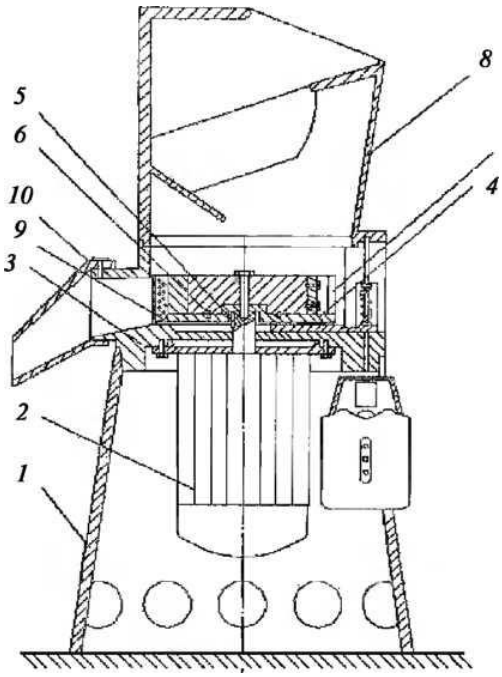



Рис. 1. Ножевой измельчитель: 1 – станина; 2 – фланцевый электродвигатель; 3 – корпус; 4 – диск; 5 – ротор; 6 – шпильки; 7 – ножи; 8 – загрузочная воронка; 9 – сменная калибрующая решетка; 10 – лоток.

Качество измельчения материалов определяется величиной зазора между ножами. Степень измельчения характеризуется величиной отверстий калибровочной решетки [5-6].

Были проведены экспериментальные исследования по определению влияния диаметра отверстий калибровочной решетки на физико- механические показатели перерабатываемого материала.

Экспериментальные исследования проводились следующим образом:

отходы полимерной тары и упаковки с посторонними включениями не более 5% непрерывно загружались в загрузочную воронку ножевого измельчителя, где за счет постоянного вращения ножей происходит измельчение отходов, которые впоследствии проскальзывают через калибрующую решетку и скапливаются в приемном лотке. В процессе проведения экспериментальных исследований использовалось две калибрующих решетки с разными диаметрами отверстий. Далее проводились физико-механические исследования полученного при измельчении материала, а именно определения предела прочности при разрыве, относительного удлинения и показателя текучести расплава полимера. Результаты исследований представлены на рис. 2 [7-8].

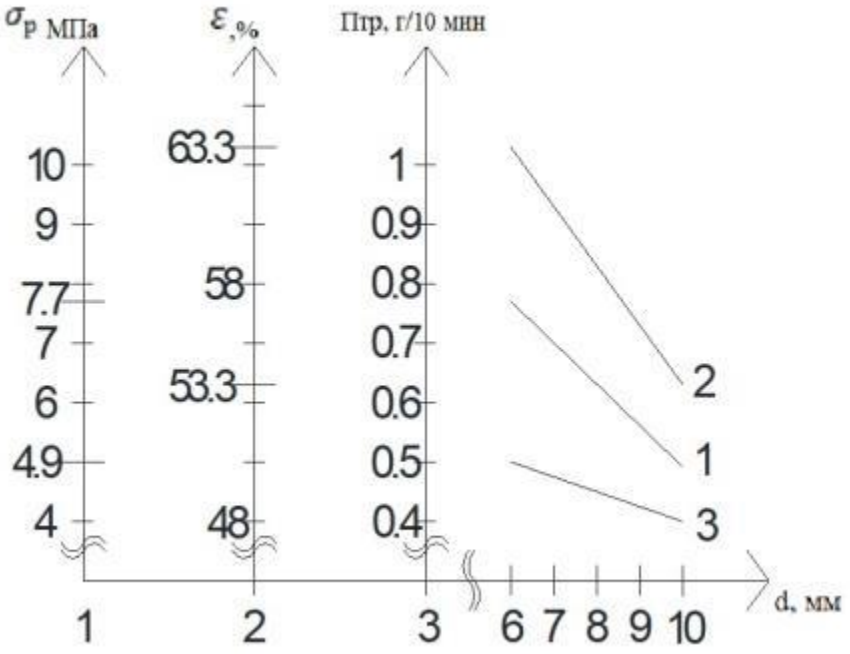



Рис. 2. Графические зависимости предела прочности при растяжении, относительного удлинения и показателя текучести расплава полимера от диаметра отверстий калибрующей решетки.

Анализируя графическую зависимость можно сделать следующие выводы, что с увеличением диаметра отверстий калибрующей решетки физико-механические показатели получаемого материала ухудшаются.

Список используемых источников.

1. Клинков, А. С. Утилизация и переработка твёрдых бытовых отходов / А. С. Клинков, П. С. Беляев, В. Г. Однолько, М. В. Соколов, П. В. Макеев, И. В. Шашков. – Тамбов, 2015.

2. Макеев, П. В. Переработка отходов полимерных материалов на валково-шнековом агрегате / П. В. Макеев, А. С. Клинков, И. В. Шашков, Д. Л.

Полушкин // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – Т. 6. – № 1 (104). – С. 119-123.

3. Клинков, А. С. Ресурсосберегающая технология переработки отходов полимерных материалов / А. С. Клинков, П. В. Макеев, И. В. Шашков, Д. Л. Полушкин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2013. – № 3 (47). – С. 292-300.

4. Макеев, П. В. Методика расчета величины сдвиговой деформации при получении профильных изделий заданного качества / П. В. Макеев, А. С. Клинков, Д. Л. Полушкин, П. С. Беляев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18. – № 1. – С. 166-172.

5. Патент на изобретение RUS 2417881. Валково-шнековый агрегат / А. С. Клинков, П. В. Макеев, Д. Л. Полушкин, М. В. Соколов, В. Г. Однолько 11.01.2009.

6. Беляев, П. С. Утилизация отходов производства цементно-стружечных плит с получением композиционных строительных материалов / П. С. Беляев, П. В. Макеев, Е. В. Устьян // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт: материалы 3-й международной научно-практической конференции института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета, 2016. – С. 119-12

7. Беляев, П. С. Исследование процесса получения композиционного материала на основе отходов ЦСП и вторичного полипропилена / П. С. Беляев, П. В. Макеев, Е. В. Устьян // В. И. Вернадский: устойчивое развитие регионов: материалы Международной научно-практической конференции, 2016. – С. 100-104.

8. Беляев, П. С. Получение композиционного материала на основе отходов полипропилена и отходов цементно-стружечных плит / П. С. Беляев, П. В. Макеев, Е. В. Устьян // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы VIII Международной научно-инновационной молодёжной конференции, 2016. – С. 179-181.

# ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ТВЕРДЕНИИ И ГИДРАТАЦИИ БЕЛИТОВОГО ВЯЖУЩЕГО

**Рахимов Г. Б., Орипов З. М.**
***Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан***

Современный научно-технический прогресс во всем мире непосредственным образом связан с глобальным использованием природных ресурсов и накоплением техногенных отходов. Эта действительность, с которой придется считаться, и даже самый необходимый технически совершенный индустриальный комплекс, если его воздействие на природу простирается за экологически приемлемые границы или приобретает разрушительный характер, может оказаться нежелательным для общества, если не сегодня, то в перспективе.

Несмотря на то, что большинство предприятий стремятся к созданию мало- и безотходных технологий, на практике часто на 1 тонну полезной продукции образуется несколько тонн гипсосодержащих отходов. Самым распространенным гипсосодержащим отходом во всем мире является фосфогипс. Так, например, при получении фосфорной кислоты на 1 т кислоты получают 4-5 т фосфогипса.

В настоящее время накоплено значительное количество фосфогипса, который, как правило, утилизируется в отвалы. Необходимость транспортирования и хранения фосфогипса заметным образом усложняет эксплуатацию предприятий и, даже при соблюдении всех требований органов санитарного надзора ухудшает санитарное состояние площадки завода и экологическую обстановку прилегающей к нему территории. Фосфогипс отравляет почвы и водоемы содержащимися в нем растворимыми примесями фтора и фосфорной кислоты. Для создания отвалов фосфогипса приходится постоянно отчуждать большие участки земель, иногда обрабатываемые, причем эти площадки нередко превышают размеры промышленных площадок самих предприятий. Исходя из этого, вопрос переработки гипсосодержащих отходов является особенно актуальным.

В литературе известны научные разработки по использованию фосфогипса с целью получения белитовых вяжущих материалов. Для изучения процессов.

Установлено, что белитовые вяжущие содержащие более 60 % белитового клинкера медленно набирают прочность в ранние сроки твердения, которая для состава 60/40 составляет 30-35 % от прочности чистого портландцемента, для состава 70/30 всего лишь около 20 % от прочности портландцемента. С удлинением сроков твердения эта зависимость улучшается и к 28 суткам твердение белитовое вяжущее состава 70/30 набирает уже 55-60 % прочности чистого портландцемента, а вяжущее состава 60/40 – 70 % прочности портландцемента. Кинетика набора прочности белитовых вяжущих представлены на рис. 1. введение хлорида кальция – активатора твердения

позволяет повысить активность белитовых вяжущих. Так, если активность белитового вяжущего состава 80/20 в первые сутки твердения составляет 1,5 МПа, то введение хлорида кальция позволяет увеличить ее в два или более раз и прочность на сжатие при этом составляет 3,0-3,5 МПа. Дальнейшее увеличение сроков испытаний от 3 суток до 28 суток приводит также к увеличению прочности, но прирост последней не столь значителен и составляет 10-20 % от активности исходного образца белитового вяжущего без добавки активатора твердения. Подобная же картина наблюдается для белитовых вяжущих составов 70/30, 60/30.

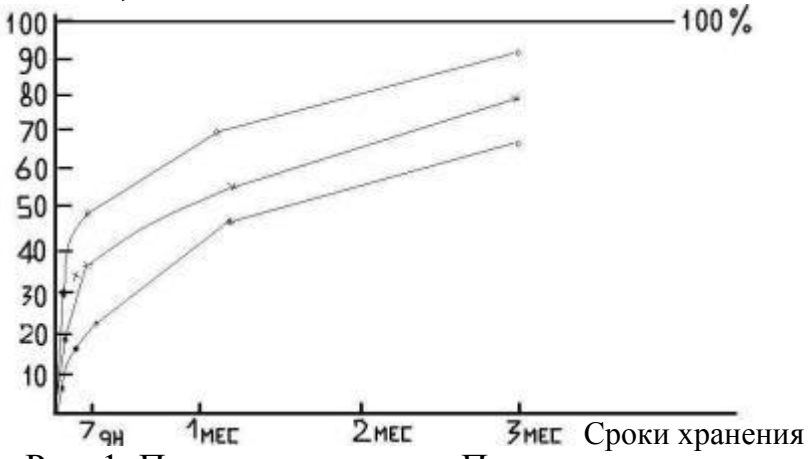



Рис. 1. Прирост прочности Портландцемента.

Таблица 1.

Результаты физико-механического анализа
образцов 1, 41*1, 41*1, 41 см белитового вяжущего.

| № | Состав вяжущего | | Добавка CaCl2 | В Ц | Физико-механические показатели | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Сроки испытаний (сутки) | | | | |
| | БК | ПЦ | | | 1 | 3 | 7 | 28 | 3 мес |
| 1. | 80 | 20 | - | 0,18 | 1,5 | 5,0 | 9,0 | 23,0 | 32,0 |
| 2. | 70 | 30 | - | 0,19 | 3,5 | 9,0 | 13,0 | 26,0 | 36,0 |
| 3. | 60 | 40 | - | 0,20 | 5,0 | 13,0 | 17,0 | 32,0 | 40,0 |
| 4. | 80 | 20 | 0,5 | 0,18 | 2,5 | 5,0 | 14,0 | 22,0 | 34,0 |
| 5. | 80 | 20 | 1,0 | 0,185 | 3,0 | 6,0 | 12,0 | 24,0 | 36,0 |
| 6. | 80 | 20 | 1,5 | 0,19 | 3,6 | 7,0 | 12,0 | 26,0 | 34,0 |
| 7. | 70 | 30 | 0,5 | 0,19 | 4,5 | 11,0 | 15,0 | 30,0 | 42,0 |
| 8. | 70 | 30 | 1 | 0,105 | 5,0 | 11,0 | 16,0 | 31,0 | 42,0 |
| 9. | 70 | 30 | 1,5 | 0,2 | 5,0 | 10,0 | 17,0 | 32,0 | 40,0 |
| 10. | 60 | 40 | 0,5 | 0,2 | 9,5 | 14,0 | 19,0 | 39,0 | 46,0 |
| 11. | 60 | 40 | 1,0 | 0,205 | 10,5 | 15,0 | 23,0 | 35,0 | 48,0 |
| 12. | 60 | 40 | 1,5 | 0,21 | 10,0 | 13,0 | 25,0 | 33,0 | 45,0 |
| 13. | | 100 | - | 0,23 | 16,0 | 26,0 | 36,0 | 46,0 | 45,0 |

# ПОЛУЧЕНИЕ МАКРОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ MAX-ФАЗЫ СОСТАВА TI-AL-C МЕТОДОМ СВОБОДНОГО СВС-СЖАТИЯ

**Прокопец А. Д.[1, 2], Бажин П. М.[1], Столин А. М.[1]**
***Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А. Г. Мержанова Российской академии наук, Черноголовка***
***[2]Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, Барнаул***
***frau.london2013@yandex.ru***

Прогресс в создании новой техники во многом зависит от разработки и совершенствования технологий получения материалов с требуемыми свойствами, поэтому создание материалов с заданным набором структурных и функциональных свойств в настоящее время является областью повышенного внимания в материаловедении и технике [1].

К новому перспективному классу конструкционных материалов относятся металло-интерметаллидные слоистые композиционные материалы, представляющие собой многослойную композицию с чередующимися слоями металла и интерметаллида. Специфические свойства этого класса композиционных материалов делают их привлекательными для применения во многих областях, а методы создания данных материалов позволяют использовать новые технологии, расширяя функциональные возможности слоистых композиционных материалов (СКМ) и область их применения. Сегодня эти материалы находят все большее применение в судостроении, приборостроении, металлургическом, горнодобывающем, нефтяном, сельскохозяйственном и др. отраслях машиностроения. Применение слоистых металлических композиций позволяет не только повысить надежность и долговечность большой номенклатуры деталей и оборудования, но и существенно сократить расход высоколегированных сталей, дефицитных и дорогостоящих цветных металлов (никель, хром, медь, молибден и др.), снизить энергоемкость и металлоемкость, расходы на техническое обслуживание, производство запчастей и ремонт оборудования [1, 2].

В настоящей работе для получения СКМ на титановом сплаве были использованы материалы на основе MAX-фазы состава Ti-Al-C.

Слоистые композиционные материалы титан-алюминий являются одной из наиболее перспективных групп композиционных материалов, способных работать в условиях повышенных температур и нагрузок. Подобно металлам эти материалы, показывают высокую тепловую и электрическую проводимость, а также достаточно высокую стойкость к тепловым ударам. Подобно керамики они обладают высоким модулем упругости, низким тепловым коэффициентом расширения, высокой теплостойкостью и превосходной жаростойкостью [3].

Большими возможностями в получении MAX-материалов обладают методы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и теплового взрыва. Эти методы, основанные на использовании внутренней химической энергии исходных реагентов, являются примером очень выгодной организации процесса синтеза с тепловой точки зрения. Существует много приемов, осно-

ванных на идеологии СВС. Из этих приемов большое значение в практическом отношении имеет технология СВС-компактирования, в которой реализуется одноосное объемное сжатие материала в пресс-форме для компактирования продуктов горения до беспористого состояния [4].

Одной из наиболее важных проблем в области СВС является прямое получение в одну технологическую стадию и в одной установке изделий заданной формы, размеров, состава, структуры и, в конечном счете, с заданными эксплуатационными свойствами из хрупких и труднодеформируемых порошков тугоплавких неорганических соединений. Новые возможности при получении изделий из порошков тугоплавких неорганических соединений открываются при использовании совместного действия высокотемпературного сдвигового деформирования и давления в процессе СВС. Эта идея была использована в методе свободного СВС-сжатия. Сущность метода (рисунок 1) заключается в уплотнении и формовании синтезированного материала под действием постоянного невысокого давления (~10-50 МПа) без использования специальных пресс-форм, которые должны выдерживать достаточно высокие давления (~1000 МПа) и высокие тепловые нагрузки (ΔT~2000 К). К преимуществам этого метода можно отнести использование наиболее благоприятной схемы напряженного состояния и сдвигового пластического деформирования материала, способствующие к «залечиванию» макротрещин и пор в деформированном материале.

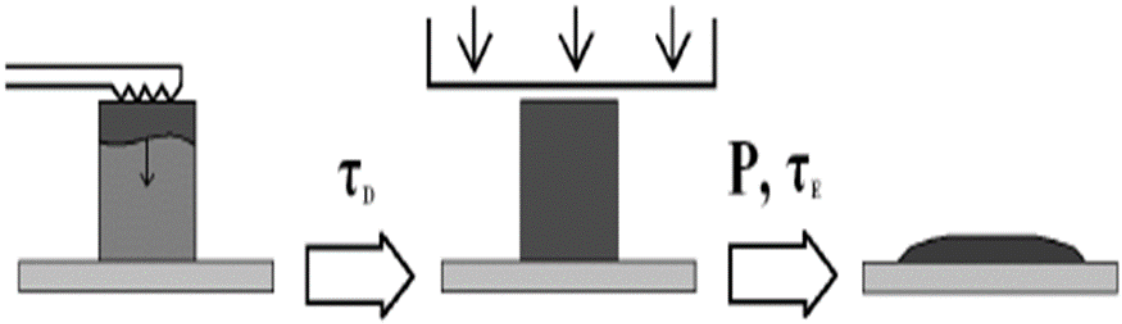



Рис. 1. Свободное СВС-сжатие.

Список используемых источников.

1. Каблов, Е. Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. – 2015. – № 1 (34). – С. 3–33.

2. Vecchio, K. S. Synthetic multifunctional metallic-intermetallic laminate composites // JOM. – 2005. – Vol. 57 (3). – P. 25–31.

3. Barsoum, M. W. The MAX Phases and Their Properties, in Ceramics Science and Technology. Wiley-VCH. – 2010. – V. 2. – P. 299–345.

4. Мержанов, А. Г. Силовое компактирование и высокотемпературная реодинамика / А. Г. Мержанов, А. М. Столин // Инженер.-физ. журн. – 1992. – Т. 63. – № 5. – С. 515–516.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГЕЛЬ-ФРАКЦИИ В ПОЛИЭТИЛЕНЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ (ПВД) ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЕГО НА ВАЛКОВО-ШНЕКОВОМ АГРЕГАТЕ

**Ромашкина Л. В., Макеев П. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

В процессе переработки ПВД происходит значительное изменение его структуры, за счет того, что полимер подвергается значительным термоокислительным и механохимическим воздействиям. Это приводит к тому, что при переработке в полиэтилене образуется нерастворимая гель-фракция, которая выполняет функцию активного наполнителя полимерной матрицы [1-3].

Методика гель-анализа основывается на экстракции растворимой части полимерного материала кипящим растворителем в аппарате Сокслета (рис. 1) Содержание гель-фракции определяли следующим образом: образцы массой 0,2-04 грамма взвешивались на лабораторных весах с точностью до 4 знака, заворачивались в фильтровальную бумагу, перевязывались нитками, помечались простым карандашом и помещались в верхнюю часть аппарата Сокслета в нижнюю часть аппарата заливался ксилол. Ксилол доводили до кипения с помощью колбонагревателя и кипятили в течение 8+0,5 ч. в течение этого времени проходил процесс экстрагирования, затем образцы вынимались из аппарата и сушились в помещении при температуре окружающей среды 15-25 оС до постоянной массы и взвешивались на лабораторных весах с точностью до четвертого знака после запятой [4-6].

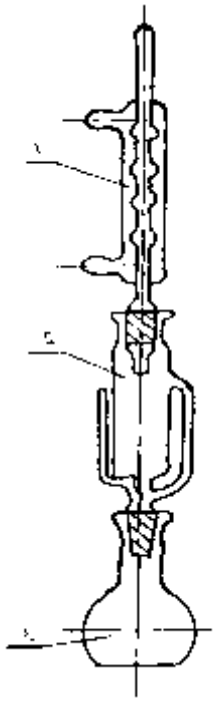


Рис. 1 Аппарат Сокслета:
1- холодильник,
2-колба экстрактора, 3-колба для испарения.

Гель-фракцию (Г), в процентах, вычисляли по следующей формуле:

$$Г=(M2/M1)*100\%, \quad (1)$$

где M1 - масса образца до экстракции,
M2 - масса образца после экстракции.

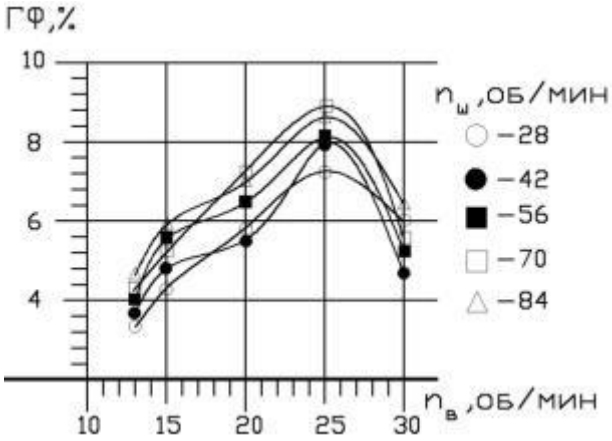



Рис. 2 Зависимость содержания гель-фракции от частоты вращения валка вальцов nв при различной частоте вращения шнека nш
(при переработке чистого ПВД)

Анализируя графическую зависимость (рис. 2) можно сделать следующие выводы: увеличение частоты вращения шнека приводит к незначительному увеличению содержания гель-фракции в материале, это объясняется малыми сдвиговыми деформациями в межвитковых каналах шнекового устройства. Более существенное влияние оказывается со стороны валкового оборудования за счет более высокой степени сдвига в межвалковом зазоре.

Так же были проведены экспериментальные исследования по определению содержания гель-фракции во вторичном ПВД, после его переработки на валково-шнековом агрегате и произведено сравнение содержания гель-фракции в чистом ПВД и во вторичном (рис. 3) [7-8].

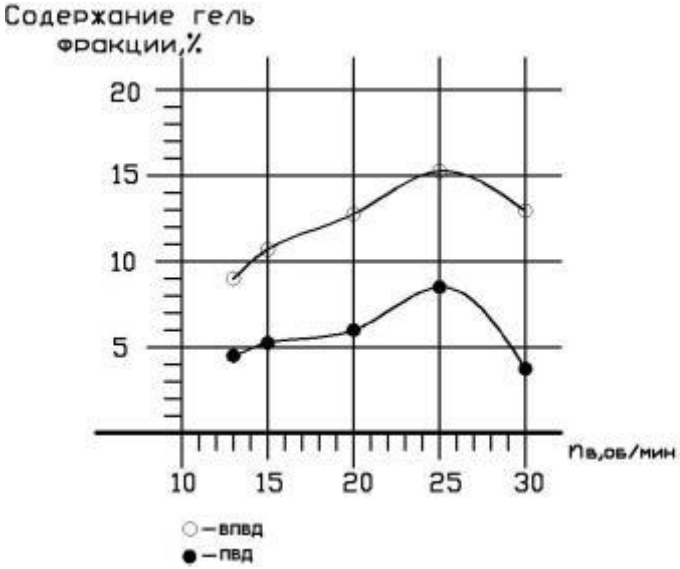



Рис. 3 Зависимость содержания гель-фракции от частоты вращения валка вальцов nв
(при переработке чистого ПВД и отходов ПВД)

Из графической зависимости видно, что вторичный ПВД имеет такое же поведение при переработке, что и первичный, что говорит о протекании в

нем тех же реакций. Однако содержание гель-фракции во вторичном полиэтилене значительно выше, чем в первичном. Это объясняется тем, что в процессе своей эксплуатации полиэтилен подвергается различным воздействиям со стороны окружающей среды, происходит так называемое старение материала, при котором происходит не только накопление кислородсодержахих групп, в том числе кетонных, но так же увеличение содержания гель-фракции.

Список используемых источников.

1. Клинков, А. С. Утилизация и переработка твёрдых бытовых отходов / А. С. Клинков, П. С. Беляев, В. Г. Однолько, М. В. Соколов, П. В. Макеев, И. В. Шашков. – Тамбов, 2015.

2. Макеев, П. В. Переработка отходов полимерных материалов на валково-шнековом агрегате / П. В. Макеев, А. С. Клинков, И. В. Шашков, Д. Л. Полушкин // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – Т. 6. – № 1 (104). – С. 119-123.

3. Клинков, А. С. Ресурсосберегающая технология переработки отходов полимерных материалов / А. С. Клинков, П. В. Макеев, И. В. Шашков, Д. Л. Полушкин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2013. – № 3 (47). – С. 292-300.

4. Макеев, П. В. Методика расчета величины сдвиговой деформации при получении профильных изделий заданного качества / П. В. Макеев, А. С. Клинков, Д. Л. Полушкин, П. С. Беляев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18. – № 1. – С. 166-172.

5. Патент на изобретение RUS 2417881. Валково-шнековый агрегат / А. С. Клинков, П. В. Макеев, Д. Л. Полушкин, М. В. Соколов, В. Г. Однолько 11.01.2009.

8. Шашков, И. В. Вторичная переработка полимерных материалов на вальцах / И. В. Шашков, А. С. Клинков, М. В. Соколов, Д. Л. Полушкин // Полимеры в строительстве: Тез.докл. – Казань, 2004. – С. 111.

9. Хрущев, С. П. Технология получения полимерпесчаной черепицы из отходов термопластов / С. П. Хрущев, И. В. Шашков, А. С. Клинков, П. С. Беляев // Полимеры в строительстве: Тез.докл. – Казань, 2004. – С. 110.

10. Утилизация полимерной тары и упаковки: учебное пособие / А. С. Клинков, П. С. Беляев, М. В. Соколов, И. В. Шашков. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 64 с.

# ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ TETRAPACK И ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ЦСП

**Беляев П. С., Устьян Е. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Загрязнение окружающей среды отходами полимерных материалов, в последнее время приобретает катастрофические масштабы. По подсчетам специалистов в ближайшие годы в России количество пластиковых отходов составит более 1 миллиона тонн в год [1], тогда как процент их утилизации является минимальным. Принимая в расчет специфические свойства полимерных материалов, практически не подлежащих разложению в естественной среде, проблема их утилизации является в большей мере экологической и, соответственно, предусматривающей риск для здоровья человека. Однако в настоящее время проблема переработки отходов полимерных материалов становится актуальной не только с позиций охраны окружающей среды. При дефиците органического сырья полимерные отходы становятся богатым материальным и энергетическим ресурсом, то есть важным экономическим фактором. Их повторное использование позволяет сократить использование естественных ресурсов, снизить выбросы в окружающую среду и уменьшить потребление энергии. Одним из направлений использования отходов полимеров может служить создание на их основе полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Существует ряд преимуществ ПКМ над традиционными видами материалов (металлов, керамики, дерева и т.п.):

1) уникальное сочетание свойств, нехарактерное для других материалов (прочностных, деформационных, ударных, упругостных, температурных, реологических, адгезионных, электрических, фрикционных, теплопроводных и других);

2) возможность управления свойствами ПКМ путем простого изменения состава и условий получения;

3) сохранение основных достоинств полимеров:

- сравнительная легкость переработки;
- низкая плотность. [2]

В данной статье мы рассмотрим получение ПКМ на основе отходов TetraPack и отходов цементно-стружечных плит.

Цементно-стружечные плиты представляют собой монолитные плиты с гладкой и твердой поверхностью, применяемые в технологии “сухого монтажа”. Это экологически чистый материал. В котором не содержится фенольных, формальдегидных и других ядовитых соединений. Основным химическим вяжущим является цемент.

Отходами производства ЦСП является мелкодисперсная пылевидная смесь, образованная в результате распиловки плит под заданные размеры.

Строительные отходы – это дешевые и доступные материалы для повторного изготовления множества материалов, использующиеся в различных сферах производства [3].

Упаковки TetraPack широко применяются для фасовки соков, вин, молочных продуктов и прочих напитков. Такая упаковка является одним из самых востребованных вариантов для упаковывания жидких пищевых продуктов [4] .

В производстве TetraPack применяют такие материалы, как целлюлоза, полиэтилен, алюминий, которые крепко спаиваются между собой методом экструзии. На предприятиях вторсырья TetraPack разделяют на отдельные фракции, которые идут в дальнейшее производство.

Ввиду того, что при вторичной переработке упаковки из TetraPack невозможно отделить полимерную составляющую от алюминия, на выходе мы получаем полиалюминивую смесь которая не находит широкого применения [5-7].

Таким образом, мы имеем два материала для производства композита. Это пылевидная смесь из отходов ЦСП и хлопья полиалюминия получившиеся из отходов TetraPack.

Для того что бы получить композит мы будем использовать экспериментальную установку на основе смесителя Брабендера (рис. 1). Это устройство, позволяющее изменять в широком диапазоне режимные и конструктивные параметры, и вместе с этим оценивать показатели качества получаемого материала [8-9].

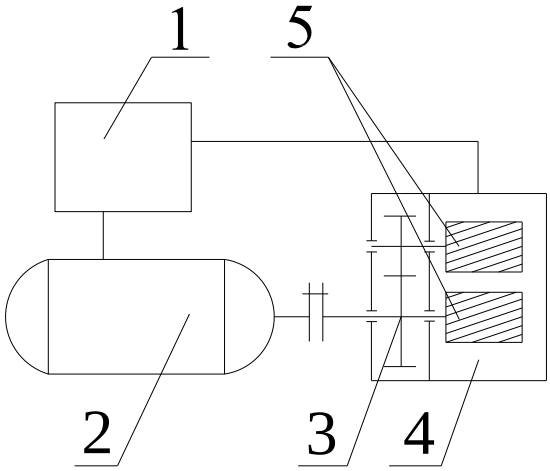



Рис. 1. Схема устройства: 1 – шкаф управления; 2 – электродвигатель; 3 – фрикционные шестерни; 4 – смесительная камера;5 – смесительные органы.

Пылевидная смесь ЦСП и гранулы полиалюминия попадают в смесительную камеру, где под воздействием температуры и смесительных органов на выходе получаем однородную массу композиционного материала.

Таким образом, мы получаем совершенно новый композиционный материал, для создания которого, на рынке производства, есть большое количество дешевого ресурса, а сам процесс производства не подразумевает под собой больших затрат.

Список используемых источников.

1. Берлин, А. А. Современные полимерные композиционные материалы. – Соросовский Образовательный Журнал, № 1.

2. Бондалетова, Л. И. Полимерные композиционные материалы (часть1): учебное пособие / Л. И. Бондалетова, В. Г. Бондалетов. – Томск: Изд-воТомского политехнического университета, 2013. – 118 с.

3. Цементно-стружечные плиты Тамак [Электронный ресурс] :Цементно-стружечная плита : электрон.журн. URL: http://www.tamak.ru/cementno-struzhechnaya-plita/ (дата обращения: 26.12.2017).

4. Состав упаковки TetraPack[Электронный ресурс] :Жизненный цикл упаковки : электрон.журн. URL: http://vkartone.ru/life-cycle/structure (дата обращения: 26.12.2017).

5. Макеев, П. В. Переработка отходов полимерных материалов на валково-шнековом агрегате / П. В. Макеев, А. С. Клинков, И. В. Шашков, Д. Л. Полушкин // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – Т. 6. – № 1 (104). – С. 119-123.

6. Клинков, А. С. Ресурсосберегающая технология переработки отходов полимерных материалов / А. С. Клинков, П. В. Макеев, И. В. Шашков, Д. Л. Полушкин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2013. – № 3 (47). – С. 292-300.

7. Макеев, П. В. Методика расчета величины сдвиговой деформации при получении профильных изделий заданного качества / П. В. Макеев, А. С. Клинков, Д. Л. Полушкин, П. С. Беляев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18. – № 1. – С. 166-172.

8. Патент на изобретение RUS 2417881. Валково-шнековый агрегат / А. С. Клинков, П. В. Макеев, Д. Л. Полушкин, М. В. Соколов, В. Г. Однолько 11.01.2009.

9. Макеев, П. В. Анализ эффективности разработанных технологий утилизации отходов термопластов / П. В. Макеев, А. С. Клинков, И. В. Шашков, В. Г. Однолько // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17. – № 4. – С. 1002-1006.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

**Малышева И. С., Смольков М. С., Зубова Н. Г.**
***Балаковский инженерно-технологический институт (филиал) НИЯУ МИФИ, Балаково***
***ira.malhzy@yandex.ru***

Развитие нанотехнологий в интересах агропромышленного комплекса (АПК) осуществляется в направлении воздействия на биологические объекты и, прежде всего, на микроорганизмы, растения, животных, продукты питания и др. Как показывает анализ результатов этих исследований и практическое их применение в отраслях АПК, они дают значительное повышение урожайности в растениеводстве, продуктивности в животноводстве, качестве и сохранности продуктов питания, что во многом определяет в перспективе продовольственную безопасность страны и здоровье нации [1].

В связи с ростом населения развитие сельского хозяйства в значительной степени определяется необходимостью постоянного увеличения объемов выращиваемой продукции и сокращения потерь в процессах уборки, переработки, хранения. Это приводит к интенсификации сельскохозяйственного производства и увеличению техногенной нагрузки на окружающую среду. Анализ отечественных разработок, а также зарубежных источников показывает, что наиболее востребованными для решения данных задач будут научные разработки в области биотехнологии и генной инженерии [2].

Одним из самых многообещающих направлений научных разработок в сфере нанобиотехнологии, занимающейся биообъектами и биопроцессами на молекулярном и клеточном уровнях, является создание наноконструкций. Большинство растений и животных на 95% состоят из четырех атомов (водорода, кислорода, азота и углерода). Чтобы легко собираться и связываться с другими молекулами, данные биологические нанообъекты должны распознаваться на молекулярном уровне. Атомы могут формировать множество типов связей, обладают возможностью самоорганизовываться или организовываться посредством опорной поверхности, поэтому они наиболее перспективны в качестве основы при производстве наноструктур или получении новых биоматериалов.

Нанотехнологии в сельском хозяйстве могут успешно применяться для оптической расшифровки белково-липидной-витамино-хролофильного комплекса в растениеводстве [3].

Появляющиеся новые направления физико-химической биологии, в свою очередь расширяют возможности применения нанобиотехнологий в генной инженерии, т.е. к использованию клеток, главным образом микроорганизмов, генетическая программа которых целенаправленно изменена вве-

дением в них молекул ДНК, созданных в лаборатории и кодирующих синтез нужного продукта. Таким путем можно получить значительное количество относительно дешевого конечного продукта, малодоступного при использовании других методов производства. Это обстоятельство, а также возможность сочетания различных фрагментов ДНК, позволяющая создавать необходимые генетические программы, показывает необходимость и значимость дальнейших исследований [2].

Перспективной является технология применения биологически активных нанодобавок, в которых в качестве стимуляторов роста растений и активаторов обменных процессов применяются микроэлементы. Соли металлов (удобрений) заменены в них формой состояния, меньше загрязняющей окружающую среду и обеспечивающей минимальные требования к концентрации, используемой для обработки растений и семян. Такой формой являются ультрадисперсные порошки металлов (УДПМ).

В растениеводстве применение нанопрепаратов, в качестве микроудобрений, обеспечивает повышение устойчивости к неблагоприятным погодным условиям и увеличение урожайности (в среднем в 1,5-2 раза) почти всех продовольственных (картофель, зерновые, овощные, плодово-ягодные) и технических (хлопок, лен) культур. Эффект здесь достигается благодаря более активному проникновению микроэлементов в растение за счет наноразмера частиц и их нейтрального (в электрохимическом смысле) статуса [4].

Большие возможности для решения экологических проблем, связанных с образованием почвенного переутомления при неправильном и широкомасштабном внесении удобрений, открываются при использовании «таблетированных» удобрений, получаемых с помощью современных микробиологических технологий и нанотехнологий. Особенностью применения таких удобрений является комплексное и прицельное действие на систему «почва-растение» [5].

Нанотехнологии применяются при послеуборочной обработке подсолнечника, табака и картофеля, хранении яблок в регулируемых средах, озонировании воздуха [4].

Российские ученые применяют на практике экологически чистую нанотехнологию электроконсервирования силосной массы зеленых кормов электроактивированным консервантом. Делается это взамен дорогостоящих органических кислот, требующих соблюдения строгих мер техники безопасности. Такая новая нанотехнология повышает сохранность кормов до 95 %. Наночастицы железа и других микроэлементов включают в состав премиксов для повышения жизнестойкости животных и их продуктивности [6].

Повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и экологизацию системы применения биологически активных веществ при выращивании растений в южных зонах неустойчивого увлажнения на деградирующих, в том числе засоленных, почвах обеспечивает технология образования нанопористой пленки на поверхности семян. Применение нанопористой пленки позволяет повысить урожайность на 10-12% [2].

Российскими учеными разработан ряд наноэлектротехнологий и технических средств для повышения эффективности семенного дела. Используемые в них электрофизические способы воздействия на семена могут в будущем почти полностью заменить опасные для человека и природы химические методы защиты и лечения растений от вредителей и болезней, ускорения роста и созревания растений, консервации семян и зерновой продукции. Чем хуже исходные посевные качества семян, тем эффективнее стимуляция, которая при благоприятной дозе и соответствующих агротехнических условиях обеспечивает прирост урожая на 20-25 %.

Важную роль в увеличении доходности отрасли растениеводства играет борьба с болезнями и вредителями сельскохозяйственных культур. Обработка электро-магнитными импульсами (ЭМИ) сверхвысоко-частотного диапазона (СВЧ-диапазона) полностью обеззараживает семена от патогенной микрофлоры и насекомых-вредителей при закладке их на хранение, исключает применение ядохимикатов и фумигацию семян, сохраняет посевной материал без потерь его посевных и урожайных свойств.

Таким образом, обзор литературных данных в области нанотехнологий АПК показал перспективность применения новейших разработок, которые позволят достичь высоких результатов в растениеводстве.

Список используемых источников.

1. http://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie–i–perspektivy–razvitiya–nanotechnologiy–v-apk.

2. Федоренко, В. Ф. Нанотехнологии и наноматериалы в агропромышленном комплексе / В. Ф. Федоренко [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – 312 с.

3. http: //studbooks.net /2275933 / matematika _ himiya _ fizika / nanotechnologii_selskom_hozyaystve.

4. http: //cyberleninka.ru/article/n/primenenie – nanotechnologiy – v - selskom_hozyaystve.

5. http: //economics.open–mechanics.com/article/390.pdf.

6. http: //www.rusnor.org/upload/My/2013/articles/nanosh.pdf.

# ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧЕГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ С КРИСТАЛЛИЧЕСКИМ ДИОКСИДОМ КРЕМНИЯ*

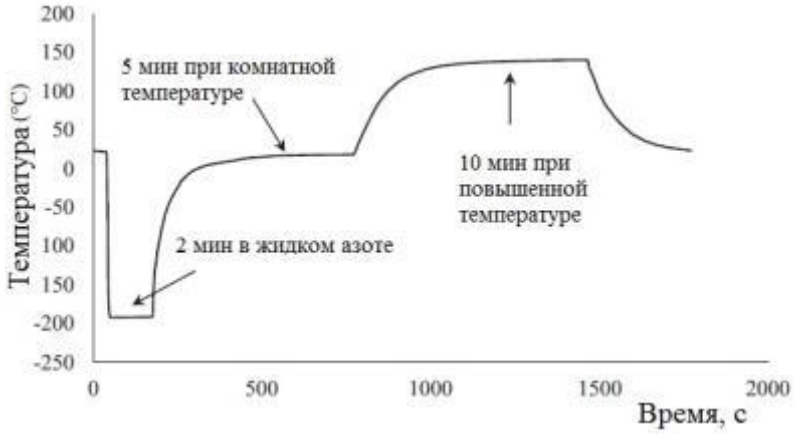
**Черкашина Н. И., Сидельников Р. В.**
***Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород***
***cherkashina.ni@bstu.ru***

Полимеры состоят, в основном, из органических (углеродных) молекул, которые группируются в очень длинные цепи. Высокомолекулярное и молекулярное сцепление в этих материалах порождает их уникальные свойства. К ним относятся прочность, устойчивость, низкая плотность, высокие и низкие температуры плавления, способность к формованию, электрическое сопротивление и многие другие свойства, которые могут варьироваться в очень широких пределах [1]. Благодаря их огромному разнообразию полимеры могут найти широкое применение в элементах космических аппаратов. К ним относятся тепловые покрытия, краски для терморегулирования, клеи, смазки, монтажные платы, изоляционные материалы и др.

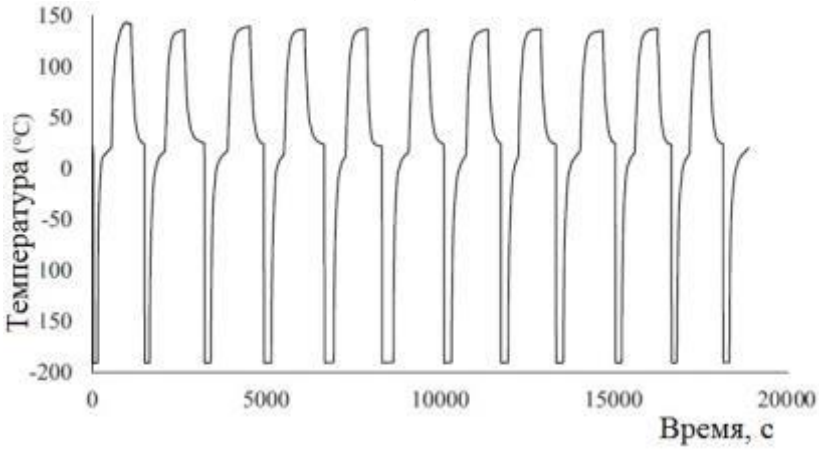
Помимо широкого спектра полезных свойств, которыми обладают полимеры, они должны отвечать необходимым требованиям для использования в космическом пространстве. Эти требования включают: (а) способность для работы в глубоком вакууме, (б) очень низкая дегазация для предотвращения загрязнения окружающих компонентов, (в) устойчивость к чрезвычайно резкому ультрафиолетовому излучению, (г) устойчивость к радиации заряженных частиц на орбите, (д) устойчивость к эрозии атомарного кислорода, (е) выносливость при экстремальных перепадах температур (от -170 °С до +200 °С).

В данной работе представлены результаты исследования воздействия климатических факторов (изменение температуры от -170 °С до +200 °С) на полимерные композиты на основе термопластичного полиалканимида и кристаллического диоксида кремния. Кристаллический диоксид кремния получали в гидротермальных условиях, как описано в работе [2]. Синтез композитных дисков осуществлялся методом твердофазного компактирования при высоком удельном давлении 1 ГПа. Содержание наполнителя в космозите составляло 65 % по мас.

Образцы из чистого полиалканимида и композиты с 65 % содержанием наполнителя циклически подвергались воздействию 5, 10 и 20 раз, и проводилось сравнение с исходными (неподвергнутыми испытанию) образцом. Полный цикл включал нахождение материала в течение 2-х мин в жидком азоте при -196 °…-170 ° С, 5 мин. при комнатной температуре +23 ° С, 10 минут в сушильном шкафу при +200 ° С и еще 5 минут при комнатной температуре. Таким образом, общее время за один цикл - 22 минуты. На рисунке 1 схематически показан температурный цикл обработки материалов.



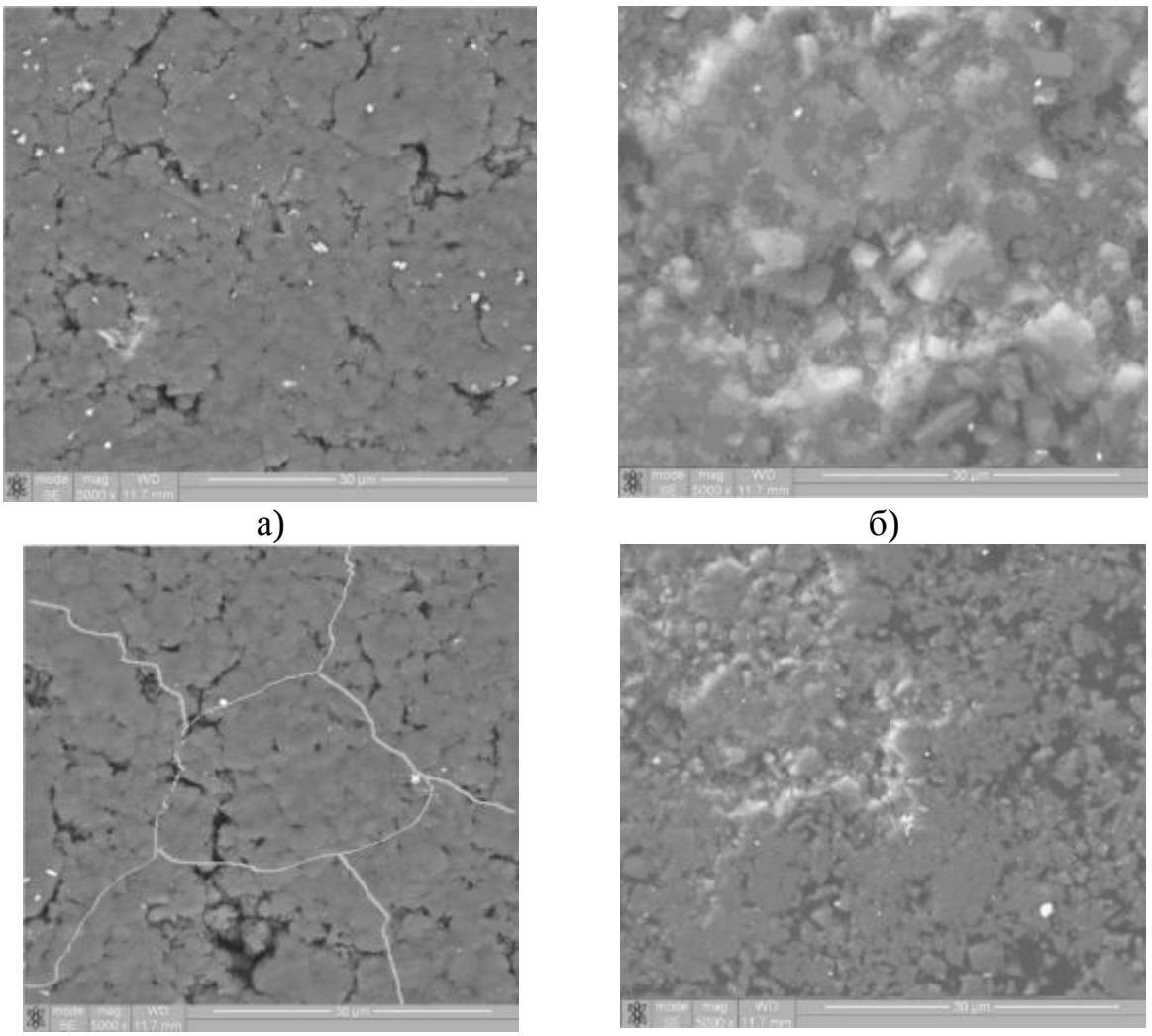

а)




б)

Рис. 1. Температурный цикл обработки материала:
а) один полный цикл и б) десять циклов

Сканирующая электронная микроскопия использовалась для наблюдения реакции чистого полиалканимида и композитных образцов на термического циклирование с точки зрения инициирования и распространения трещин. На рис. 2 (а, в) видно, что на исходных образцах до термоциклирования нет микротрещин на поверхности; однако в образцах наблюдались некоторые пустоты из-за отверждения пресс-порошка полиалканимида и отсутствия давления в печи во время отверждения, обусловленное режимами формования. После термоциклирвоания трещины на поверхности композита обнаружены не были, а на образце из чистого полиалканимида трещины начали формироваться после 20 температурных циклов обработки материалов. При 10 циклах на образцах полиалканимида трещин не наблюдалось.



а) б)

в) г)

Рис. 2. Микроскопия поверхности:
а, в – образца из термопластичного полиалканимида;
б, г – композита с 65 % содержанием наполнителя;
а, б – исходные образцы до термоциклирования;
в, г – образцы после 20 температурных циклов обработки материалов

Анализ полученных данных показал, что введение наполнитлея – кристаллического диоксида кремния повышает рабочий температурный режим функционирования композитов.

**Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-100750).*

Список используемых источников.

1. Полимерные диэлектрические композиты с эффектом активной защиты / В. И. Павленко [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2009. – № 3. – С. 62-66.

2. Исследование влияния гидротермального синтеза на структуру β-кварца / Н.И. Черкашина [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т. 20.– № 14. –С. 72-74.

# МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО – МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИЭФИРА

**Преображенская Е. М., Макарчук А. П.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***energ-lab@yandex.ru***

В последнее время применение термопластичного полиэфира находит все более широкое применение в различных областях народного хозяйства. Данный полимер относится экологичному виду материала, является устойчивым к изменению температуры, не растворяется в ацетоне. Однако механические свойства материала недостаточно изучены [1-3].

В работе проводились исследования предела прочности при растяжении образцов из термопластичного полиэфира на разрывной машине МР-0,5-1. Образцы изготавливались на 3D принтерах PICASO 3D Designer PRO 250 и MakerBot Replicator Z18. Печать образцов производилась сплошной заливкой и ячеисто. Геометрические размеры образцов выполнялись согласно ГОСТа 33693-2015.

Для исследований было изготовлено по три образца трех разных видов на каждом из принтеров (рис. 1).

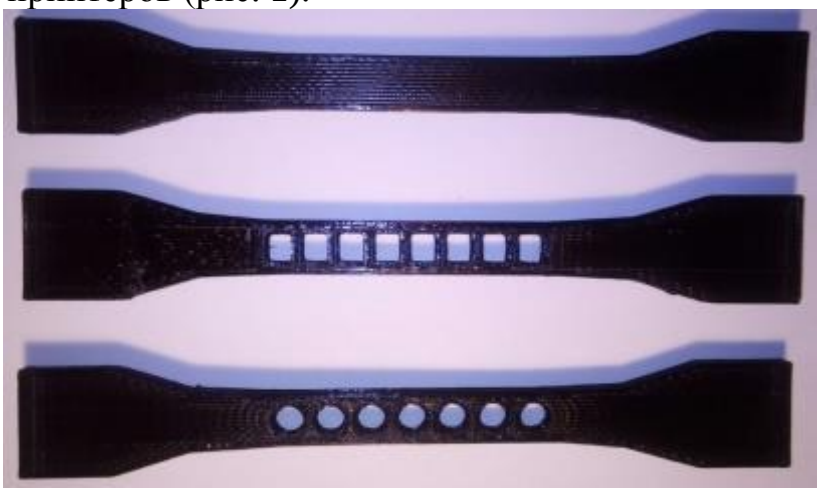


Рис. 1. Изготовленные образцы.

Принтер PICASO 3D Designer PRO 250 позволяет изготовить изделия с разной скоростью заливки. При большей скорости – 30 мм/сек не происходит равномерного спекания материала, что видно по характеру разрушения при испытаниях на разрывной машине (рис.2).

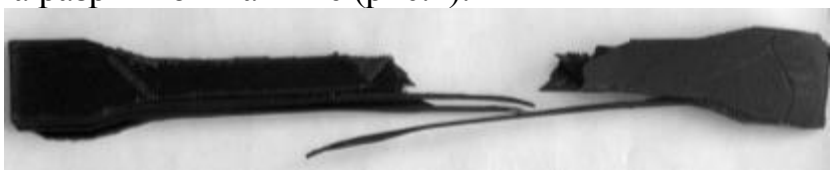


Рис. 2. Образец, подвергшийся испытаниям.

При скорости заливки полимера 15 мм/сек. образец спекся сплошно и равномерно. На образцах, изготовленных на принтере MakerBot Replicator Z18, такая особенность не наблюдается.

Испытание образцов с отверстиями в них разной формы и сплошного (рис. 1.) показало, что разрушение образцов происходит предсказуемым образом. На характер разрушения образцов форма отверстия в них не влияет. Разрыв всех образцов происходил в диапазоне 31-47 кгс. Удлинение от 4.5 до 9 мм.

Разработанный метод позволяет испытывать механические свойства образцов изготовленных из термопластичного полиэфира. Целесообразно изготовить образцы с разным процентом заполнения ячеек и провести их механические испытания. Так же планируется исследовать влияние наноструктурных добавок на механические свойства образцов из композита с термопластичным полиэфиром [4-6].

Список используемых источников.

1. Исследование режимов формирования углеродных нанообъектов на островковой структуре меди / М. В. Макарчук [и др.] // Физика и технология наноматериалов и структур: сборник научных статей 3-й Международной научно-практической конференции, 2017. – С. 90-95.

2. Макарчук, М. В. Исследование проблем синтеза углеродных нанообъектов / М. В. Макарчук, М. Н. Дутов // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы IX Международной научно-инновационной молодёжной конференции, 2017. – С. 188-189.

3. Макарчук, М. В. Деформационный метод получения объемных наноструктурных материалов / М. В. Макарчук, А. А. Шипилов // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы IX Международной научно-инновационной молодёжной конференции, 2016. – С. 177-178.

4. Королев, А. П. Исследование наноструктурных материалов методом Муара / А. П. Королев, М. В. Макарчук, М. Н. Дутов, А. Д. Лоскутова // Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций: сборник материалов XI Международной конференции, 2017. – С. 98-99.

5. Исследование режимов формирования углеродных нанообъектов на островковой структуре меди / М. В. Макарчук [и др.] // Физика и технология наноматериалов и структур: сборник научных статей 3-й Международной научно-практической конференции, 2017. – С. 90-95.

6. Макарчук, М. В. Дериватографическая методика исследования синтезированных нанообъектов / М. В. Макарчук, А. Д. Лоскутова, М. Н. Дутов // Энергосбережение и эффективность в технических системах: материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, 2017. – С. 304-305.

# ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ СТЕАРАТОМ ТИТАНА В КОМПОЗИТАХ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА

**Таров Д. В., Кобзев Д. Е., Титова Г. А., Таров В. П., Шубин И. Н., Дьячкова Т. П.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***dyachkova_tp@mail.ru***

Углеродные нанотрубки (УНТ) успешно используются в составе полимерных композитов на основе полярных матриц: эпоксидных смол, полиуретана, полиамидов и т.п. Для хорошей совместимости УНТ с этими материалами и получения равномерных дисперсий применяются методы функционализации, в результате которых на поверхности нанотрубок формируются различные функциональные группы полярного характера (фенольные, карбоксильные, амидные). В частности, УНТ подвергают окислению при условиях, в которых достижение необходимых значений степени функционализации не сопровождается значительными деструктивными изменениями графеновых слоев. Как правило, на поверхности окисленных УНТ присутствуют карбоксильные группы. Однако, карбоксилированные УНТ не пригодны для использования в качестве модификаторов неполярных полимерных матриц – полиэтилена, полипропилена, каучука, фторопласта. Известные способы адаптации УНТ к данному типу модифицируемых материалов, как правило, реализуются к лабораторных условиях, а масштабировать их затруднительно. В частности, высокую эффективность для повышения механических свойств композитов на основе неполярных полимеров показывают фторированные УНТ, для получения которых используются газовые смеси, в состав которых входит F2. Актуальным является поиск новых способов функционализации УНТ, при которых формируются неполярные группы. Например, при вторичной функционализации карбоксилированных УНТ стеаратом титана гидрофильный характер поверхности нанотрубок меняется на гидрофобный, благодаря чему полученная форма УНТ получает способность образовывать равномерные дисперсии в масляных средах и неполярных растворителях (бензол, толуол).

Целью настоящей работы явилось определение эффективности применения функционализированных стеаратом титана УНТ в составе композитов на основе полиэтилена. Смешение модифицирующей добавки с гранулированным полиэтиленом осуществлялось в расплаве в роторном смесителе «Брабендер». Концентрации УНТ в полимере составляли 0,01; 0,1; 0,5; 1 и 1,5 %. Число образцов для испытаний составляло не менее пяти. Исследования твердости по Шору проводили на приборе ИТ 5069 УХЛ 4,2 по методике ГОСТ 23677-79. Исследование триботехнических характеристик проводилось на машине трения определением весового износа. Частота вращения контртела составляла 12,5 об/мин. Термическую стабильность композитов определяли посредством анализа ТГ и ДСК-кривых, полученных на приборе синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter (Netzsch).

Анализ данных рис. 1 показывает, что применение функционализированных углеродных нанотрубок позволяет увеличить значение твердости по Шору на 12,5 % при концентрации 0,1 %. Аналогичный результат для исходных УНТ

достигается при концентрации, равной 1,5 %. Таким образом, функционализация позволяет сократить расход модификатора в 15 раз.

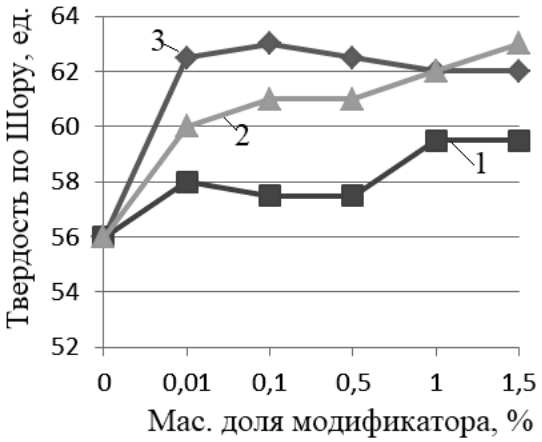



Рис. 1. Влияние концентрации модификатора (1 – углерода П234; 2 – исходных УНТ; 3- функционализированных УНТ) на твердость полиэтиленового композита

Согласно данным, представленным на рис. 2 и 3, УНТ, функционализированные стеаратом титана, при низких концентрациях (0,01 мас.%) повышают предел прочности полиэтиленовых композитов на изгиб и срез.

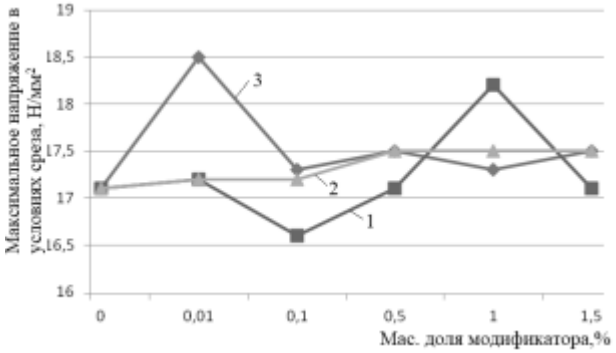



Рис. 2. Влияние концентрации модификатора (1 – углерода П234; 2 – исходных УНТ; 3 – функ. УНТ) на прочность полиэтиленового композита на срез

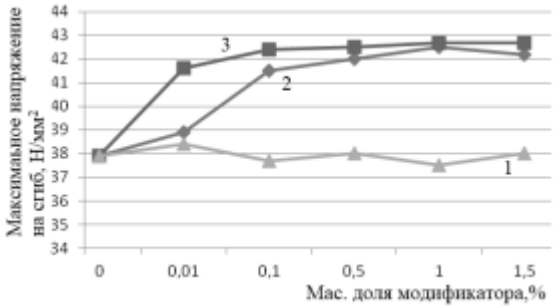



Рис. 3. Влияние концентрации модификатора (1 – углерода П234; 2 – исходных УНТ; 3 – функ. УНТ) на прочность полиэтиленового композита на изгиб

Введение 0,01 мас. % функционализированных УНТ в полиэтилен также способствует снижению весового абразивного износа в 2,19 раза по сравнению с исходным полимером. Нефункционализированные УНТ снижают данный показатель при аналогичной концентрации в 1,7 раза.

Термогравиметрические испытания показали увеличение термостабильности композитов при сохранении однородности материала.

Таким образом, функционализация углеродных нанотрубок стеаратом титана позволяет достичь существенных положительных эффектов по механическим свойствам, трибологическим характеристикам и термической стабильности при использовании в составе композитов на основе полиэтилена при сниженных на порядок и более по сравнению с другими модификаторами нормами.

# ПОЛУЧЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ БЕМИТА ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

**Козерожец И. В., Семенов Е. А., Панасюк Г. П.**
***Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН, Москва***
***irina135714@yandex.ru***

Интерес к наноразмерным материалам обусловлен перспективой их применения в различных областях техники. Наноразмерный порошок оксигидроксида алюминия (AlOOH – бемит) с размерами частиц 20-40 нм используется для удаления тяжелых металлов из бытовых и промышленных сточных вод; как сорбент для поглощения вирусов и бактерий, как носитель вирусов, в качестве антисептика для заживляющих повязок; в производстве бетона, лакокрасочных и декоративных материалов; как наполнитель в пластмассах, бумаге, композиционных материалах; в качестве катализаторов и носителя для катализаторов. При термической обработке бемита до температуры 1200°C образуются различные фазы оксида алюминия без изменения формы и размера частиц.

Наноразмерный порошок бемита получают при гидротермальной обработке наноразмерного порошка γ – Al2O3 в 1,5 масс. % растворе HCl при разных температурах: 200°C, 170°C и 150°C. Согласно данным РФА, переход наноразмерного порошка γ – Al2O3 в 1,5 масс. % растворе HCl в наноразмерный порошок бемита при 200°C осуществляется за 2,5 ч.; при 170°C - за 12 ч.; при 150°C – за 36 ч. При этом синтезированный наноразмерный порошок бемита, независимо от температуры гидротермальной обработки, имеет идентичные характеристики.

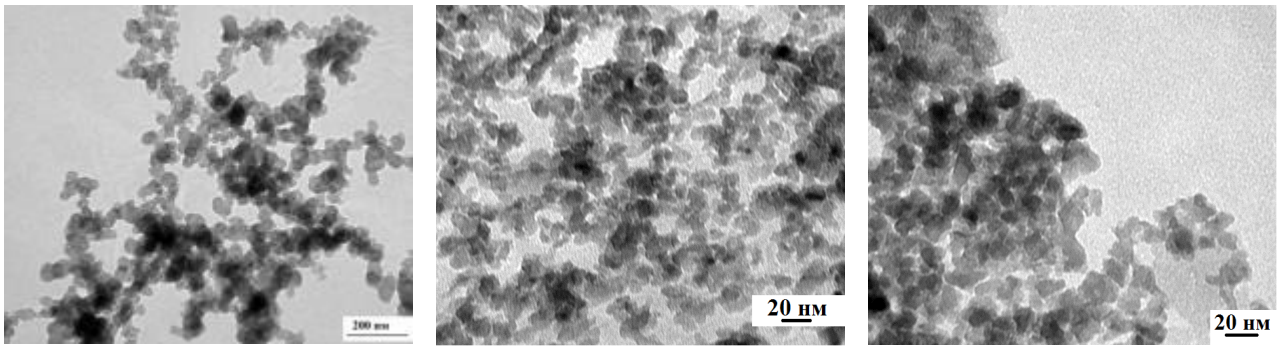



Рис. 1. ПЭМ–изображения бемита, полученного при гидротермальной обработке наноразмерного порошка γ – Al2O3 при 200°C в 1,5% растворе HCl в течение 6 ч. (A); при 170°C в 1,5% растворе HCl в течение 24 ч. (B) и при 150°C в 1,5% растворе HCl в течение 72 ч (C).

# НАНОКОМПОЗИТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

**Листунова О. С.**
***Самарский государственный технический университет, Самара***

XXI век характеризуется исследованием новых композиционных материалов, используемых в разных секторах промышленности. К подобным веществам причисляются нанокомпозиты, владеющие высочайшими физиологическими и механическими качествами согласно сопоставлению с другими композитами. Основные слова: микрокомпозиционный материал, нанокомпозит, матрицы, армирующий элемент, ВИАМ, материаловедение. Из года в год использование композиционных веществ в индустрии возрастает, таким образом и масштабы их изготовления возрастают. Помимо этого, разрабатываются новые типы композитов, с усовершенствованными машинными, физическим и иными качествами и свойствами. К подобным веществам относятся нанокомпозиты. Введение нанокомпозитов повергнет к новаторским преображениям в наиболее разных сферах индустрии, к примеру, самолетостроении, машиностроению, химии, энергетике, медицине, биологии, экологии и т.д. Нанокомпозиты предполагают собою единственный из типов композиционных материалов. Данные высокоструктурированные вещества, объем фаз которых меньше 100нм. Для того чтобы осознать это установление, осмотрим композиционные материалы, их предысторию, систематизацию и использование.

Слово «композиция» (от лат. compositio – составление, связывание) широко применяется в художественной литературе, музыке. Исходя из этого говорят о литературно-музыкальной композиции или о музыкальной композиции, состоящей из различных произведений и отрывков. Если перенести эти рассуждения на понятие «композиционный материал», то в самом общем случае композиционным материалом является материал, состоящий из каких-либо различных частей. Строение композитного вещества показано на рис. 1.

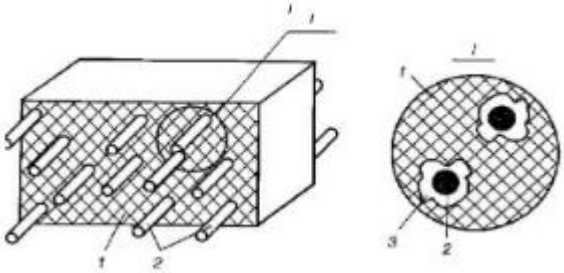



Рис. 1. Строение композитного вещества.

Строение композитного материала: 1 — матрица; 2 — армирующая частица; 3 — армирующее волокно. Компонент, непрерывный во всем объеме композиционного материала - это матрица, а композит, неровный и разъединенный в объеме, называется арматурным элементом. Представление «арматурный» обозначает «введенный в материал с целью изменения его свойств». Всегда компоненты различаются по собственной натуре или химической

формуле. Помимо этого они связаны в общую единую монолитную структуру с границей раздела. Комбинирование разных частей дает возможность приобрести совокупность новых усовершенствованных физиологических, химических и автоматических качеств, в сопоставлении с качествами частей присвоенных в раздельности. Хроника композиционных веществ стартовала с древних времен, если в первый раз Индивид обучился совмещать некоторое количество частей с целью формирования вещества с установленными качествами. К подобным веществам допускается причислить первоначальные кирпичи и глиняные продукты за 5000 лет до н.э, что включали солому перемешанную с глиной. В 3000 годах до н. э. возникли речные свиды, что изготовлялись из композиционного вещества, навевающий воспоминания нынешний материал (стеклопластик). Такого рода источник показывал собою раствор 2-ух частей — тростника, насыщенного битумом. Битум — полезные ископаемые органического происхождения с первичной углеводородной основой. К ним относятся естественные производные нефти, образующиеся при нарушении консервации её залежей в результате химического и биохимического окисления. Их добычу проводят главным образом карьерным или шахтным способом. Одним словом, формирования композиционных материалов старая. С годом качества композитов улучшаются, возникают новые, наиболее легкие, крепкие. Отмечу композиты применяются весьма давно, слово «композиционный материал» стал использоваться только в XX столетие, был придуман стеклопластик, используемый в самолетостроении. Наука начала совершенствоваться со времен появления ВИАМ (1932г.) и вступила в пункт материаловедения. ВИАМ — Всероссийский исследовательский институт авиационных материалов; это крупнейшее материаловедческое государственное предприятие. Все композиты обладают общими свойствами. При их создании человек опирается на свойства, использованные из машиностроения, значит КМ — материал, представляющий собой искусственно созданные с предварительными механическими свойствами. Кроме придуманных полимеров, в 21 столетии используются нанокомпозиты, представляющие новой ступенькой в формировании науки о веществах — материаловедении. Перед нанокомпозитами понимаются текстуры, заключающиеся с большого колличества циклических частей — слоев (фаз), измеряется в десятках нанометров. Главный элемент — матрица с наноразмерным компонентом. Нанокомпозиты различаются от веществ обыкновенных строений другими температурами плавления, они владеют высокой коррозиестойкими и механическими свойствами. Наноматериалы можно подразделить на: наноматериалы и нанотехнологии. Основной вопрос — фактическое овладение технологий, которые обеспечивают изготовление наноматериалов нарынках сбыта продукции. С вида матрицы, нанокомпозиционные вещества разделяются: – нанокомпозиты в основании керамическая матрица; – нанокомпозиты в основании железной матрицы; – нанокомпозиты в основании полимеров. С целью формирования нанокомпозитов используются движения, в следствии чего совершается развитие наноструктур. Подобные движения проходят в «наноуровне» с поддержкой нанотехнологий. Представление на-

ночастиц связано не с их величиной, а с проявлением у их качеств в данном диапозоне. В взаимосвязи с данным появляются тяжелые задачи в получении нанокомпозитов — задачи научно-технического и финансового характера. С целью устранения этой проблемы ученые 21 века хотят сделать новые, наиболее экономически интересные способы изготовления.

Рис. 2. Нанокомпозиты и их применение.

В заключение хотелось бы отметить, что значимость всех композиционных материалов для современной промышленности огромна. Сегодня композиты используются в производстве разной продукции, включая от пуговицы в текстильной промышленности и заканчивая лопастями винтов вертолетов и самолетов в авиастроении. С ходом времени необходимо модернизирование КМ, поэтому использование нанокомпозитов будет предстоявшим будущим машиностроения и других сфер промышленности.

Список используемых источников.

1. Ткачева, В. Р. Нанокомпозиты – будущее машиностроения // Техника. Технологии. Инженерия. – 2016. – № 1. – С. 37-40.

2. Федотовский, А. В. Проблемы развития и применения нанотехнологий // Нанотехнологии: наука и производство. – 2013. – № 5 (26). – С. 43–46.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА РАЗРЫВНОЙ МАШИНЕ

**Преображенская Е. М., Макарчук А. П.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***energ-lab@yandex.ru***

Одним из этапов создания какого либо продукта является прототипирование. Данный этап позволяет быстро и с наименьшими усилиями создать работающий продукт. Актуальным является исследование механических свойств материалов, из которых изготавливаются прототипы [1-3]. В данном случае исследовался характер разрушения термопластичного полиэфира, который является основным из материалов применяемом при 3D печати.

Проводились исследования предела прочности при растяжении образцов из термопластичного полиэфира на разрывной машине МР-0,5-1. Образцы изготавливались на 3D принтерах PICASO 3D Designer PRO 250 и MakerBot Replicator Z18. Геометрические размеры образцов выполнялись согласно ГОСТа 33693-2015.

После испытаний были получены образцы с разным характером разрушения (рис.1)

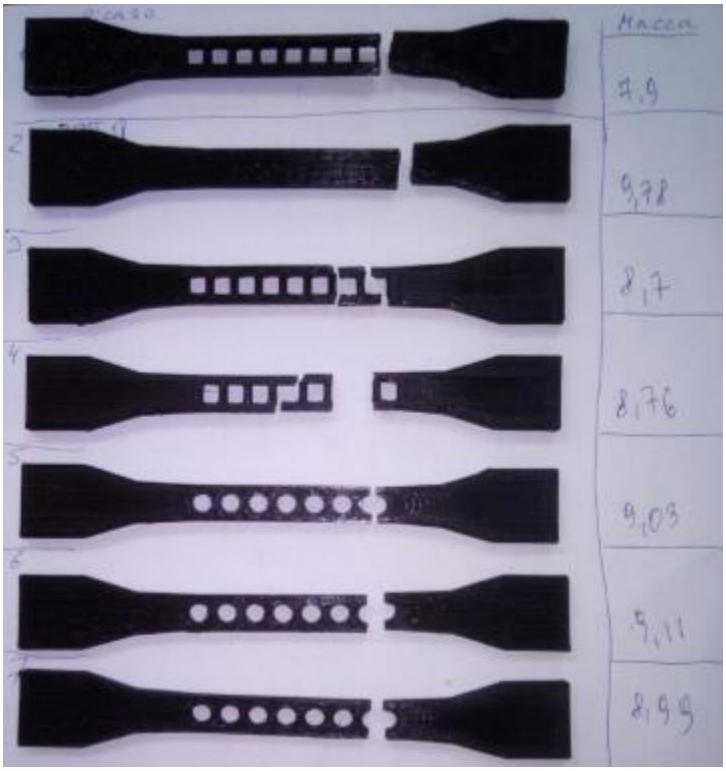



Рис. 1. Образцы из термопластичного полиэфира после испытаний на разрывной машине МР-0,5-1.

Образцы выполнены с отверстиями в них разной формы и сплошно. Наилучшие прочностные характеристики показали образцы напечатанный без отверстий. Зависимость прочностных характеристик от типа принтера (от алгоритма печати) не обнаружены.

Как видно из рисунка разрушения образцов происходит ближе к краю и не разу не произошло ближе к середине. Образцы с круглыми отверстиями все разрушились по схожему механизму в наиболее тонком месте.

Образцы с квадратными отверстиями разрушились в нескольких местах и начало разрушения в каком из мест не выявлено. По-видимому первичное место разрушения у каждого образца с квадратным отверстием индивидуально. Механизм разрушения данных образцов по видимому связан с резонансом, который провоцируется формой отверстий и запускается из первоначальной точки разрушения.

Предположительно на увеличение прочностных характеристик могут повлиять наноструктурные добавки разной морфологической природы. Планируется добавлять в полиэфир наноструктурные добавки в виде частиц и волокон [4-6].

Список используемых источников.

1. Исследование режимов формирования углеродных нанообъектов на островковой структуре меди / М. В. Макарчук [и др.] // Физика и технология наноматериалов и структур: сборник научных статей 3-й Международной научно-практической конференции, 2017. – С. 90-95.

2. Макарчук, М. В. Исследование проблем синтеза углеродных нанообъектов / М. В. Макарчук, М. Н. Дутов // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы IX Международной научно-инновационной молодёжной конференции, 2017. – С. 188-189.

3. Макарчук, М. В. Деформационный метод получения объемных наноструктурных материалов / М. В. Макарчук, А. А. Шипилов // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы IX Международной научно-инновационной молодёжной конференции, 2016. – С. 177-178.

4. Королев, А. П. Исследование наноструктурных материалов методом Муара / А. П. Королев, М. В. Макарчук, М. Н. Дутов, А. Д. Лоскутова // Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций: сборник материалов XI Международной конференции, 2017. – С. 98-99.

5. Исследование режимов формирования углеродных нанообъектов на островковой структуре меди / М. В. Макарчук [и др.] // Физика и технология наноматериалов и структур: сборник научных статей 3-й Международной научно-практической конференции, 2017. – С. 90-95.

6. Макарчук, М. В. Дериватографическая методика исследования синтезированных нанообъектов / М. В. Макарчук, А. Д. Лоскутова, М. Н. Дутов // Энергосбережение и эффективность в технических системах: материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, 2017. – С. 304-305.

# ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАНОГРАФИТОВ

**Бакунин Е. С., Образцова Е. Ю., Рухов А. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов,***
***Jack1400@mail.ru***

Графен и графеноподобные материалы набирают всё большую популярность в научном мире из-за широких сфер своего возможного применения. Одним из перспективных способов получения таких материалов является электрохимическая эксфолиация графита.

В этом случае при помощи чередования катодных и анодных импульсов возможно осуществление интеркаляции ионов в межслойное пространство графита и последующее его расслоение с получением искомых структур. Преимущества такого синтеза состоят в отсутствии необходимости применения жёстких условий окисления, что позволяет получать продукт свободный от большого числа полярных групп. В то же время и не исключая возможности синтеза материала с полярными группами, а также оксида графена. Замена применяемых в классическом химическом методе синтеза сульфатных электролитов на растворы различных солей, кислот и щелочей делает возможным получение нанографита свободного, например, от остатков содержащих серу, что зачастую бывает важно. Например, при добавке материала в автомобильные бензины. В настоящее время в нашей лаборатории успешно ведутся работы по изучению синтеза нанографитов в растворах гидроксида калия (рисунок 2, б), серной кислоты, персульфата аммония.

Для препаративного синтеза используется установка позволяющая чередовать катодные и анодные импульсы, обеспечивая при этом напряжение на электродах до 10 В и ток до 5 А. В применяемой установке программируемый микроконтроллер управляет механическими реле, меняющими с заданной частотой полярность тока (рисунок 1).

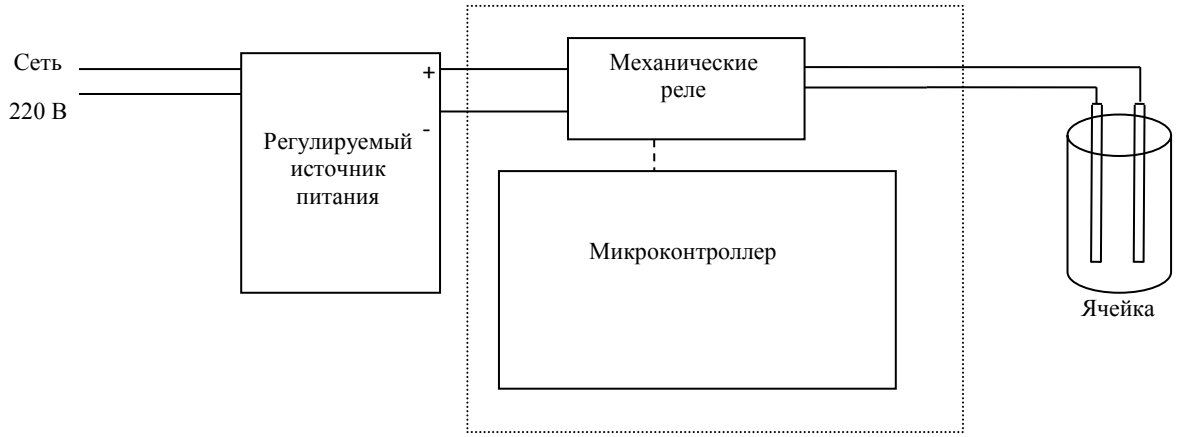



Рис. 1. Блок-схема установки для препаративного синтеза нанографита.

Актуальной проблемой, над которой ведется работа, является совершенствование имеющейся установки с целью получения возможности подачи на электроды переменного напряжения синусоидальной, треугольной, трапециевидной формы, с различной частотой и скважностью.

Другой решаемой задачей остается правильный выбор материала электрода. Так как это напрямую влияет на экономическую эффективность процесса синтеза. Например, использование графитового уплотнительного материала марки «графлекс» показало хорошие результаты в процессе синтеза – электрод практически не отделяется крупными кусками, эксфолиация идёт равномерно (рисунок 2, а). Однако недостаток использования такого материала его дороговизна.

а)

б)

Рис. 2. а) расширение электрода из материала «графлекс» при синтезе в серной кислоте; б) суспензия нанографита.

В рамках поиска электродного материала был рассмотрен вариант с применением электротехнических графитовых вставок. Однако содержащаяся в их составе медь и другие металлы не позволяют использовать такие электроды для синтеза нанографитов.

Очевидно, эффективнее всего, с экономической точки зрения, будет применение природного графита. Нами были проведены соответствующие эксперименты, но спрессовать из него электроды в лабораторных условиях не получилось. Возможно, в будущем будут созданы электролизеры с организацией поджима графита к электропроводящему контакту. В настоящее время нами выполняется обзор такого оборудования.

# ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ*

**Батищев В. В., Светличный А. М., Житяев И. Л.**
***Южный федеральный университет, Таганрог***
***vit-celt@yandex.ru***

Пористые полупроводниковые материалы привлекают исследователей уже довольно долгое время. Обладая кристаллической структурой основного материала, пористые слои могут характеризоваться иными электрическими свойствами, например, более сильной фотолюминесценцией при комнатной температуре [1].

Большой интерес уделяется карбиду кремния, так как он имеет высокую теплопроводность, термическую и радиационную стойкость [2, 3] Электрические свойства приборов на карбиде кремния стабильны во времени и почти не зависят от температуры. По своей структуре карбид кремния аналогичен структуре алмаза (рисунок 1). Все вышеперечисленные свойства делают карбид кремния наиболее подходящим материалом для приборов силовой электроники.

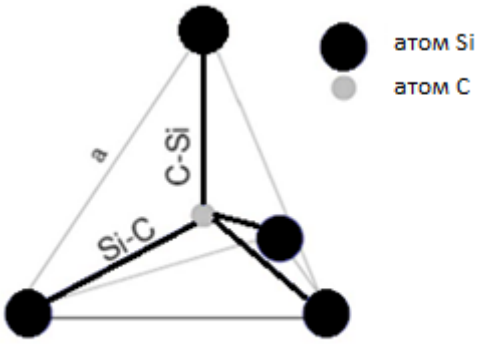



Рис. 1. Тетрагональное окружение атома углерода атомами кремния.

В большинстве случаев пористый карбид кремния (ПКК) получают на основе кристаллов 6H-SiC, с помощью метода электрохимического (анодного) травления в водном растворе HF с добавлением спирта в разных пропорциях, зачастую процесс происходит под действием ультрафиолетового излучения. Выбор данного метода обусловлен возможностью управления и контроля процесса, стабильностью процесса во времени, упрощенным составом раствора и методом его приготовления.

Так в работе [4] были использованы пластины 6H-SiC. Процесс анодирования проводился в растворе H2O:HF:C2H5OH = 1:1:2 при освещении ультрафиолетом и трех значениях плотности тока: 20, 60 и 100 мА/см2. Время составляло 15, 5 и 3 минуты. По результатам исследования толщина пористых слоев составила 26, 18 и 16 мкм. Что позволяет сделать вывод о нелинейном увеличении роста слоя ПКК с ростом плотности тока.

В работе [5] пришли к выводу, что при росте плотности тока при фиксированном времени происходит увеличение количества пор в материале, и это не приводит к увеличению самих пор. При увеличении времени наблюдается возрастание количества пор, а затем их слияние, из-за уменьшения расстояния между самими порами. Во время исследования полученных образцов наблюдалось увеличение толщины пористого слоя на образцах, которые были получены с большей плотностью тока.

Исследование зависимости плотности пор от плотности тока в диапазоне от 10 до 60 мА/см2 проводилось в работе [6]. В качестве подложки использовались пластины 4H-SiC. При плотности тока 10 мА/см2 плотность пор составляла 3·107 см-2, при плотности тока 20 мА/см2 плотность пор увеличивалась до 1·108 см-2, а при 40 мА/см2 плотность пор была уже 1,5·108 см-2. В результате авторы получили следующую зависимость (рисунок 2).

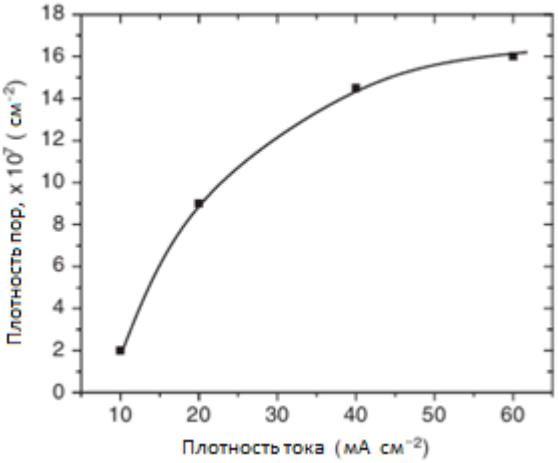



Рис. 2. Зависимость плотности пор от плотности тока.

В работе [7] использовался раствор HF:C2H5OH:H2O = 1:1:2, плотность тока составляла 35, 70, 140 и 280 мА/см2, время составляло 3 минуты, в качестве подложек использовались легированные азотом пластины 6H-SiC. В результате исследований было выявлено, что плотность тока анодирования определяет пористость материала в целом, толщина пористого слоя зависит от времени анодирования, изменяя режимы анодирования можно изменять морфологию поверхности, что может быть использовано при разработке и создании приборов микро- и нанотехнологии.

На основе рассмотренных работ можно сделать вывод, что для получения пористых структур необходимо выбирать параметры, не приводящие к слиянию пор, которое зависит от времени анодирования. Плотность тока влияет на пористость в целом и на толщину пористого слоя в частности. Следовательно, она подбирается исходя из поставленной задачи. Так, например, для газочувствительных сенсоров достаточно > 100 нм [8].

В нашей работе в качестве образца решено использовать пластину 6H–SiC,легированную азотом. Раствор электролита берем в соотношении HF:C2H5OH:H2O = 1:1:1. Как было сказано выше для газочувствительности, достаточно пористого слоя толщиной более 100 нм, тогда время процесса со-

ставляет 4, 6 и 8 минут, при плотностях тока 25, 20 и 15 мА/см2 соответственно.

**Работа выполнена при финансовой поддержке внутреннего гранта Южного федерального университета №ВнГр-07/2017-26.*

Список используемых источников.

1. Savkina, N. S. Role of the defects under porous silicon carbide formation / N. S. Savkina, L. M. Sorokin, J. L. Hutchison, J. Sloan, A. S. Tregulova, G. N. Mosina, V. B. Shuman, V. V. Ratnikov // Applied Surface Science. – 2001. – P. 252-256.

2. Светличный, А. М. Моделирование распределения напряженности электрического поля в наноструктурах с катодом прямоугольного сечения на основе пленок графена на SiC / А. М Светличный, О. Б. Спиридонов, И. Л. Житяев, Е. Ю. Волков, М. В. Демьяненко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – С. 225-236

3. http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/SiC (дата обращения 19.09.2018).

4. Савкина, Н. С. Влияние высокотемпературного эпитаксиального процесса роста слоев SiC на структуру пористого карбида кремния / Н. С. Савкина, В. В. Ратников, В. Б. Шуман // Физика и техника полупроводников. – 2001. – С. 159-163.

5. Светличный, А. М. Исследование структуры слоев пористого карбида кремния / А. М. Светличный, О. Б. Спиридонов, Л. Г. Линец, А. С. Коломийцев, В. А. Смирнов, Е. Ю. Волков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – С. 102-109.

6. Soloviev, S. Processing porous SiC: diffusion, oxidation, contact formation / S. Soloviev, T. Sudarshan. – 2007. – P. 31-54.

7. Светличный, А. М. Влияние режимов травления на морфологию поверхности пористого-SiC / А. М. Светличный, Н. Н. Московченко // Материалы научно-технической конференции. Известия ТРТУ. – 2004. – С. 105.

8. Connolly, E. J. A new ammonia sensor / E. J. Connolly, B. Timmer et al. // Eurosensors XVIII. – Rome. – 2004. – P.672-674.

# ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТАЛИЗАТОРА СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ*

**Бесперстова Г. С., Неверова М. А., Буракова Е. А., Степанов А. М.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
**bes.galina@mail.ru**

В связи с возросшим интересом к перспективам применения наноматериалов (УНМ) в различных отраслях промышленности, актуальной задачей остается получение эффективных катализаторов, позволяющих осуществлять направленный синтез наноструктрур. Большое количество работ, например таких как [1-3], посвящено исследованию влияния состава, режимных параметров, способа получения катализаторов на качественные характеристики наноматериала. Основной стадией при получении катализаторов синтеза УНМ является стадия термообработки, на которой происходит формирование активных центров –будущих источников роста нанотрубок. Особое внимание при получении катализаторов необходимо уделить такому малоизученному вопросу, как влияние режимных параметров термообработки предкатализатора на характеристики создаваемой каталитической системы. В данной работе исследовали влияние присутствия кислорода в зоне термического разложения на характеристики получаемого катализатора.

В качестве объекта исследования выбран Co-Mo/Al2O3-MgO катализатор, полученный методом термического разложения раствора исходных компонентов в присутствии лимонной кислоты. Термическая обработка заключалась в реализации двух стадий:

- разложение раствора исходных компонентов при 500 °С в течение 15 мин;
- прокаливание полученной структуры в течение 1 часа при 600 °С.

В результате эксперимента было получено четыре образца Co-Mo/Al2O3-MgO катализатора, отличающихся условиями реализации стадии термического разложения раствора исходных компонентов. Для интенсификации данного процесса было предложено дополнительно в зону термического разложения подводить кислород. Для этого варьировали расход осушенного воздуха (G) в зоне термического разложения от 10÷40 л/мин. Эффективность полученных образцов катализатора определяли по удельному выходу УНМ ($\bar{\gamma}$, гС/гkat). Присутствие неразложившейся органики в полученных образцах катализатора после термического разложения оценивали по остатку вещества после стадии прокаливания ($\omega$, %), методики анализа по которым проводили исследования подробно описаны в работах [4] и [5] соответственно. Результаты, полученные в ходе эксперимента, представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Влияние условий реализации термического разложения на характеристики Co-Mo/Al2O3-MgO катализатора

| № образца катализатора | $G_{воздуха}$, л/мин | $\bar{\gamma}$, гС/гkat | $\omega$, % |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 8,3 | 7,1 |
| 2 | 10 | 9,5 | 6,7 |
| 3 | 25 | 10 | 6,7 |
| 4 | 40 | 11 | 4,3 |

Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о необходимости дополнительного подвода кислорода в зону термического разложения и определить расход воздуха, при котором формируется более эффективная Co-Mo/Al2O3-MgO каталитическая система. Подвод воздуха (40 л/мин) способствует лучшему разложению органики, присутствующей в составе исследуемого катализатора. При таких условиях реализации стадии термического разложения предкатализатора остаток массы Co-Mo/Al2O3-MgO катализатора после стадии прокаливания наименьший, что подтверждает полное разложение органики.

Для подтверждения замеченной особенности влияния подачи осушенного воздуха в зону разложения на характеристики катализатора, было приготовлено 20 партий катализатора с притоком осушенного воздуха и 20 партий катализатора без притока. Полученные данные по остатку после прокаливания представлены на рисунке 1.

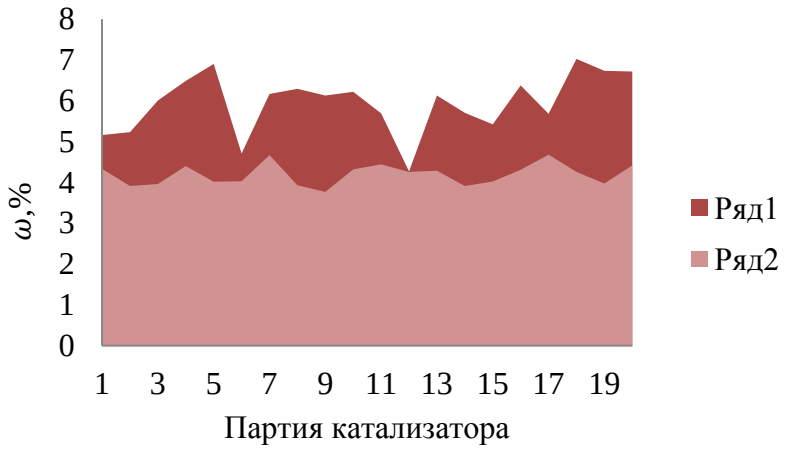



Рис. 1. Зависимость значения массы остатка катализатора после прокаливания: ряд 1 – при подаче осушенного воздуха во время термического разложения, ряд 2 – без подачи воздуха.

Среднее значение остатка после прокаливания катализатора, полученного без притока воздуха в зону термического разложения – 5,95±0,34 %, с притоком осушенного воздуха 4,41±0,12 %. Вероятно, данный эффект связан с образованием различных фаз в катализаторе, которое зависит от параметров получения катализатора, в данном случае от подачи воздуха в зону разложения. Полученные результаты позволяют сделать вывод о необходимости

проведения детального исследования влияния подачи кислорода в зону термического разложения на такие характеристики катализатора как удельная поверхность, дисперсный состав, а также на качество синтезируемого на нем УНМ (степень дефектности, термостабильность и др.).

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-43-680005.*

Список используемых источников.

1. Magrez, A. Catalytic CVD Synthesis of Carbon Nanotubes: Towards High Yield and Low Temperature Growth / A. Magrez, J. W. Seo, R. Smajda // Materials. – 3. – 2010. – p. 4871-4891.

2. Скичко, Е. А. Экспериментальное исследование кинетических закономерностей синтеза углеродных нанотрубок каталитическим пиролизом газовых смесей переменного состава / Е. А. Скичко, Д. А. Ломакин, Ю. В. Гаврилов, Э. М. Кольцова // Fundamental research. – 2012. – №3. – С 414–416.

3. Пахомов, Н. А. Научные основы приготовления катализаторов: введение в теорию и практику / Н. А. Пахомов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, – 2011. – С. 262.

4. Рухов, А. В. Метод измерения активности металлоксидного катализатора синтеза углеродных нанотрубок методом газофазного химического осаждения / А. В. Рухов, Г. С. Бесперстова, Е. С. Бакунин, Е. А. Буракова // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы VII Международной научно-инновационной молодежной конференции: 28 - 30 октября 2015. Под общей редакцией оргкомитета. – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2015. – С. 293-294.

5. Рухов, А. В. Метод сканирующего термографического анализа углеродных нанотрубок / А. В. Рухов, Г. С. Бесперстова, Е. С. Бакунин, Е. А. Буракова // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы VII Международной научно-инновационной молодежной конференции: 28 - 30 октября 2015. Под общей редакцией оргкомитета. – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2015. – С. 308-309.

# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПОРОШКОВ ОКСИДОВ И ГИДРОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ

**Козерожец И. В., Семенов Е. А., Панасюк Г. П.**
***Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН, Москва***
***Irina135714@yandex.ru***

В настоящее время предложены разнообразные методы, позволяющие получать наноразмерные порошки оксидов металлов. Существуют два основных подхода к синтезу наночастиц оксидов металлов 1) “снизу вверх” – из отдельных атомов и молекул с использованием преимущественно химических реакций; 2)-“сверху вниз” – механическим или иным дроблением более крупных частиц. Подход, использующий химические реакции является более предпочтительным, так как позволяет контролировать форму и размеры частиц, фазовый и примесный составы.

Разработан новый метод получения наноразмерного порошка γ-Al2O3, заключающегося в последовательной термической обработке насыщенного раствора оксихлорида алюминия и сахарозы до температуры 350°С, с образованием переходной формы и затем до температуры 800°С с образованием наноразмерного порошка γ-Al2O3.

Характеристика переходной формы и наноразмерного порошка γ-Al2O3 представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристика переходной формы и наноразмерного порошка γ-Al2O3.

| Характеристика | Переходная форма | Наноразмерный порошок γ-Al2O3 |
|---|---|---|
| Средний размер частиц | 10 – 40 нм | 10 – 40 нм |
| Коэффициент теплопроводности | 0.04 Вт/(м·К) | 0.02 Вт/(м·К) |
| Площадь удельной поверхности | <1 м2/г | 200 м2/г |
| Удельный объем пор | - | 0.089 см3/г |
| Насыпная плотность | 0.03 г/см3 | 0.015 г/см3 |
| Размер пор | - | 1.87 нм |

Для получения наноразмерного порошка бемита синтезированный наноразмерный порошок γ – Al2O3 подвергали гидротермальной обработке в 1,5 масс. % растворе HCl при разных температурах: 200°С, 170°С и 150°С. Согласно данным РФА, переход наноразмерного порошка γ – Al2O3 в 1,5 масс. % растворе HCl в наноразмерный порошок бемита при 200°С осуществляется за 2,5 ч.; при 170°С - за 12 ч.; при 150°С – за 36 ч. При этом синтезированный наноразмерный порошок бемита, независимо от температуры гидротермальной обработки, имеет идентичные характеристики (табл. 2.)

Таблица 2.

Свойства наноразмерного порошка бемита (AlOOH).

| | Бемит, полученный при гидротермальной обработке γ – Al2O3 в 1,5 масс. % растворе HCl при | | |
|---|---|---|---|
| | 200°C | 170°C | 150°C |
| Средний размер частиц | 10-40 нм | 10-40 нм | 10-40 нм |
| Теплопроводность | 0.02 Вт/(м·К) | 0.02 Вт/(м·К) | 0.02 Вт/(м·К) |
| Площадь удельной поверхности | 65,32 м2/г | 67, 45 м2/г | 66,34 м2/г |
| Размер пор | 1,89 нм | 1,89 нм | 1,89 нм |
| Удельный объем пор | 0,031см3/г | 0,033 см3/г | 0,030 см3/г |
| Время полного превращения | 2,5 ч. | 12 ч. | 36 ч. |

Таким образом, в работе предложен новый метод синтеза наноразмерных порошков оксидов и гидроксида алюминия. Данный метод позволяет получать порошки γ – Al2O3 и AlOOH обладающие заданными свойствами.

# ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕГУЛИРОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ШИРОКИХ ПРЕДЕЛАХ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СЫРЬЯ МЕТОДАМИ ОРИЕНТИРОВАННОЙ КАРБОНИЗАЦИИ

**Данилов Е. А.[1], Самойлов В. М.[1], Тимощук Е. И.[1], Орлов М. А.[2], Галимов Э. Р.[3]**

***[1]АО «НИИграфит», Москва***

***[2]АО «МИЦ МГТУ им. Н.Э. Баумана», Москва***

***[3]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева, Казань***

Синтактические углеродные пены (СУП) являются новым классом материалов с регулярной формой пор [1]. К ключевым преимуществам синтактических углеродных пен относятся высокая удельная прочность, химическая и термическая стойкость низкая кажущаяся плотность и т.д. В связи с интересом к СУП как материалу теплоизоляции/теплоотвода, особенно в авиакосмической области [2], перспективным представляется их получение из различных сырьевых материалов, что приводит к различиям в степени графитации и фазового состава получаемых стенок пор и, соответственно, позволяет получать материалы с различным уровнем электро- и теплофизических свойств.

Существует ряд подходов к получению СУП [3], в частности, одним из наиболее распространенных методов является т.н. темплатный синтез, т.е. карбонизация полимеров с высоким выходом углеродистого остатка на поверхности подходящих полимерных пен. Большая часть пригодных для пропитки полимеров при карбонизации дает углеродистый остаток с небольшими размерами кристаллитов, что не позволяет получить СУП с коэффициентом теплопроводности выше 3-4 Вт/м·К [4].

В настоящей работе СУП получали из каменноугольных пеков, отличающихся повышенными достижимыми значениями степени графитации и, соответственно, теплофизических свойств. Высокотемпературный (точка размягчения 140°С) пек вспенивали по одному из следующих способов:

1) карбонизация в автоклаве под давлением 200 ати при конечной температуре термообработки 620°С с выдержкой в интервале температур 350-450°С для образования мезофазы (см. рис. 1б);

2) карбонизация при переменном давлении (циклы давление-вакуум) в промышленном пропиточном агрегате (см. рис. 1в);

3) карбонизация под вакуумом (10 мм рт.ст.), промышленная электровакуумная печь (рис. 1г).

Конечная температура обработки для всех материалов составляла 900°С. Из данных рис. 1 видно, что структура полученных карбонизатов заметно отличается от пены темплатного синтеза менее регулярной формой сферических пор и утолщенными межпоровыми стенками, что приводит к повышенной плотности таких материалов.

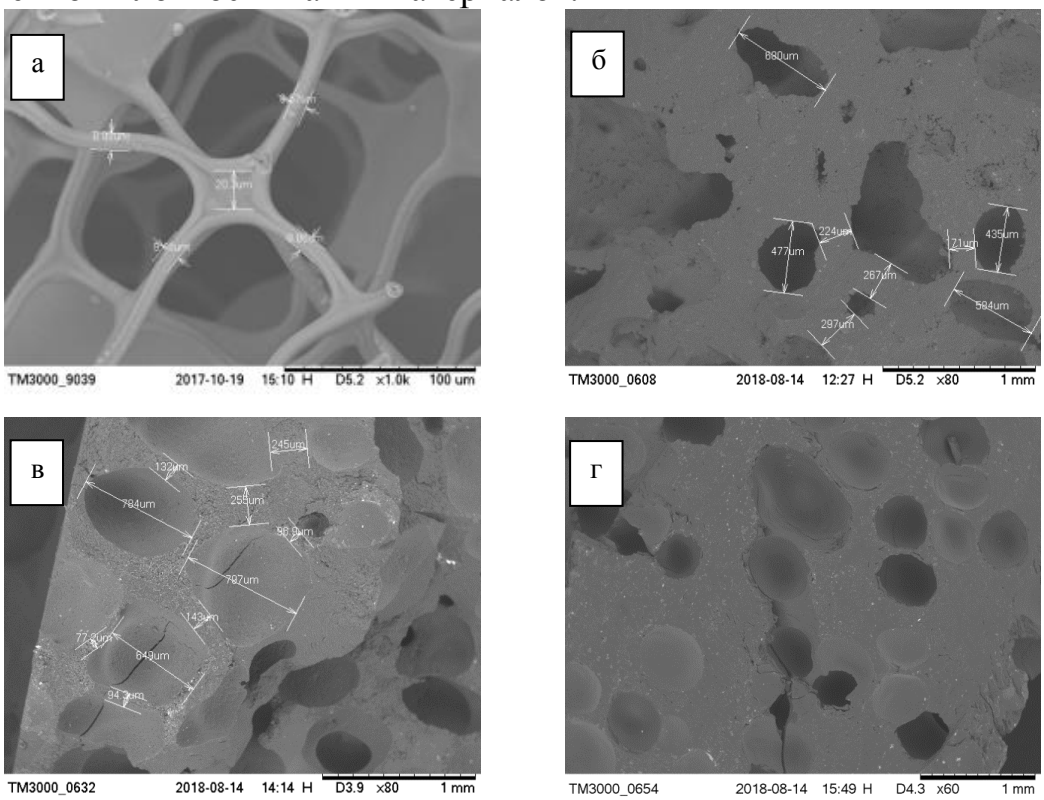



Рис. 1. Типичные снимки сканирующей электронной микроскопии СУП, полученных методом темплатного синтеза (а), карбонизации под давлением (б), карбонизации при переменном давлении (в) и карбонизации под вакуумом.

Альтернативным способом создания СУП на основе пеков является технология с использованием углеродных микросфер в качестве «темплата» для карбонизации связующего. Способ описан авторами в [5]. В табл. 1 приведены результаты сравнения основных свойств СУП, полученных по различным технологиям. Стоит отметить, что свойства СУП, полученных карбонизацией пека близки, и от давления при карбонизации теплофизические свойства получаемых пен не зависят.

Видно, что при умеренном повышении плотности (и соответствующем снижении пористости) СУП на основе пеков отличаются гораздо более высокими значениями коэффициента теплопроводности, что позволяет рекомендовать их в качестве перспективных материалов теплоотвода и пористых электродов. Вариант технологии с использованием углеродных микросфер не позволяет получить сходных значений коэффициента теплопроводности, что, скорее всего, объясняется ориентирующим влиянием наполнителя.

Таблица 1.

Достигнутый уровень свойств синтактических углеродных пен.

| Наименование параметра | СУП темплатной карбонизации | СУП на основе пека и микросфер | СУП, карбонизация под давлением |
|---|---|---|---|
| Кажущаяся (объемная) плотность, г/см3 | 0,04-0,77 | 0,10-0,90 | 0,50-1,0 |
| Предел прочности при сжатии, МПа | 0,9-18 | 12-22 | |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К | 0,5-3,1 | 6,5-13 | >50 |
| ТКЛР, 106 К-1 | 1,7-2,8 | 1,5-2,8 | ~2 |
| Пористость, % | 60-95 | 55-85 | 50-75 |

Список используемых источников.

1. Benton, S. T., Schmitt, C. R. // Carbon. – 1972. – V. 10. – P. 185-190.

2. Samoylov, V. M., Danilov, E. A., et al. // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2017. – V. 240. – P. 0120622.

3. Inagaki, M., Qiu, J., Guo, Q. // Carbon. – 2015. – V. 87. – P. 128–152.

4. Получение и исследование физико-механических свойств синтактических углеродных пен / Э. Р. Галимов, В. Л. Федяев, В. М. Самойлов, Е. А. Данилов, Е. И. Тимощук, Д. В. Пономарева, А. В. Находнова, М. А. Орлов // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы-2017: материалы VIII Международной научно-технической конференции. – Казань, 2017. – С. 206-217.

5. Получение синтактических углеродных пен заданной плотности на основе углеродных микросфер / Е. А. Данилов, В. М. Самойлов, А. В. Николаева // Деформация и разрушение материалов и наноматериалов: сб. мат. VII Межд. конф. – М.: ИМЕТ РАН, 2017. – С. 656-658.

# ВЛИЯНИЕ ФТОРИРОВАНИЯ НА ДИСПЕРСНОСТЬ УНТ В ЭПОКСИДНОМ МОНОМЕРЕ BFE-170*

**Зайцев И. А., Блохин А. Н., Сухоруков А. К., Ящишин Н. Ю., Кобзев Д. Е., Комбарова П. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***i.zayczew@rambler.ru***

Развитие современной техники требует новых конструкционных материалов, превосходящих по своим прочностным и эксплуатационным свойствам традиционные. Создание новых композитов с включением наночастиц является важным направлением развития наноиндустрии. Исследования последних лет позволяют выделить углеродные нанотрубки (УНТ), обладающие уникальными механическими свойствами, как наиболее перспективные объекты, позволяющие создавать материалы с принципиально новыми свойствами [1-6]. Однако использование нефункционализированных углеродных наноматериалов связано со специфическими затруднениями. Дело в том, что УНМ склонны образовывать агломераты, препятствующие их равномерному распределению в матрице и тем самым не позволяющие достичь желаемой эффективности при модификации полимера. С целью лучшего диспергирования модифицирующей добавки в матрице, а также для формирования ковалентных связей между, проводится функционализация наночастиц [7-8]. Одним из наиболее перспективных методов является прямое фторирование, т.е. обработка газообразным фтором при повышенной температуре. В данной работе использовались УНТ «Таунит-М» модифицированные при давлении фторирующей смеси 0,7 атм, время фторирования – 2 часа.

Наиболее сложным этапом технологии наномодифицирования эпоксидной смолы является введение наночастиц в полимерные связующие. Предварительно УНТ и фторированные УНТ (фУНТ) вводят в эпоксидную матрицу с помощью трехвалковой мельнице «EXAKT 80E» (зазор между валками - 5, 10 мкм). Эффективным и доступным средством диспергирования в вязких олигомерах является обработка ультразвуком. В нашем случае обработка осуществляется на установке ИЛ100 с интенсивность подводимой ультразвуковой энергии 707714 (Н/(м2·с)). В течение 15 минут 200 грамм наномодифицированной эпоксидной смолы BFE-170 с внесенными УНТ диспергируется в охлаждающей ванне.

Измерение размеров частиц осуществлялось методом динамического рассеяния света на анализаторе Nicomp 380 ZLS, который позволяет оценить эффективный размер частиц дисперсной фазы. Поскольку сами УНТ, как и образуемые ими агломераты, не шарообразны, результаты, полученные данным методом, позволяют оценить только качественные изменения дисперсного состава анализируемых суспензий.

Исследованию подверглись образцы, полученные одинаковым методом:

- 0,1% УНТ (суспензия, содержащая 0,1 % мас. углеродных нанотрубок «Таунит М» в эпоксидном мономере BFE-170 растворенном в изопропиловом спирте).

- 0,1% фУНТ (суспензия, содержащая 0,1 % мас. фторированных углеродных нанотрубок «Таунит М» в эпоксидном мономере BFE-170 растворенном в изопропиловом спирте).

Как показывает анализ диаграммы распределения частиц суспензии по эффективным размерам (рис. 1), система с УНТ является полидисперсной. Типичный эффективный размер самых мелких агломератов, по данным анализа на приборе Nicomp 380 ZLS, составляет 418,4 нм. Всего же в размерном интервале, изучаемом на данном приборе, идентифицируется два пика на диаграмме дисперсного состава. Второй пик показывает эффективный размер частиц около 7 мкм. Причем по количеству крупные агломераты преобладают над мелкими. При изучении суспензии с фУНТ диаграмма распределения частиц суспензии по эффективным размерам (рис. 2) является монодисперсной, и эффективный размер лежит в области 900 нм. Таким образом, фторирование углеродных нанотрубок способствует уменьшению общей дисперсности суспензии в эпоксидном связующем. Что позволит более качественно использовать фУНТ в качестве модификаторов реактопластов и других конструкционных материалов.

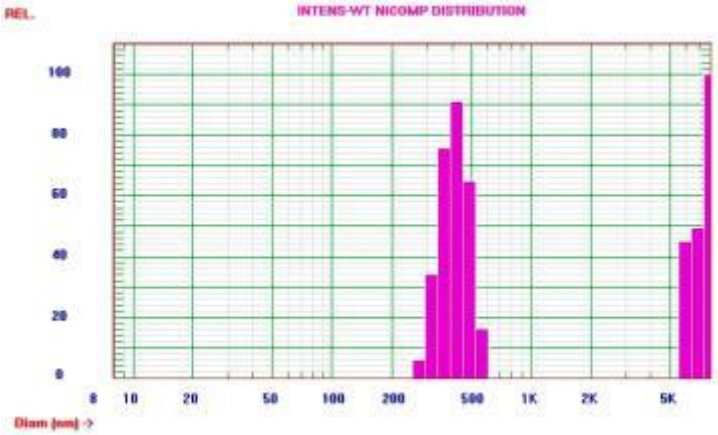



Рис. 1. Распределения частиц УНТ в эпоксидном мономере BFE-170 по эффективным размерам.

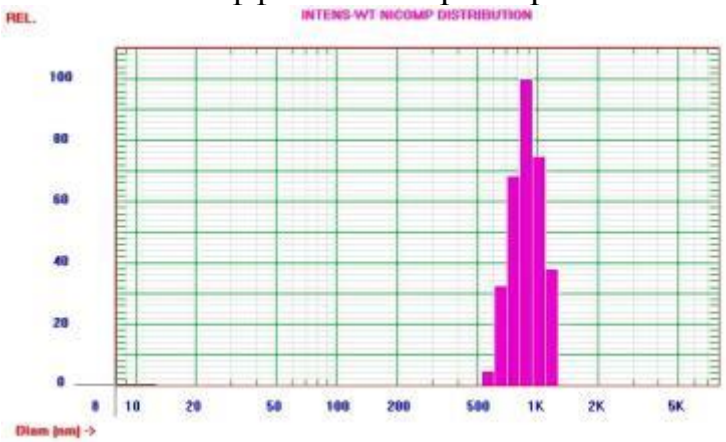



Рис. 2. Распределения частиц УНТ в эпоксидном мономере BFE-170 по эффективным размерам.

На основе проведенного исследования, можно сделать предположение, что фторирование улучшает объёмное распределение фУНТ в полимрной матрице, и как следствие улучшает прочностные характеристики эпоксидной смолы BFE-170.

**Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (2018-2019 гг).*

Список используемых источников.

1. Воробьева, Е. А. Синтез и исследование нанокомпозитов с включением углеродных нанотрубок / Е. А. Воробьева, К. Е. Бачурин, А. В. Макунин, Н. Г. Чеченин // Москва: Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, 2016. – С. 5.

2. Мищенко, С. В. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение / С. В. Мищенко, А. Г. Ткачев // М.:Машиностроение, 2008. – С. 320.

3. Esawi, A. M. Carbon nanotube reinforced composites: potential and current challenges / A. M. Esawi, M. M. Farag // Materials & Design. – 2007. – V. 28. – P. 2394–2401.

4. Wichmann, H. G. Influence of different carbon nanotubes on the mechanical properties of epoxy matrix composites – a comparative study / H. G. Wichmann et al. // Composites Science and Technology. – 2005. – № 65. – P. 2300-2313.

5. Черкасов, В. Д. Влияние волокнистых наполнителей на диссипативные свойства полимерного композиционного материала на основе эпоксидной смолы / В. Д. Черкасов, В. В. Авдонин, Н. С. Аникина // Сборнике трудов конференции, 2017. – С. 12-15.

6. Юдин, В. А. Механические свойства слоистого композитного материала на основе эпоксидной смолы с наполнением из углеткани / В. А. Юдин, В. И. Ивлев, Н. Е. Фомин // Механика композиционных материалов и конструкций, 2016. – С. 192-200.

7. Wanga, Z. S. Effective Functionalization of Carbon Nanotubes for Bisphenol F Epoxy Matrix Composites / H. A. Colorado, Z.-H. Guo, H. Kim, C.-L. Park, H. T. Hahna. // Materials Research. – 2012. – V. 15. – P.510-516.

8. Wang, D. H. Nanocomposites based on vapor-grown carbon nanofibers and an epoxy: Functionalization, preparation and characterization / S. Sihn, A. K. Roy, J.-B. Baek, L.-S. Tan. // Europen Polymer J. – 2010. – V.46. – P.1404-1416.

# КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ*

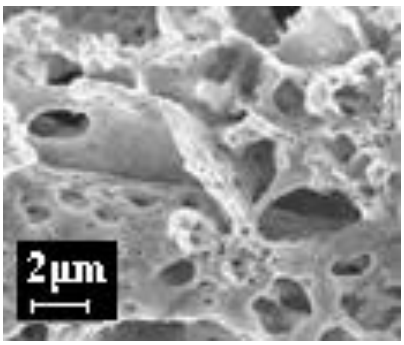
**Буракова Е. А., Неверова М. А., Бесперстова Г. С., Степанов А. М.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***elenburakova@yandex.ru***

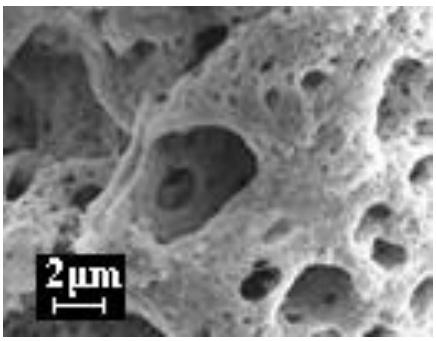
Без катализатора невозможно синтезировать углеродные нанотрубки (УНТ) методом газофазного химического осаждения, т.к. именно частицы катализатора являются центрами формирования и роста наноструктур. Получение эффективного катализатора, позволяющего осуществлять направленный синтез наноструктур (длина, диаметр, структура, степень дефектности и др.), является актуальной задачей. Существует много разных методов получения катализаторов: метод осаждения (в основе которого лежит принцип «зародышеобразования» в процессе формирования фаз при осаждении в щелочной среде) [1], золь-гель метод и метод термического разложения.

Особым вниманием в процессе получения катализатора пользуется метод термического разложения, благодаря простоте реализации. При получении катализаторов синтеза УНТ методом термического разложения в качестве активного компонента обычно используют металлы группы железа, а в качестве носителей MgO, Al2O3, Si2O3 и др. Основной стадией в процессе получения катализатора данным методом является стадия термообработки. В процессе термообработки (термическое разложение, прокаливание) предкатализатора происходит формирование соединения типа MexMeyOz, которое в процессе газофазного химического осаждения (ГФХО) под действием температуры и углеродсодержащей среды способно к трансформации в индивидуальные оксиды различной валентности. От состава катализатора зависит его эффективность и качество синтезируемого на нем наноматериала, поэтому так важно грамотно подбирать состав каталитической системы (компоненты и их содержание).

Данная работа посвящена исследованию Ni/MgO катализатора синтеза УНТ. Целью работы являлось изучение влияния содержания основных компонентов катализатора на его эффективность в процессе ГФХО. На основе [2] можно сделать вывод о том, что при получении Ni/MgO катализатора формируется твердый раствор оксидов никеля и магния. Причем активность полученного катализатора определяется количеством ионов никеля, растворенного в оксиде магния. Задача присутствия магния в данном катализаторе как носителя заключается в недопущении спекания активных частиц.

В работе получали и исследовали два состава Ni/MgO катализатора с соотношением компонентов 9:1 и 5:5. Катализатор получали методом термического разложения предкатализатора при 550 0С в течение 15 минут. Морфология полученных образцов Ni/MgO катализатора представлена на рис.1.



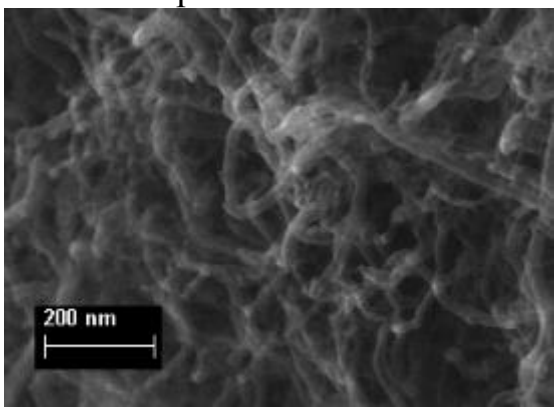



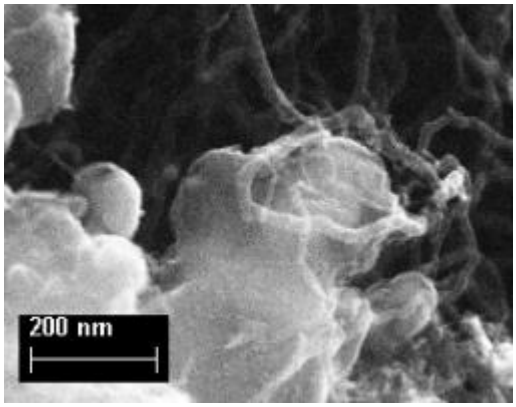

а) б)

Рис.1 Морфология Ni/MgO катализатора составом: а–9:1; б – 5:5.

Оба катализатора весьма пористые системы, но первый состав имеет более однородную поверхность. Для первого состава катализатора характерна четкая кораллобразная структура, которая при уменьшении содержания активного компонента переходит к чешуйчатой.

Применение полученных катализаторов в процессе ГФХО при использовании в качестве углеродсодержащего сырья этилена позволяет синтезировать плотно переплетенные углеродные нанотрубки диаметром 30 нм. Морфологию синтезированного углеродного наноматериала изучали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), микрофотографии представлены на рис.2.




а) б)

Рис. 2 Морфология УНТ, синтезированных на Ni/MgO катализаторе составом: а – 9:1; б -5:5.

В образце наноматериала, синтезированного на Ni/MgO катализаторе (5:5), присутствует большое количество аморфного углерода, при этом УНТ имеют диаметр 10÷50 нм. Применение полученных наноматериалов в качестве углеродных наполнителей функциональных материалов будет осложнено проблемой равномерного введения наноструктур в матрицу. Спутанность наноструктур будет способствовать формированию агломератов в матрице полученного композита, которые будут концентраторами напряжений. Такое модифицирование не позволит улучшить физико-механические характеристики композита. Для применения данного углеродного наноматериала в качестве модификатора необходимо будет найти способ, позволяющий получать устойчивые высококонцентрированные дисперсии, т.к. внесение УНТ в

матрицы различных материалов в сухом виде нерационально. Получить дисперсии данного углеродного наноматериала можно путем ультразвукового диспергирования в присутствии поверхностно-активного вещества (ПАВ). Предварительные исследования диспергирования УНТ, синтезированных на Ni/MgO катализаторе составом 9:1, в водной среде показали перспективность применения в качестве ПАВ диспергатора НФ. Полученные дисперсии на основе диспергатора НФ (концентрация 0,5 % об.) устойчивы в течение 20 суток. Результаты предварительного исследования ультразвукового диспергирования в течение 1 минуты отражены на рис.3

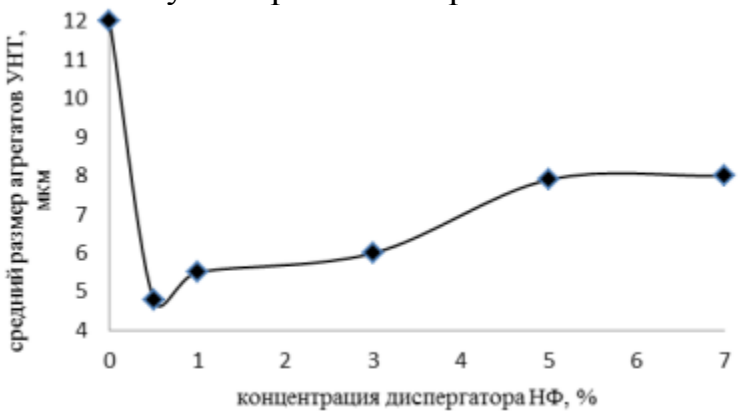



Рис.3. Влияние концентрации дисперганора НФ
на средний размер агломератов УНТ.

Анализ рис.3 показал, что минимальный размер агломератов УНТ (4,7 мкм) формируется путем ультразвукового диспергирования наноматериала в течение 1 минуты в присутствии диспергатора НФ в концентрации 0,5 % .

Предварительно проведенные исследования показывают, что наноматериал, синтезированный на Ni/MgO катализаторе (9:1), после ультразвуковой обработки в присутствии диспергатора НФ может быть применен в качестве модификатора строительных материалов.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-43-680005.*

Список использованной литературы.

1. Талышинский, Р. М., Гаджи-Касумов, В. С. Кинетические аспекты конструирования гетерогенных катализаторов и химических реакторов. 2003. – 116 с.

2. Характер взаимодействия водорода с оксидными медьсодержащими катализаторами. II. Взаимодействие восстановленных водородом хромита меди и оксида меди-цинка с ацетоном и оксидом углерода / О. В. Макарова, Т. М. Юрьева, Л. М. Плясова и др.. // Кинетика и катализ. – 1994. – Т. 35. – № 3. – С. 406 – 411.

# СВЕРХТОНКИЕ ПЛЕНКИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА – ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА САМОСБОРКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ ТИПОВ ПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ

**Данилов Е. А., Самойлов В. М., Находнова А. В., Пономарева Д. В.**
***АО «НИИграфит», Москва***

Одним из перспективных способов получения тонких прозрачных проводящих пленок является применение для их формирования наностержней серебра, отличающихся высокой проводимостью при низком эффективном заполнении поверхности, что позволяет получать прозрачные и полупрозрачные покрытия с удовлетворительными электрофизическими характеристиками [1]. Подобные пленки рассматриваются в качестве возможной альтернативы используемым в промышленности электродам на основе оксида индия-олова (ITO).

Получение серебряных наностержней описано в ряде работ, однако в настоящее время ведутся активные исследования, направленные на улучшение контролируемости процесса с точки зрения морфологии получаемых частиц.

Для синтеза серебряных наностержней использовали получивший широкое распространение в последние годы т.н. полиольный метод получения наночастиц благородных металлов [2]. Метод основан на восстановлении металлов из их солей (как правило, нитратов) многоатомными спиртами (как правило, этиленгликолем при 150ºС) в присутствие стабилизаторов (ПАВ, растворимые полимеры) и инициаторов (обычно хлориды железа, меди, натрия). Варьирование состава и концентрации реагентов позволяет регулировать морфологию получаемых микро- и наночастиц.

Для осуществления контролируемого нанесения свертонких пленок твердых наночастиц с высокой плотностью контактов в последнее время получил распространение метод Ленгмюра-Блоджетт [3]. Изначально предназначенный для получения пленок амфифильных молекул, он может быть легко модифицирован для получения пленок наночастиц, покрытых ПАВ, например, графеновых частиц [4].

Получение пленок Ленгмюра-Блоджетт проводили с использованием ванны Ленгмюра (устройства для нанесения мономолекулярных пленок) LT-111 (MicroTestMachines). Как правило, для получения стабильных пленок используют сжатие молекулярных слоев на поверхности субфазы до состояния двумерной жидкости или двумерного кристалла, о чем судят по появлению соответствующих плато, свидетельствующих о фазовых переходах, на изотерме сжатия поверхности ванны, построенной в координатах молекулярная площадка (средняя величина площади поверхности, приходящаяся на одну молекулу/частицу)-поверхностное давление.

Для получения пленок Ленгмюра-Блоджетт на основе серебряных наностержней использовали суспензии, стабилизированные поливинилпирролидоном и разбавленные этанолом. Перед использованием для нанесения суспензии подвергали центрифугированию в течение 15 мин. при скорости вращения вала 8000 об./мин. для отделения агломератов и крупных частиц. В качестве субфазы использовали бидистиллированную воду, в качестве среды для формирования поверхностного слоя – смесь бидистиллированная вода:этанол 1:1 (по объему). Температура формирования пленок составляла 20,0°С.

Нанесение 4-12-слойных мономолекулярных покрытий позволило получить проводящие пленки с интегральным поверхностным сопротивлением 10-30 Ом/кв. Несмотря на выраженный пик поглощения в желтой области, пленки получались прозрачными или полупрозрачными с коэффициентом пропускания на уровне 70-80%. Сравнение свойств полученных пленок с ранее описанными авторами материалами приведено в таблице 1.

Таблица 1.

Сравнительная характеристика исследованных пленок (усредненные данные).

| Материал покрытия | Количество слоев | Электро-сопротивление, Ом/кв. | Коэффициент пропускания, % |
|---|---|---|---|
| ITO | - | 7-200 | 80-95 |
| Оксид графена (частично восстановленный) | 5 | 600 | 16,9 |
| Малослойные графеновые частицы | 8 | 142 | 88,2 |
| Серебряные наностержни | 8 | 14-30 | ~75 |

Видно, что пленки на основе серебряных наностержней несколько проигрывают по оптическим свойствам графеновым, однако получаемые значения поверхностного электросопротивления вкупе с заметно меньшей толщиной и гибкостью делает их привлекательным материалом прозрачных электродов, превосходящих по свойствам традиционно используемый ITO. Помимо традиционных областей применения (фотоэлементы, светодиоды, сенсорные экраны), перспективно использование подобных покрытий в качестве подложек для TERS-спектроскопии, где сочетание высокого уровня электропроводности, нанометровой толщины и стержневидной морфологии частиц является крайне предпочтительным [5].

Список использованной литературы.

1. Luo, M., Liu, Y., Huang, W., Qiao, W., Zhou, Y., Ye, Y., Chen, L.-S. Towards Flexible Transparent Electrodes Based on Carbon and Metallic Materials // Micromachines. – 2017. – № 8 (1). – P. 12.

2. Yang, C., Tang, Y., Su, Z., Zhang, Z., Fang, C. Preparation of Silver Nanowires via a Rapid, Scalable and Green Pathway // J. Mater. Sci. Technol. – 2015. – № 31 (1). – P. 16-22.

3. Oliveira, Jr. O. N. Langmuir-Blodgett Films - Properties and Possible Applications // Brazilian J. Phys. – 1992. – № 22 (2). – P. 60-69.

4. Danilov, E. A., Samoilov, V. M., Dmitrieva, V. S., Nikolaeva, A. V., Ponomareva, D. V., Timoshchuk, E. I. Manufacturing Transparent Conducting Films Based on Directly Exfoliated Graphene Particles via Langmuir–Blodgett Technique // Inorganic Materials: Applied Research. – 2018. – № 9 (5). – P. 794–802.

5. Tao, A., Kim, F., Hess, C., Goldberger, J., He, R., Sun, Y., Xia, Y., Yang, P. Langmuir−Blodgett Silver Nanowire Monolayers for Molecular Sensing Using Surface-Enhanced Raman Spectroscopy // NANO Lett. – 2003. – № 3 (9). – P. 1229-1233.

# ПРИМЕНЕНИЕ ПЛЕНОЧНЫХ ИК-НАГРЕВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГРАФЕНОМ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

**Парамонова Н. В., Хробак А. В., Иконников В. С.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***natasha_paramonova_68@mail.ru***

Повышение энергоэффективности ЖКХ в основном связано с применением инновационных технологий энергосбережения в сфере потребления тепловой энергии. Жилые дома построенные по новым проектам в значительной степени соответствуют всем нормам энергоэффективности и в ряде случаев не требуют реализации энергосберегающих мероприятий. В тоже время типовые панельные дома (рис. 1) построенные по проектам 70-80 гг.. прошлого столетия и находящиеся в эксплуатации в наибольшей степени нуждаются в модернизации систем отопления.

Рис. 1. Панельный жилой дом.

Как правило их теплоснабжение реализовано от центральной системы отопления и для регулирования температурного режима используются гидроэлеваторы или группа гидроэливаторов в зависимости от числа подъездов в здании. Температурный режим подаваемого теплоносителя задает теплоснабжающая организация в соответствии с температурой окружающей среды по существующим нормативам. Это приводит к тому, что в рамках одного здания может наблюдаться неравномерность температурного режима по квартирам в зависимости от верхнего или нижнего «розлива» теплоносителя. С учетом не герметичности панельных швов, что видно на термограмме (рис. 2) и оконных проемов в квартирах возможен температурный дискомфорт - с падением температуры до значений 16-15 °С, что является критичным значением и приводит к образованию конденсата на стенах и последующему возникновению плесени.

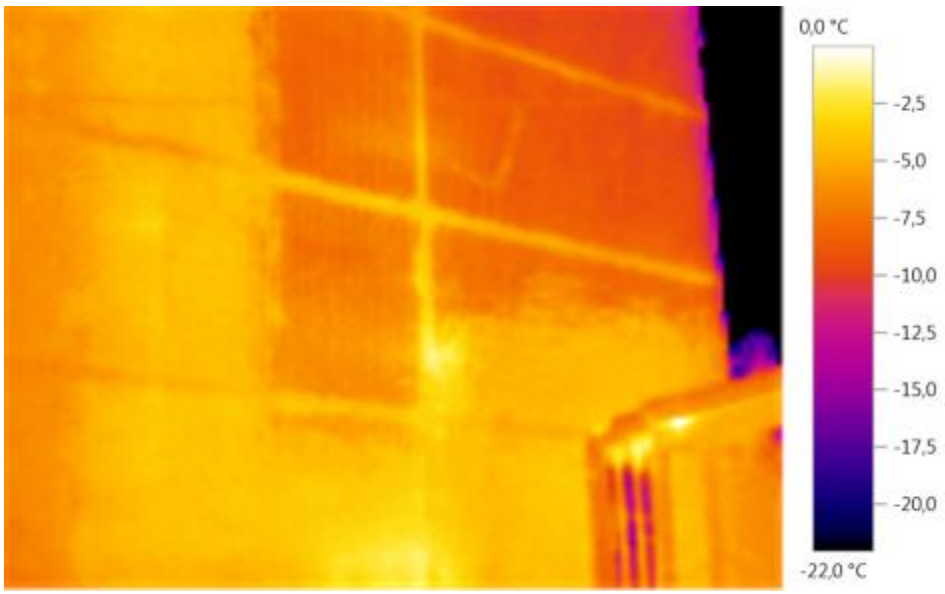


Рис. 2. Термограмма панельного жилого дома.

Решение сложной проблемы улучшения температурного режима возможно в случае применения пленочных ИК-нагревателей – монтаж которых рационально осуществить на потолке, что обеспечит равномерный прогрев и комфортные условия. Дополнительно возможно установить пленочный нагреватель в месте возникновение конденсата, с целью увода температуры стены от температуры точки «росы». Таким образом задача ИК-нагревателя не полный обогрев помещения, что является дорогостоящим и не рациональным мероприятием, а компенсация температурного режима до комфортного значения в периоды нахождения жильцов в квартирах. При этом удельная мощность пленочных ИК-нагревателей используемых для этих целей может находится на уровне 20-40 Вт/м2. С учетом по секционного регулирования и автоматизированных датчиков присутствия затраты электроэнергии могут не превышать 2-4 кВт в сутки.

Сложность применения стандартных пленок с ИК-излучением затруднено в связи с необходимости специализированного монтажа и не приспособленностью под дальнейшую декоративную отделку. В этом отношение пленка с эффектом ИК- излучения должна бать не большой толщины до 1-2 мм. Тепловыделения в полимерах возможны при наличие в них углеродных наноструктур [1]. С целью получения тонкопленочного ИК – нагревателя следует использовать фторопласты, модифицированные графеном [2]. Полученные пленки под действием электрического тока нагреваются и излучают ИК волны [3]. На рис.3 представлен рабочий режим ИК нагревателя при подаче на него постоянного напряжения (24 В).

Рис. 2. Пленочный ИК-нагреватель.

Таким образом, применение пленочных ИК-нагревателей может улучшить температурный режим в помещениях при условии правильной установки и автоматического регулирования тепловыделений. Для получения ИК-нагревателей рационально использовать фторопластовые полимеры, которые модифицируются графеном.

Список используемых источников.

1. Щегольков, А. В. Электро и теплофизические характеристики электрического теплоаккумулирующего нагревателя / А. В. Щегольков, А. С. Юдин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19. – № 3. – С. 527-531.

2. Щегольков, А. В. Влияние графеноподобных структур на эффект саморегулирования температуры в электропроводящем полимерном материале / А. В. Щегольков, Н. В Парамонова, А. В. Хробак, А. В. Щегольков, А. Г. Ткачев // Сильно коррелированные двумерные системы: от теории к практике: тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием.. – 2018. – С. 615.

3. Щегольков, А. В. ИК нагреватель на основе фторопласта, модифицированного углеродными нанотрубками/ А. В. Щегольков, А. В. Щегольков, Н. В. Парамонова, В. С. Иконников // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы IX Международной научно-инновационной молодёжной конференции. – 2017. – С. 216-217.

# ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО ХЛОРОПРЕНОВОГО КАУЧУКА С ЭФФЕКТОМ САМОРЕГУЛИРУЕМОГО ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ

**Ягубов В. С., Щегольков А. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***vitya-y@mail.ru***

Развитие инновационных технологий в промышленности, потребовало создания современной элементной базы, в качестве основы производственного процесса. Особенно это касается тепловых процессов, в рамках которых, важное значение имеют технические подходы, связанные с подводом тепловой энергии. Существуют принципиально разные технические приемы для подвода тепловой энергии. Это могут быть системы, основанные на паропроводах, водяных теплообменниках, а так же системы электронагрева. Системы электронагрева могут быть реализованы на основе СВЧ-устройств, индукторах, электронагревательных кабелях, тэнах и т.д. Отличительной особенностью систем электронагрева является компактность и возможность регулирования мощности в широком диапазоне, что является результатом реализации автоматизированных систем управления. Сдерживающим фактором применения систем электронагрева, является сложность конфигурации поверхности теплообмена, что приводит к тому, что системы электронагрева можно отнести к локальным элементам обогрева (подвода тепловой энергии) с высокой удельной мощностью. Производимые на сегодняшний момент саморегулируемые электрические кабели позволяют обеспечить подвод теплового потока к большим площадям технологического оборудования без применения систем автоматического регулирования электрофизических параметров. Однако, температурный режим всегда строго определен и его значение, как правило, не превышает 100 ºС, что ограничивает применение представленных нагревателей в условиях требующих более высокую или низкую температуру.

В связи с этим актуальной задачей являются разработка электронагревателей [1-3], способных стабилизировать тепловыделение на разных температурных диапазонах [2], которые обладают эффективной поверхностью теплообмена.

В качестве основы для нагревательных элементов, использовали хлоропреновый каучук «Baypren 611» (Германия). Хлоропреновый каучук представляет собой эластичный материал светло-желтого цвета и является диэлектриком. Многие известные нагревательные элементы изготавливают на основе электропроводящих полимеров. В связи с этим, хлоропреновый каучук модифицировали многослойными углеродными нанотрубками (МУНТ) серии «Таунит-М» (ООО «НаноТехЦентр») (Тамбов, Россия). Композит для нагревателя получали по растворной технологии. Первый раствор содержал

хлоропреновый каучук в этилацетате. Приготовление второго раствора заключалось в получении стабильной дисперсии МУНТ в этилацетате. После чего два полученных раствора смешивали между собой, получая готовый наномодифициорванный электропроводящий композит.

В качестве примера работоспособности нагревателя на основе хлоропренового каучука, на стеклянную цилиндрическую емкость (V=0,0002 м3) наносили полоску электропроводящего композита с хлоропреновым каучуком содержащим 3 масс.% МУНТ «Таунит-М». Для подключения к композиту электрического тока к его торцам, жидкой фазой хлоропренового каучука с МУНТ, приклеивали электрические контакты, изготовленные из графлекса, производимого НПО «УНИХИМТЕК» (Подольск, Россия).

В цилиндрическую емкость наливали 200 мл. дистиллированной воды. К контактам нагревателя подводили электрическое постоянное напряжение с помощью лабораторного автотрансформатора через диодный мост (рис.1). Температуру измеряли с помощью термопары, подключенной к вторичному измерительному преобразователю марки «2ТРМ1» производства ПО «ОВЕН» (Москва, Россия).

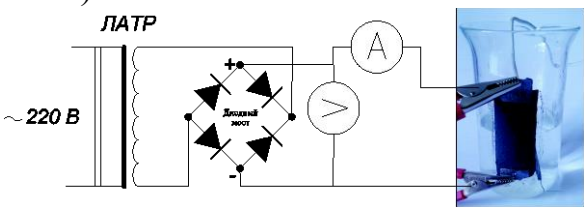



Рис. 1. Схема подключения нагревательного элемента нанесенного на стеклянный лабораторный стакан.

С помощью двух мультиметров АКТАКОМ 1199 и WH 5000, подключенных к персональному компьютеру построили зависимость (рис.2) электрического тока от времени.

Рис. 2. Зависимость значения силы тока от времени при разных значения напряжения постоянного тока.

При разных значениях электрического напряжения, питающего нагреватель, наблюдалась стабилизация потребляемого тока. Полученные данные

указывают на то, что наномодифицированный композит на основе хлоропренового каучука обладает эффектом саморегулирования тепловыделения с постоянной температурой в установившимся режиме. Представленное обстоятельство позволяет не использовать дополнительные регуляторы и измерительные преобразователи при контроле за температурой нагревателя.

С помощью тепловизора Testo 875 измеряли температурное поле нагревательного элемента подключенного к сети переменного тока с напряжением 12 В. (рис.3).

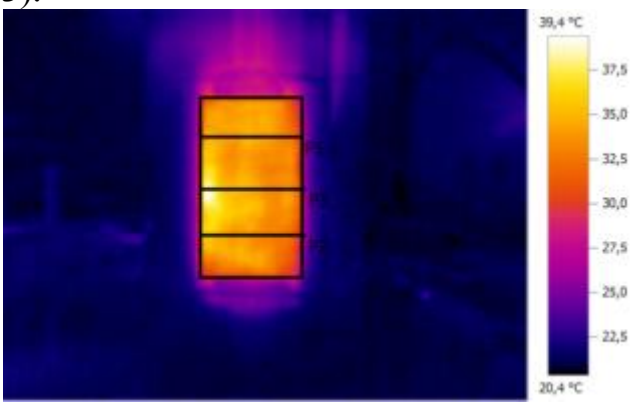



Рис. 3. Термограмма на поверхности с нагревателем
на основе наномодифициорванного электропроводящего композита.

Полученные данные подтверждают, что максимальная температура нагревателя стабилизируется на уровне 39,4 ºС. Однако, следует отметить, что температурное поле на поверхности цилиндра не равномерное. Это связано с процессом конвективного теплообмена в жидкости и цилиндрической формой поверхности теплообмена.

Список используемых источников.

1. Щегольков, А. В. Электро и теплофизические характеристики электрического теплоаккумулирующего нагревателя / А. В. Щегольков, А. С. Юдин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19. – № 3. – С. 527-531.

2. Щегольков, А. В. Влияние графеноподобных структур на эффект саморегулирования температуры в электропроводящем полимерном материале / А. В. Щегольков, Н. В Парамонова, А. В. Хробак, А. В. Щегольков, А. Г. Ткачев // Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием. Сильно коррелированные двумерные системы: от теории к практике, 2018. – С. 615.

3. Щегольков, А. В. ИК нагреватель на основе фторопласта, модифицированного углеродными нанотрубками / А. В. Щегольков, А. В. Щегольков, Н. В. Парамонова, В. С. Иконников // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы IX Международной научно-инновационной молодёжной конференции, 2017. – С. 216-217.

# ВЛИЯНИЕ ФТОРИРОВАНИЯ И ДИСПЕРСНОСТИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО BFE-170*

**Ящишин Н. Ю., Блохин А. Н., Сухоруков А. К., Зайцев И. А., Кобзев Д. Е., Комбарова П. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***inikola1997@mail.ru***

Современной тенденцией в промышленности стала замена изделий из металлов изделиями, выполненными из полимерных и композиционных материалов. Полимеры благодаря своим уникальным характеристикам способны принести пользу в различных сферах производства. Поэтому данное направление является весьма перспективным.

Благодаря высокой удельной поверхности и превосходным механическим характеристикам углеродные наноматериалы имеют перспективы широкого применения в составе облегченных полимерных композитов [1]. Использование немодифицированных и функцианализированных УНТ в качестве наполнителей полимерных композитов на основе эпоксидной смолы приводит к существенному, по сравнению с ненаполненными композитами, возрастанию прочности на разрыв и на изгиб[2].

В данной работе определялось влияние фторирования и дисперсности УНТ на прочностные характеристики эпоксидного полимера на основе BFE-170 и отвердителя УП-606/2. Для чего были изготовлены образцы для проведения прочностных испытаний по следующей технологии:

Подготовка заливочных форм (чистка, смазывание восковым разделителем, скручивание). Далее взвешивание на лабораторных весах эпоксидной смолы и отвердителя. После взвешивания происходит размешивание смеси для образцов в пропорциях 1 гр. отвердителя на 50гр эпоксидной смолы. Смешивание происходит таким образом, чтобы в смеси было минимальное количество пузырьков воздуха. Для того чтобы образец извлечь из формы происходит смазывание тонким слоем восковым разделителем. После форма проливается небольшим количеством смеси. Для удаления воздушных полостей проводилось первичное вакуумирование формы и контейнера со смолой в вакуумно-сушильный шкафу. Далее происходит заливка смеси из смолы и отвердителя в формы. Позже протекает вторичное вакуумирование формы со смолой в вакуумно-сушильный шкафу (после полного удаления пузырьков воздуха завершаем вакуумирование). Чтобы образцы выдержать их оставляют при температуре t=80 °C на 3 часа. В конце процесса изготовления, после полной полимеризации, извлекаем образцы из формы. Перед испытанием образцы шлифуются с помощью наждачной бумаги до необходимой геометрии.

Измерения прочностных характеристик проводились на универсальной испытательной машине Testometric M350-5AT. Исходя из возможностей данного оборудованию наши образцы можно исследовать на изгиб и разрыв[4,5].

После проведенных экспериментов выяснилось, что использование углеродных нанотрубок приводит к существенному возрастанию механических ха-

рактеристик эпоксидных композитов, но исходные УНТ уступают фторированным (см. Таблица 1). Наибольший эффект достигается при содержании 0,1 масс. % фторированных УНТ в составе композита: прочность на разрыв возрастает на 50%, модуль Юнга при растяжении возрастает на 74%, прочность на изгиб возрастает на 60%, модуль Юнга при изгибе возрастает на 66%.

Таблица 1.

Механические свойства эпоксидных композитов.

| Концентрация введенных в композит УНТ, массовый % | Прочность на разрыв, МПа | Модуль Юнга, МПа | Разрывное удлинение, % | Прочность на изгиб, МПа | Модуль Юнга, МПа |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 (ненаполненный композит) | 18.2±1.09 | 849±51 | 4.3±0.22 | 32±1.60 | 933±47 |
| 0,01% исходных УНТ | 20±1.1 | 1077±44 | 4.2±0.2 | 42±1.7 | 1100±55 |
| 0,1% исходных УНТ (~3 мкм) | 24±1.2 | 1137±46 | 4.9±0.2 | 45±1.8 | 1251±50 |
| 0,5% исходных УНТ | 23±1.1 | 1245±50 | 4±0.16 | 43±1.7 | 1290±52 |
| 0,01% фторированныхУНТ | 22±0.88 | 1352±54 | 4±0.15 | 45±1.75 | 1187±48 |
| 0,1% фторированныхУНТ (~0,9 мкм) | 27±1.05 | 1479±56 | 3.5±0.14 | 51±2.0 | 1550±59 |
| 0,5% фторированныхУНТ | 25±1.0 | 1588±65 | 3.2±0.13 | 48±1.8 | 1611±61 |

Фторированные УНТ заметно эффективнее, чем исходные, с позиций упрочняющего эффекта, вероятнее, при введении в полимерную матрицу модифицированные трубки лучшим образом встраиваются в структуру полимерной матрицы и более полно реализуют свой потенциал. Также прослеживается тенденция положительного влияния дисперсности на механические свойства материала.

**Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (2018-2019 гг).*

Список используемой литературы.

1. Блохин, А. Н. Влияние нанодисперсных частиц на прочностные свойства полимерных матриц / А. Н. Блохин, В. П. Таров, М. С. Толстых // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18. – № 3. – С. 737-741.

2. Ткачев, А. Г. Упрочнение эпоксидных материалов фторированными углеродными нанотрубками / А. Г. Ткачев, А. П. Харитонов, Г. В. Симбирцева, Л. Н Харитонова., А. Н. Блохин, Т. П. Дьячкова, В. Н. Дружинина, А. В. Максимкин, Д. И. Чуков, В. В. Чердынцев // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2.

3. ГОСТ 22349–77. Смолы отверждающиеся литьевые. Изготовление образцов для испытаний.

4. ГОСТ 11262–80. Пластмассы. Метод испытания на растяжение.

5. ГОСТ 4651–82. Пластмассы. Метод испытания на сжатие.

# О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ВЛИЯНИЯ ВОДЫ НА СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕМБРАНАХ

**Родионов Д. А., Лазарев С. И., Головин Ю. М., Хорохорина И. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Объектом исследования служили композиционные ацетатцеллюлозные мембраны [1]. Рентгеноспектральные измерения выполнялись на дифрактометре ДРОН-3 в автоматическом режиме, поддерживаемом программным пакетом Lgraf-2 и Difwin с записью на ПК в области больших углов 2θ от 50 - 550 в геометрии на отражение с стороны подложки. Особенностью рентгеновских спектров является однотипность положения и существенное перераспределение интенсивности рефлексов в сухих и водонасыщенных образцах в интервале углов рассеяния 2θ от 70-350 и проявление диффузного гало в районе 2θ= 350-550 для водонасыщенных образцов. Данные, при их сравнении с литературными, указывают на однотипный набор дифракционных рефлексов при углах 2θ = 17.500; 22.300; 25.600 для обоих образцов мембран, что соотносится с кристаллическими рефлексами пленок, сформированными из полиамидных волокон (нейлон). Температура плавления кристаллитов равная 2550-2600С свидетельствует о структуре алифатического полиамида (ПА-66) [2]. Для количественной интерпретации наблюдаемых изменений был выполнен полно профильный анализ. Кривые интенсивности рентгеновских спектров мембран (УАМ-50 и УАМ-100), исправленные на фоновое рассеяние и приведенные к нулевой базовой линии, были смоделированы четырьмя функциями Гаусса в интервале углов 2θ =70-350 с помощью пакета программ Origin 7.5 при факторе недостоверности R=2%. Результаты выделения кристаллических и аморфных фаз сведены в таблицу 1.

Как видно из таблицы 1, анализ брегговских периодов d (hkl) образцов пленок показывает, что вода незначительно, в пределах 1%, деформирует кристаллическую решетку. Однако, основное влияние воды проявляется в изменениях интенсивностей рефлексов рентгеновского рассеяния. Известно [2], что в структуре полиамида (ПА 66) макромолекулы находятся в полностью вытянутой плоской зигзагообразной конформации, и соединены между собой водородными связями с атомом кислорода карбонильной группы. При этом, они находятся в одной кристаллографической плоскости с атомом водорода амидной группы другой макромолекулы полиамида. Это жесткое образование формируется в кристаллографической ячейке по направлению оси (а) в виде плоских лент, а главная ось макромолекулы направлена вдоль оси (с) (с-текстура). Ленты укладываются в кристаллорафической плоскости (0k0), удерживаемые Ван-дер-Ваальсовыми силами. Поэтому, вода, проникая в межкристаллографические (hk0) области кристаллитов, увеличивает сегментальную подвижность макромолекул. Нормировка интегральных интенсивностей пиков на общую интенсивность рентгеновского рассеяния в ин-

тервале углов 2θ=70-350 показывает (таблица 1), что плотность рассеивающих атомов в структуре водонасыщенного образца УАМ-50 в кристаллографических плоскостях (010) и (110) для 2θ = 25.60 °, в (100) для 2θ = 22.30° и в (002) для 2θ = 17.500 увеличивается на 35%-41%. Отмеченные обстоятельства свидетельствуют о конформационных изменениях макромолекул в кристаллографических плоскостях ячейки полиамида.

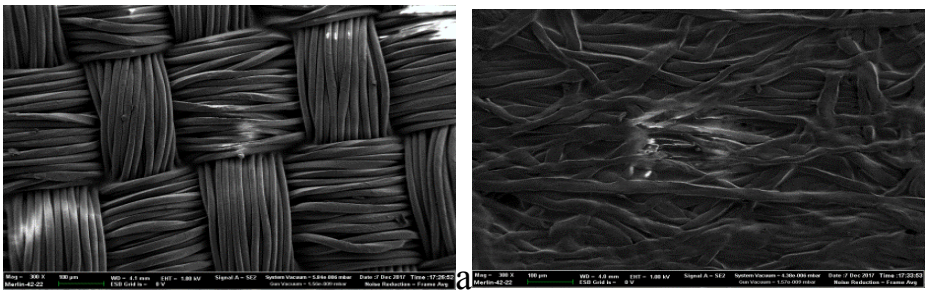
Таблица 1.

Микроскопические параметры воздушносухих
и водонасыщенных образцов мембран УАМ-50 и УАМ-100.

| Тип мембраны | Параметры образцов | Воздушносухой образец | | | | Водонасыщенный образец | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2θ1 | 2θ2 | 2θ3 | 2θ4 | 2θ1 | 2θ2 | 2θ3 | 2θ4 |
| УАМ -50 | 2θ, эксперимент | 17,230 | 22,240 | 25,410 | | 17,640 | 22,6 0 | 25,910 | |
| | брегговский период d, Å, эксперимент | 5,72 | 4,44 | 3,9 | | 5,68 | 4,41 | 3,86 | |
| | 2θ, 0 расчет | 16,830 | 22,410 | 25,610 | 21,370 | 16,920 | 22,340 | 25,590 | 20,420 |
| | брегговский период d, Å, расчет | 5,85 | 4,41 | 3,86 | 4,62 | 5,82 | 4,42 | 3,86 | 4,83 |
| | Iприведенное | 0,1 | 0.07 | 0,13 | 0.7 | 0,16 | 0.12 | 0,2 | 0,52 |
| | Lокр, Å, | 41,0 | 48,2 | 41,7 | 8,7 | 35,1 | 41,7 | 38,6 | 10,1 |
| УАМ - 100 | 2θ, эксперимент | 17,350 | 22,60 | 25,910 | | 17,530 | 22,440 | 25,940 | |
| | брегговский период d, Å, эксперимент | 5,59 | 4,37 | 3,82 | | 5,62 | 4,39 | 3,81 | |
| | 2θ, 0 расчет | 17,340 | 22,530 | 25,770 | 21,60 | 17,10 | 22,180 | 25,970 | 23,560 |
| | брегговский период d, Å, расчет | 5,68 | 4,38 | 3,85 | 4,56 | 5,76 | 4,45 | 3,81 | 4,19 |
| | Iприведенное | 0,08 | 0.1 | 0,21 | 0.61 | 0,2 | 0.09 | 0,12 | 0,59 |
| | Lокр, Å, | 67,0 | 70,1 | 62,3 | 9,3 | 30,8 | 53,2 | 59,3 | 14,0 |

В структуре водонасыщенного образца мембраны УАМ-100 увеличение плотности атомов наблюдается лишь в кристаллографической плоскости (002 ) для 2θ = 17.35 0 на 60% , а в плоскости (100) для 2θ = 22.660 уменьшается на 10% и на 43% - в плоскостях (010), (110) для 2θ = 25.940. Т.е. структурирование макромолекул полиамида в водонасыщенном образце мембраны УАМ-100 происходит в направление оси (с). Таким образом, с позиции структурной организации полиамида (ПА 66) сорбированная вода, разрушая межмолекулярные водородные связи, изменяет конформацию макромолекул полиамида в кристаллографических плоскостях. Вследствие чего дефекты выталкиваются в межкристаллитную аморфную фазу и, как следствие, изме-

няется размер (Lокр). Из таблицы 1 видно, что размеры (Lокр)) для водонасыщенного образца УАМ-50 в среднем уменьшаются на 10% во всех направлениях кристаллической ячейки. Напротив, в образце УАМ-100 размеры (Lокр)) уменьшаются на 54% в перпендикулярном направлении кристаллографических плоскостей (002) и незначительно в (010), (110). Подобный факт анизотропного изменения кристаллитов может быть интерпретирован лишь различными способами формирования (подложки) дренажного слоя пленки из полиамидных нитей. Для реального понимания вопроса способы формирования полиамидной подложки были выполнены эксперименты на спектрометр jasco ft/ir-6200, с водонасыщенными образцами ультрафильтрационных мембран УАМ-50 и УАМ-100. На электронных снимках структуры полиамида приведенные на рисунке 1 видно, что водонасыщении вызывает явные морфологические изменения в образцах ультрафильтрационных мембран УАМ-50 (рис.1а) и УАМ-100 (рис.1б).



а) б)

Рис. 1. Электронные снимки подложки мембран а – подложка из ПА 66 для УАМ-50, б – подложка из ПА 66 для УАМ-100.

Список используемых источников.

1. Мембраны, фильтрующие элементы, мембранные технологии. Каталог. Владимир: ЗАО НТЦ «Владипор», 2004. - 22 с.

2. Crystallization of Polyamide 66 Copolymers at High Supercoolings Xiaoping Guan University of T ennessee – Knoxville Recommended Citation Guan, Xiaoping, «Crystallization of P olyamide 66 Copolymers at High Supercoolings». PhD diss., U niversity of T ennessee, 2004. http://trace.tennessee.edu/utk_graddiss/2272 иностранцев.

# СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНИЧЕСКИХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ И ОКИСЛЕНИИ

**Хан Ю. А., Титова Г. А., Чапаксов Н. А.,**
**Столяров Р. А., Дьячкова Т. П., Першин В. Ф.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
**khantermail@gmail.com**

Углеродные нанотрубки (УНТ) с конической формой графеновых слоев, морфология которых в научных источниках сравнивается со «стопкой чашек» или «рыбьей костью», имеют на своей поверхности многочисленные дефекты в виде выступающих sp3-гибридизованных атомов углерода. В связи с этим они обладают более высокой реакционной способностью при окислении и в заметной степени подвергаются деструктивным изменениям, например при обработке в кипящей концентрированной азотной кислоте, что выражается, главным образом, в дроблении на более короткие фрагменты. В конечном счете, можно получить материал, обладающий чрезвычайно высокой удельной поверхностью и представляющий собой углеродные наноконусы, которые имеют перспективы широкого применения в солнечных батареях и электрохимических источниках тока.

Целью настоящего исследования явилось изучение возможности получения коротких фрагментов конических углеродных нанотрубок при механической обработке, окислении концентрированной азотной кислотой и при сочетании этих двух методов.

В качестве исходных использованы УНТ «Таунит», полученные каталитическим пиролизом пропан-бутановой смеси на Ni/Mg-катализаторе. На их основе получены образцы материалов после: 1) размола в планетарной мельнице (“Pulverizette-5”); 2) очистки и размола; 3) окисления в концентрированной азотной кислоте при 1000С в течение 5 часов; 4) размола и окисления в концетрированной азотной кислоте. Структура графеновых слоев этих материалов оценивалась на основании анализа спектров комбинационного рассеяния, полученных на приборе DXR Raman Microscope (Thermo Scientific) при длине волны возбуждающего лазера, равной 532 нм. Эффективность фрагментации поверхности УНТ также определялась по значению эффективных размеров частиц дисперсной фазы в их водных суспензиях методом динамического рассеяния света на приборе Nicomp 308 ZLS.

На рамановских спектрах всех изученных материалов (рис. 1) присутствуют характерные пики D (~1350 см-1) и G (~1550 см-1), отвечающие за наличие sp3- и sp2-гибридизированных атомов углерода соответственно. Соотношение относительных интенсивностей данных пиков D/G является косвенным показателем степени дефектности углеродного материала.

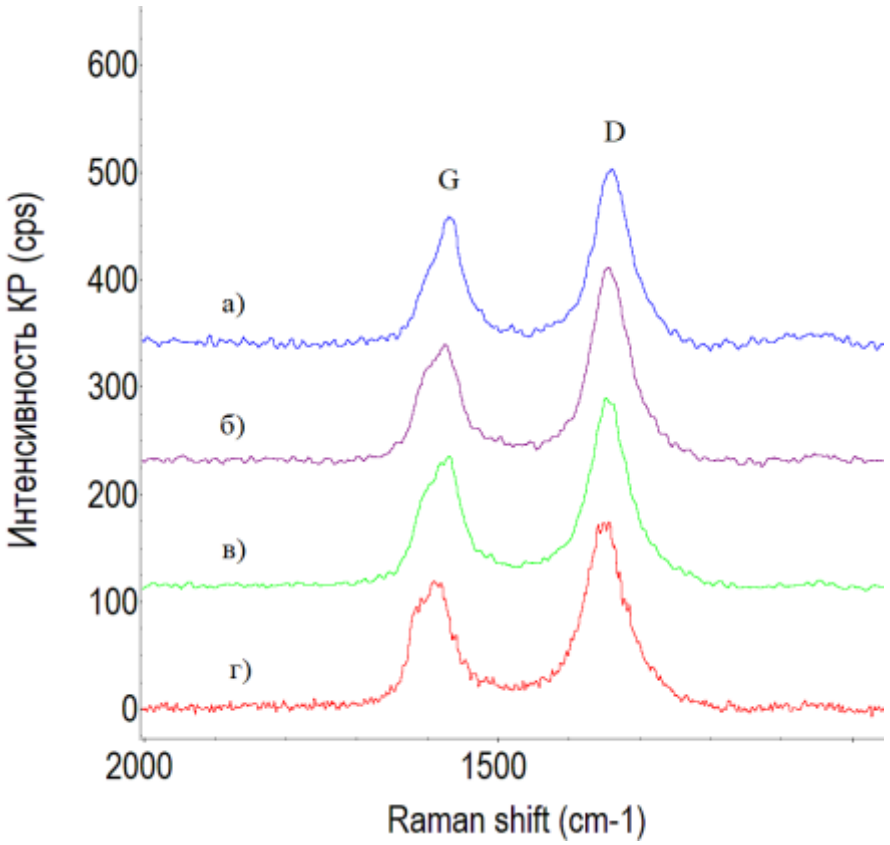



Рис. 1. Спектры КР УНТ "Таунит": а) исходных; б) после очистки и размола в планетарной мельнице; в) после окисления в азотной кислоте; г) после размола и окисления в азотной кислоте.

Необходимо отметить, что уже для исходных УНТ этот показатель довольно высок (заметно выше единицы), что обусловлено указанными выше особенностями структуры (табл. 1). Очистка и размол не приводят к существенным изменениям D/G. При окислении в азотной кислоте наблюдается увеличение показателя дефектности, а при предварительном размоле УНТ в планетарной мельнице последующая обработка УНТ в HNO3 приводит к еще более глубоким изменениям. При этом различие по показателю соотношения D/G между окисленными УНТ, которые не подвергались механической обработке и были предварительно размолоты в планетарной мельнице, не столь велико и составляет всего 0,03. Следовательно, с целью создания дополнительных вакансий и дефектов на поверхности УНТ более эффективным способом является окисление. Обработка в планетарной мельнице не оказывает деструктивного влияния на графеновые слои УНТ.

Таблица 1.

Рассчитанные по данным КР-спектроскопии показатели D/G для УНТ «Таунит», подвергшихся механической и химической обработке.

| Образец | D/G | Образец | D/G |
|---|---|---|---|
| УНТ исходные | 1,38 | УНТ (окисление) | 1,45 |
| УНТ (очистка + размол) | 1,32 | УНТ (размол + окисление) | 1,48 |

Визуальные наблюдения показывают также, что размол не способствует гидрофилизации УНТ. Исходные и подвергшиеся механической обработке

УНТ лишь в малой степени диспергируются в воде. Основная масса материала образует осадок. Окисление в HNO3, напротив способствует получению устойчивых коллоидных водных дисперсий на их основе.

Измерения средних эффективных размеров частиц в водных суспензиях показали (табл. 2), что окисление действительно способствует дезагломерации УНТ, в отличие от механической обработки.

Таблица 2.

Эффективные размеры (D) преобладающей фракции (в процентах показана ее доля от общего количества частиц) дисперсной фазы в водных суспензиях УНТ «Таунит», подвергшихся механической и химической обработке (по данным Nicomp 308ZLS).

| Образец | D, нм (%) | Образец | D, нм (%) |
|---|---|---|---|
| УНТ исходные | 66 (97) | УНТ (окисление) | 57 (97) |
| УНТ (очистка + размол) | 165 (92) | УНТ (размол +окисление) | 55 (97) |

Учитывая, что представленные в табл. 2 данные показывают эффективные размеры только той части материала, которая распределилась в воде, размеры агломератов исходных и подвергшихся механической обработке нанотрубок на порядки выше.

Окисленные УНТ образуют стабильную водную дисперсию, осадка материала практически нет. Следовательно, размеры частиц дисперсной фазы соответствуют 55-57 нм. Более крупные агломераты практически отсутствуют. Полученные данные позволяют сделать предположение о том, что УНТ при окислении дробятся на короткие фрагменты. Учитывая, что диаметр УНТ данного типа составляет 20-50 нм отдельные субъединицы дисперсной фазы могут представлять собой наноконусы, состоящие из нескольких графеновых слоев с большим количеством дефектов и вакансий.

Полученный тип материала планируется исследовать методами электронной микроскопии (сканирующей и просвечивающей) и апробировать эффективность применения в составе чувствительных элементов солнечных батарей и электродных материалов.

# ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ НАНОФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕМБРАН ОПМН-П И ОФАМ-К

**Рыжкин В. Ю., Лазарев С. И., Головин Ю. М., Ковалев С. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Целью работы явилась разработка и исследование автоматизированного метода расчета морфологии микроструктурных неоднородностей селективно-проницаемой поверхности нанофильтрационных мембран ОПМН-П и ОФАМ-К. Объектом исследования служили нанофильтрационные мембраны ОФАМ-К и ОПМН-П, характеристики которых представлены в таблице 1 [1, 2].

Таблица 1.

Рабочие характеристики мембран ОФАМ-К и ОПМН-П.

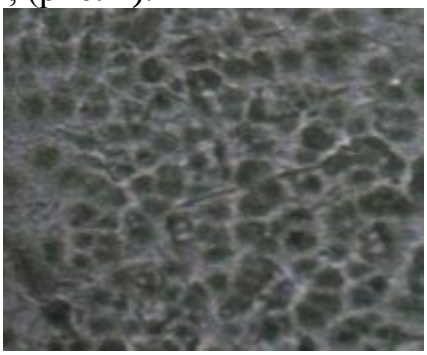
| Рабочие характеристики | Тип мембраны | |
|---|---|---|
| | ОФАМ-К | ОПМН-П |
| Рабочее давление, МПа | 3,0 | 1,6 |
| Минимальная производительность по воде, при Т = 298 К, м3/м2·с | 2,22·10–5 | 2,77·10–5 |
| Коэффициент задержания, не менее | 0,15 % NaCl | |
| | 0,95 | 0,55 |
| Рабочий диапазон, pH | 2–12 | |
| Максимальная температура, К | 323 | |

Мембрана ОФАМ-К - полупроницаемая нанофильтрационная композитная мембрана среднего давления, состоящая из поверхностного (селективно-проницаемого) слоя и пористой подложки. Мембрана ОПМН-П – полупроницаемая нанофильтрационная композитная полимерная пленка, состоящая из поверхностного (селективно-проницаемого) слоя и пористой подложки.

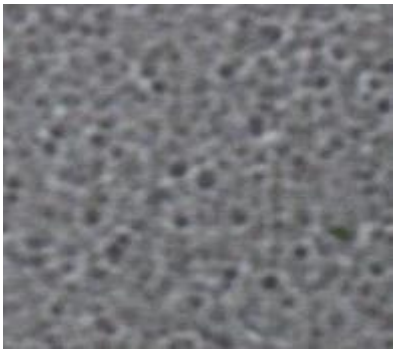
Рассчитываемый коэффициент засоренности мембран влияет на прогнозирование и определяет срок эффективной работы нанофильтрационных мембран, элементов и установок при баромембранном и электробаромембранном разделении, концентрировании и очистки промышленных растворов и стоков. Расчет производили при помощи программы, изучающей описание основных функций imaging processing toolbox. Для этого в программном пакете Matlab 2017 были использованы необходимые инструменты для осуществления достижения поставленной задачи, а также программный комплекс [3].Метод расчета состоял в следующем. Полученные изображения нанофильтрационных ОПМН-П и ОФАМ-К подвергались оптическому исследованию (визуализации визуализации поверхности с помощью оптического микроскопа Axio Observer Z1 (Производитель Carl Zeiss)) с необходимым увеличением. Проводилась процедура фиксации изображения с помощью программы анализа изображений Axiovision.

Выделенные участки нанофильтрационных мембран ОПМН-П и ОФАМ-К площадью 100 Х 100 мкм обрабатывались при помощи Matlab 2017, таким образом, что были получены основные параметры, такие как средний диаметр засоренности (микроструктурной неоднородности и коэффициент засоренности мембран). При обработке больших массивов данных по средним диаметрам засоренности и коэффициенту засоренности мембран использовался компьютер, который позволил снизить и рассчитать погрешность выполненных измерений при помощи стандартных методов математической статистики.

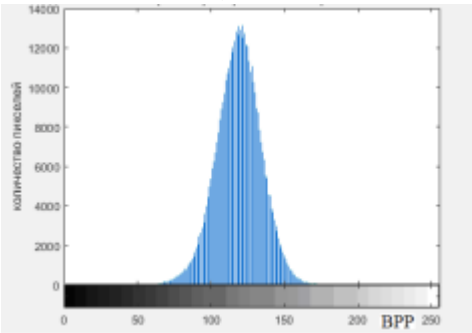
Представим пример обработки изображения мембран ОПМН-П, ОФАМ-К, (рис. 1).



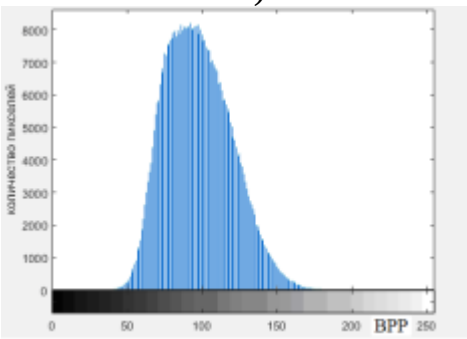
а)



б)




в)




г)

Рис. 1. Выделенные участки и гистограммы распределения цвета изображения нанофильтрационных мембран ОПМН-П (а, в) и ОФАМ-К (б, г) площадью 100 Х 100 мкм.

Проводя визуальный анализ выделенных участков нанофильтрационных мембран ОПМН-П и ОФАМ-К (рис. 1 а, б) отмечается, что изображение не очень контрастное. Для устранения этого недостатка и для создания контрастного изображения строились гистограммы распределения цвета: от 0 – (черный фон) до 256 (белый фон) (рис. 1 в, г).

Проведенный анализ гистограмм распределения (рис. 1 в, г) показал, что наибольшее сосредоточение цветового распределения показано для мембраны ОПМН-П в районе 90 и ОФАМ-К в районе 120. Для анализа микроструктурных неоднородностей поверхности материалов, коэффициента засоренности мембран и более полного понимая характеристик изображения, выполнялось построение трёхмерных точечных графиков трёх видимых цветов – каналов RGB (рис. 2 а, б).

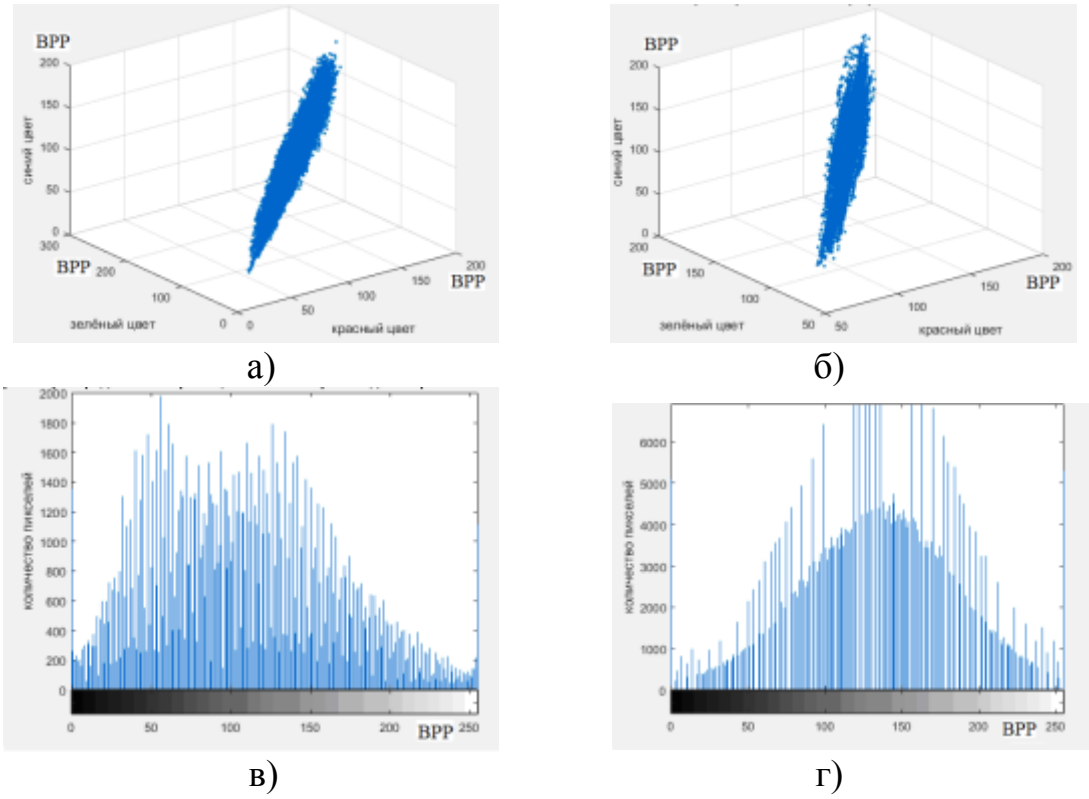



Рис. 2. Трёхмерные точечные графики видимых цветов и гистограмма распределения яркости после коррекции мембран ОПМН-П (а, в) и ОФАМ-К (б, г).

Полученные трехмерные точечные графики видимых каналов мембран ОПМН-П и ОФАМ-К в разных цветах (рис. 2 а, б) необходимы для определения инструментов использования для получения контрастного изображения. Можно отметить, что все точки в основном расположены примерно в одной плоскости, что говорит о достоверности полученных экспериментальных данных. В пакете Matlab 2017 используется функция получения более контрастного изображения выделенных участков в виде гистограмм (рис. 2 в, г).

Список используемых источников.

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611402. Расчет параметров морфологии поверхности нанофильтрационных мембран / С. И. Лазарев, В. Ю. Рыжкин, О. А. Ковалева, Ю. М. Головин, В. Н. Холодилин. – Заявка №2017662831 от 01.02.2018 г.

2. Мембраны, фильтрующие элементы, мембранные технологии. Каталог. Владимир: ЗАО НТЦ «Владипор», 2004. – 22 с.

3. Разработка и экспериментальная апробация программного комплекса для определения доли ионопроводящей поверхности мембран по данным растровой электронной микроскопии / Е. А. Сирота, Н. А. Кранина, В. И. Васильева, М. Д. Малыхин и др. // Вестник ВГУ, Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2011. – № 2. – С. 53-59.

# ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НАНОСТРУКТУР А3В5, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ЛАО*

**Климин В. С., Резван А. А., Морозова Ю. В.**
***Южный федеральный университет, Таганрог***
***arezvan@sfedu.ru***

В настоящее время по всему миру наблюдается резкий скачок производства высокотехнологичны устройств на основе углеродных наноструктур (фуллерены, нанотрубки и плёнки графена), сапфировых наноструктур и других видов материалов, являющимся перспективных для разработки и применения в микро- и наноэлектронике.

А3В5 элементы, а именно, арсенид галлия – один из самых перспективных материалов электроники сверх высоких частот (СВЧ). Основной особенностью структур на основе арсенида галлия является более высокая скорость и подвижность электронов, чем в кремнии. Благодаря этому, транзисторы, выполненные на основе арсенида галлия, обладают наибольшим быстродействием. Кроме этого, арсенид галлия обладает широкой запрещенной зоной (при 300К Eg = 1.424 эВ), что наделяет структуры хорошими изоляционными свойствами и позволяет получать элементы интегральных схем без дополнительных процессов изолирования слоёв друг от друга.

Однако, существует проблема прецизионного формирования структур на основе арсенида галлия, поверхность которых отвечает заданным и контролируемым функциональным свойствам.

В данной работе проведены экспериментальные исследования влияния режимов плазменной обработки наноструктур А3В5, модифицированных методом локального анодного окисления, на микрорельеф и геометрические параметры поверхностных слоёв данных структур.

Целью данной работы являлось исследование режимов профилирования и обработки поверхности структуры на основе арсенида галлия методом плазмохимического травления, с учетом времени воздействия комбинированной плазмы емкостного и индуктивного разряда.

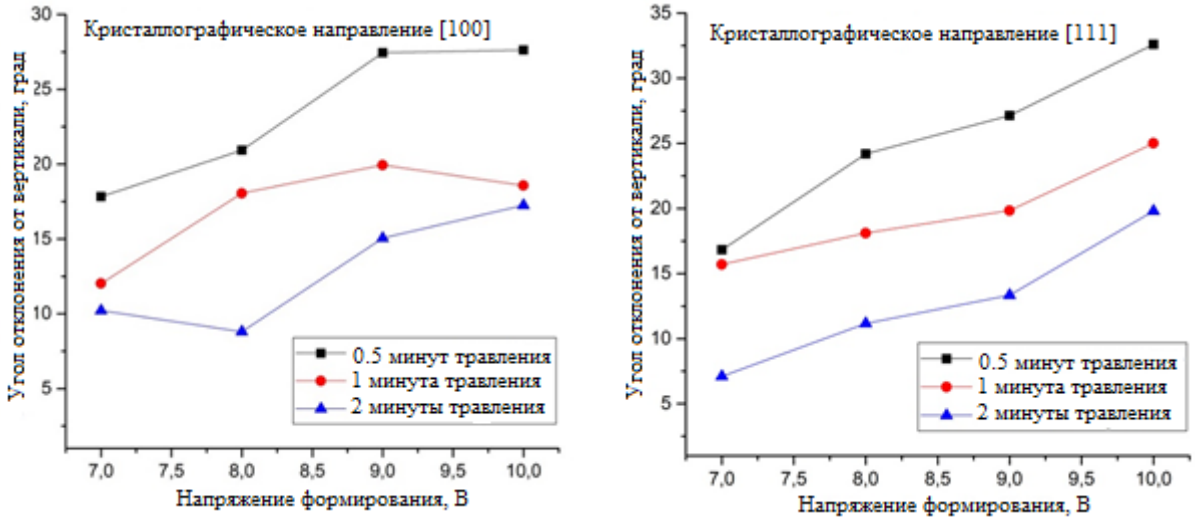
Экспериментальные исследования проводились на пластинах собственного арсенида галлия, имеющие поверхность после стандартной жидкостной полировки [1]. Далее поверхность подложек была подвержена модификацией методом локального анодного окисления и благодаря чему образован слой оксидных наноструктур [2]. Данные оксидные наноразмерные структуры были получены при следующих параметрах формирования: относительная влажность – 90%, скорость передвижения зонда - 2,5 мкм/сек, ток цепи обратной связи микроскопа – 1 нА, а напряжение формирования варьировалось от 7 до 10 В.

Сформированные слои окисла играли роль негативных масок при последующем плазмохимическом травлении на установке STE ICPe68 [3-4]. При проведении экспериментальных исследований влияния плазмы на микрорельеф и геометрические параметры структур в качестве хлорсодержащего газа был выбран BCl3, отличающийся от аналогов некоторыми параметрами влияния на протекание процесса травления в низкотемпературной плазме наноструктур на основе арсенида галлия. Смесь газов реакционной камеры состояла из буферного газа NAr = 100 см3/мин и хлорсодержащего газа NBCl3 = 15 см3/мин находилась под давлением P = 2 Па. При мощности источника индуцировано связанной плазмы WICP = 400 Вт, напряжение смещения Ubias = 102 В. Время обработки в плазме варьировалось в диапазоне от 0,5 до 2 минут. По окончании были получены объёмные структуры, площадью 9*10-4 мкм2.

Контроль топологии поверхности осуществлялся на каждом этапе исследования при помощи метода атомно силовой микроскопии зондовой лабораторией NTegra. В качестве основополагающего параметра влияния плазменных методов на микрорельеф и геометрические параметры структур был исследован угол отклонения от вертикали.

В данной экспериментальной работе были проведены исследования влияния режимов плазменной обработки наноструктур на основе арсенида галлия, модифицированных методом локального анодного окисления, на микрорельеф и геометрические параметры получаемых объёмных структур.

По результатам измерений данных экспериментальных исследований были получены зависимости анизотропии процесса от напряжения формирования маскирующих слоев при различных временах травления в кристаллографическом направлении [110] (рис. 1, а) и кристаллографическом направлении [111] (рис. 1, б).




а) б)

Рис. 1. Зависимости влияния времени травления на отклонения угла от вертикали: а – для кристаллографического направления [100]; б - для кристаллографического направления [111].

Из приведенных зависимостей видно, что кристаллографическое направление также влияет на протекание процесса травления и вертикальность полученных структур. Выбирая оптимальные режимы, можно получить структуры с высоким соотношением сторон для использования в оптической и квантовой электронике, полученные без использования операций литографии.

Также по окончании было определено, что поверхность полученной структуры, после удаления оксидного слоя и плазмохимического травления имеет шероховатость и рельеф сравнимый с поверхностью исходной пластины арсенида галлия, что позволяет сделать вывод о возможности внедрения данной технологии в стандартные процессы микро- и наноэлектроники для производства современных устройств оптической и квантовой наноэлектроники на основе структур GaAs.

Полученные в ходе экспериментальных исследований результаты показали, что при применении данной технологии получения наноразмерных структур необходимо учитывать кристаллографическое направление.

**Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №15-19-10006). Результаты были получены с помощью научного и образовательного центра коллективного пользования «Нанотехнологии» Южного федерального университета.*

Список используемых источников.

1. Исследование профилирования поверхности GaAs плазмохимическим методом для СВЧ устройств / В. С. Климин, М. С. Солодовник, А. А. Резван // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (Крымико'2017): материалы 27-й международной крымской конференции. В 9 томах. Севастополь, 2017. – Т. 4. – С. 1062-1068.

2. Research of anisotropy of formation process of GaAs structures using plasma methods / V. S. Klimin, A. A. Rezvan, M. S. Solodovnik // Physics and Mechanics of New Materials and their Applications (PHENMA 2018), 2018. – P. 202.

3. Study of formation of structures based on a3b5 elements by the combination of local anodic oxidation and etching in chlorine plasma / A. A. Rezvan, V. S. Klimin // Physics and Mechanics of New Materials and their Applications (PHENMA 2018), 2018. – P. 293.

4. Комбинация плазмохимического травления и локального анодного окисления для формирования наноразмерных структур на поверхности А3В5 / В. С. Климин, М. С. Солодовник, А. А. Резван, Е. А. Воробченко, И. А. Тен // Лазерные, плазменные исследования и технологии (ЛаПлаз-2018): сборник научных трудов IV Международной конференции. Москва, 2018. – С. 95-96.

# СИНТЕЗ КАТАЛИЗАТОРА В ВАКУУМЕ НЕПОСРЕДСТВЕННО НА ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА

**Образцов Д. В., Образцова Е. Ю.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Целью данной работы была разработка метода нанесения наноструктурированных катализаторов металлов (Ni, Co, Fe) на электроды топливных элементов с целью замены платиновых катализаторов. Использование наноструктурированных металлов подгруппы железа может позволить не только снизить стоимость, но и увеличить удельную мощность и КПД топливных элементов [1].

Существуют различные способы нанесения катализатора на поверхность электродов: пропитка коллоидным раствором с последующей сушкой; распыление порошка с последующим отжигом; метод совместного прессования катализатора и носителя; нанесение порошков с помощью плазматрона; атомарное или молекулярное осаждение в вакууме или инертных газах.

В рамках данной работы в качестве способа нанесения катализатора (никеля) на поверхность электродов топливных элементов был выбран процесс осаждения в вакууме, который отличается от других тем, что позволяет получать химически чистые катализаторы с равномерным распределением и хорошей адгезией металлов на поверхности электродов, что в дальнейшем положительно влияет на стабильность параметров топливных элементов и срок его службы.

Нанесение катализатора в вакууме на электроды топливного элемента является многоступенчатым процессом, требующим контрольных операций на всех этапах. Рост в вакууме пленочных покрытий в процессе осаждения атомарного потока на поверхность происходит в два этапа: образование зародышей на поверхности подложки и их последующий рост и слияние в сплошную пленку.

Процесс осаждения веществ в вакууме технически сложен в настройке, так как является многопараметрическим, при этом довольно сложно добиться необходимой воспроизводимости параметров и свойств катализаторов.

Для получения электродов со стабильными параметрами был разработан метод активного технологического контроля при синтезе наноструктурированного катализатора в вакууме непосредственно на поверхности электрода для определения параметров (границ островковой и сплошной пленки). Сущность метода заключается в измерении электрофизических параметров наноструктурированных пленок непосредственно в процессе их синтеза. Электрофизические параметры отдельного нанообъекта (кластера из осажденных атомов) описываются законами квантовой физики. При объединении нанообъектов в конгломераты их квантовые свойства проявляются в виде электрофизических параметров (например, емкость, сопротивление и др.)

совокупно сформированной структуре, которая может быть измерена стандартными измерительными приборами. Для реализации предложенного метода в вакуумной камере вблизи поверхности электродов топливного элемента устанавливается планарный первичный измерительный преобразователь (ПИП) на керамической подложке 10x15 мм методом вакуумного напыления двух медных контактов (в виде встречно штыревой структуры), рисунок 1.

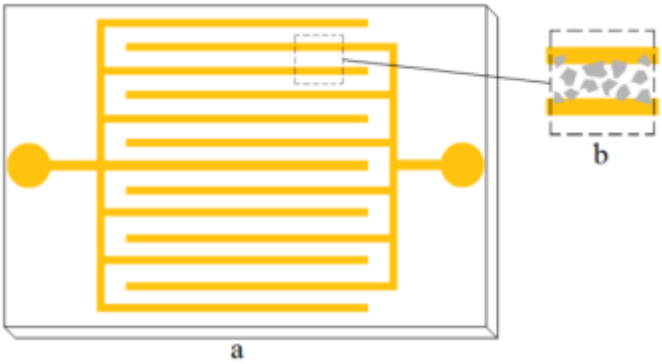



Рис. 1. Планарный первичный измерительный преобразователь:
a - планарный ПИП (встречно штыревой структуры);
b - синтезированная наноструктурированная пленка
между электродами плоской ПИП.

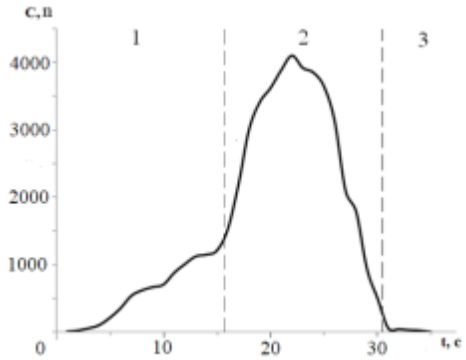



Рис. 2. Зависимость емкости между контактами планарного
ПИП от времени осаждения никеля.

При напылении в определенный момент времени (рисунок 2) соседние островки начинают сливаться (конец стадии 2), при этом емкость резко уменьшается (этап 3). Для достижения хорошей каталитической активности и газопроницаемости необходимо останавливать процесс распыления в момент, когда максимальное количество островков синтезируется на минимальном расстоянии друг от друга. Этот момент определяется, когда пиковое значение зафиксировано на этапе 2.

Для автоматизации данного метода была доработана установка вакуумного напыления УВН-71 на базе [2], которая управляет процессом синтеза островного катализатора путем изменения мощности испарителя и перекрытия молекулярных потоков испаряемых веществ. В процессе синтеза катализатора в микропроцессорном устройстве проводится дифференциация изме-

нения емкости на ПИП по соответствующей программе с целью определения момента возникновения его экстремального значения. При достижении предельного значения емкости на планарной ПИП, которое указывает на фазу 2 (рис.2), испаритель отключается вместе с катализатором, и молекулярный поток блокируется. При таком подходе получается максимальная площадь занимаемая катализатором, что способствует в дальнейшем увеличению удельной мощности на единицу используемого катализатора.

Список используемых источников.

1. V. Das, S. Padmanaban, K. Venkitusamy, R. Selvamuthukumaran, F. Blaabjerg, P. Sianoe, A review Renewable and Sustainable Energy Reviews 73 (2017).

2. Метод и система активного технологического контроля синтеза нанообъектов / Д. В. Образцов, В. Н. Чернышов, В. П. Шелохвостов // Наноинженерия. – 2015. – № 8 (50). – С. 27-32.

# ВНЕСЕНИЕ ДОБАВОК В ТВЕРДОФАЗНЫЙ СВЕРХМОЛЕКУЛЯРНЫЙ ПОЛИЭТИЛЕН И ЕГО РЕАКЦИЯ НА ДАННЫЕ ДОБАВКИ

**Поликарпов В. М., Головин Ю. М., Лазарев С. И., Левин А. А.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Основным прямым методом изучения структуры полимеров является рентгеноструктурный анализ (РСА), позволяющий получить информацию о конформации макромолекул, их взаимном расположении в пространстве, оценивать фазовый состав системы, проводить анализ текстур, определять коэффициенты упаковки, величины плотности и т.д.

Рентгеноструктурные исследования образцов проводили в режиме на отражение [1] в разных диапазонах углов дифракции (CuKα-излучение), монохроматизированного Ni-фильтром, с использованием рентгеновского дифрактометра ДРОН-3.0. В дифрактометрических исследованиях применялась рентгенооптическая схема фокусировки первичного пучка по Иоганну.

Исследования методом рентгеноструктурного анализа (РСА) образцов сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) [2], содержащих различное процентное содержание TiC и полученных при температуре 90ОС показали, что увеличение количества добавок в основном отражаются на параметрах аморфной фазы СВМПЭ и в меньшей степени на кристаллической полимерной фазе. Так оценка степени кристалличности исследуемых соединений показала, что при увеличении процентного содержания вносимых добавок происходит сначала падение степени кристалличности для полимера содержащего 0,5 массовых частей (мч) в общем на 5%. Увеличение процент-

ного содержания TiC приводит к возрастанию степени кристалличности вплоть до 55%, для полимера, содержащего 5 массовых частей TiC. По видимому, при увеличении содержания добавок TiC более 2% в полимерной матрице возникают взаимодействия, существенно отличающиеся от полимера, содержащего малой процент добавок. Это отражается на структурном строении полимера и соответственно на соотношении долей аморфной и кристаллической фаз.

Исследование методом рентгеноструктурного анализа (РСА) образцов высокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), содержащих различное процентное содержание TiB2 [3] также показали, что увеличение количества добавок в основном отражаются на параметрах аморфной фазы СВМПЭ и в меньшей степени на кристаллической полимерной фазе. Однако, эти изменения не так существенны, как в случае полимеров с добавками TiC - . степень кристалличности по сравнению с исходным СВМПЭ практически не меняется.

Самые значительные рентгеновские изменения были зафиксированы для образцов СВМПЭ, с различным процентным содержанием УИМ2. Как и предыдущих случаях эксперимент показывает, что влияние добавок в основном отражается на структурных параметрах аморфной фазы. Увеличение процентного содержания добавок приводит к увеличению полуширины аморфного гало, что свидетельствует о разрыхлении аморфной фазовой компоненты. Это отражается и на уменьшении степени кристалличности с ростом процентного содержания УИМ2.

Таким образом внесение добавок в СВМПЭ главным образом действует на аморфную фазу, но отражаются на кристаллической фазе слабым образом. В будущем планируется проведение температурных сьемок с расчетом наблюдения влияния добавок на твердофазный полиэтилен.

Список используемых источников.

1. Поликарпов, В. М. Переход «порядок-беспорядок» в кремний-, германий- и борсодержащих полимерах и их органических аналогах. Дис. д-ра хим.наук. М: ИНХС РАН, 2004., 304с.

2. Нанокомпозиты на основе слоистых силикатов и сверхвысокомолекулярного полиэтилена, полученные полимеризацией in situ / Е. В. Харькова, Д. И. Менделеев, Ю. М. Королев и др. // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 2013. – Т. 13. – № 8. – С.1061-1066.

3. Баронин, Г. С. Сравнительные молекулярно-релаксационные и структурно-механические характеристики композитов на основе СВМПЭ) // Г. С. Баронин, А. М. Столин, В. М. Поликарпов, К. В. Шапкин, Д. В. Пугачев, Д. О. Завражин, С. Е.Звездин, Д. Е. Кобзев // Химическия технология. – 2009. – Т. 10. – № 1. – С 16-21.

# НАНОТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ КАК ВАЖНЕЙШИЙ ЭЛЕМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

**Попова А. А., Шубин И. Н.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
**alyona.popova.93@list.ru**

В век научно-технического прогресса, одной из наиболее актуальных и важных проблем является развитие и внедрение нанотехнологий в производственный процесс различных отраслей хозяйства России.

Развитие этого направления сулит массовое распространение новых технологий и конструкционных материалов, обладающих уникальными возможностями, свойствами и характеристиками. Наибольший интерес представляют углеродные наноматериалы, так как в настоящее время они наиболее изучены, что делает их чрезвычайно перспективными для использования в различных отраслях [4,8].

Рассмотрим применение углеродных наноматериалов и их влияние на продукт, на примере такой области, как машиностроение.

Широкомасштабное внедрение нанотехнологий в отрасль машиностроения сулит целый ряд преимуществ, ведь буквально каждый элемент или узел продуктов этой отрасли может быть в значительной степени усовершенствован при помощи наноматериалов [10].

В настоящее время на территории нашей страны ведутся существенные работы по внедрению наноматериалов в отрасль машиностроения, усовершенствованные продукты во многих случаях не уступают зарубежным аналогам по своей эффективности и сроку службы.

Стоить отметить, что в машиностроение в основном используют объемные наноструктурированные материалы, материалы с памятью, порошковые материалы и комплектующие наноизделий [3,5].

На сегодняшний моменты, учеными из нашей станы созданы промышленные образцы, которые выступили импортозаместителями, среди них защитные покрытия, стальные и керамические изделия конструкционного и инструментального назначения, нержавеющие оболочки для малых космических аппаратов, изделия для общего автомобилестроения [6].

В Тамбове учеными Тамбовского государственного технического университета совместно с ООО «Нанотехцентр» предлагается целая линейка современных наноматериалов и полуфабрикатов, нашедших широкое применение в машиностроении [1].

Например, использование наноструктурированного металла для изготовления токарного станка, за счет уникальных физикомеханических свойств материала, будет способствовать уменьшению его массы, увеличению срока службы и надежности [1]. Возможность восстановить изношенные узлы и механизмы промышленного оборудования до первоначального вида стала реальной благодаря разработке концерна «Наноиндустрия» наноразмерных порошков на основе серпентинитов. Применение этого материала так же способствует уменьшению стоимости ремонта в 2-3 раза и экономии электроэнергии в 1015% [11].

В Воронеже на целом ряде предприятиях машиностроительного комплекса идет реализация программ, в которых основным является нанесение тонкопленочных наноструктурированных покрытий на базовые установки [7].

Еще одним примером, можно считать запуск производства поворотных резцов, на основе наноструктурированных кернов, которые применяют в основном для фрезерования асфальтобетонных покрытий дорог. Он был осуществлен сотрудниками российско-германского предприятия «МОСВИРТ». Проект оказался достаточно удачным, так как уже спустя пять лет выручка от его продаж составила пять миллионов долларов [2,9].

Таким образом, использование нанотехнологий в современном машиностроении может стать мощным инструментом интеграции технологического комплекса России в международный рынок высоких технологий, надежного обеспечения конкурентоспособности отечественной продукции.

Список используемых источников.

1. Официальный сайт ООО «Нанотехцентр» [Электронный ресурс]. Режим доступа http://www.nanotc.ru.

2. Toxicity and bioaccumulation of xenobiotic organic compounds in the presence of aqueous suspensions of aggregates of nano-C60 / A. Baun, S. N. Sorensen, R. F. Rasmussen, N. B. Hartmann, C. B. Koch // Aquatic Toxicology. – 2008. – V.86. – P. 379-387.

3. Some aspects of carbon nanotubes technology / A. V. Melezhyk, A.V. Rukhov, E. N. Tugolukov, A. G. Tkachev // Nanosytems: Physics, Chemistry, Mathematics. – 2013. – V. 4. – № 2. – P. 247 -259.

4. Роко, М. К. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления развития // Под ред. М. К.Роко, Р. С.Уильямса и П. Аливисатоса: Пер. с англ. – М.: Мир, 2002. – С. 54-63.

5. Ткачев, А. Г. Промышленные технологии и инновации. Оборудование для наноиндустрии и технология его изготовления/ А. Г. Ткачев, И. Н. Шубин, А. А. Попов. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 132 с.

6. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение / С. В. Мищенко, А. Г. Ткачев. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.

7. Усольцева, Н. В. Наноструктурированные системы мезогенов и композиции с углеродными частицами на их основе / Н. В.Усольцева, М. В. Якемсева (Смирнова), А. И. Смирнова // Нанотехника. – 2014. – № 1. – С 61-66.

8. Поляков, А. А. Технология керамических радиоэлектронных материалов // М.: Радио и связь, – 1989. – 200 с.

9. Модифицирование углеродных нанотрубок и синтез полимерных композитов с их участием / Э. Р. Бадамшина, М. П. Гафурова, Я. И. Эстрин // Усп. химии. – 2010. – Т. 79. – № 11. – С. 1027-1064.

10. Фостер, Л. Нанотехнологии. Наука, инновации, возможности. – М.: Техносфера, 2008. – 352 с.

11. Арефьева, О. А. Наносистемы для доставки химических веществ к корням растений / О. А. Арефьева, С. М. Рогачева, П. Е. Кузнецов // Материалы 1-ого Международного форума по нанотехнологиям. Москва, 3-5 декабря 2008.

# ВЕРТИКАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ ДЕТЕКТОРА ГАЗОВ*

**Климин В. С., Резван А. А.**
***Южный федеральный университет, Таганрог***
***arezvan@sfedu.ru***

Научно-технический прогресс наращивает темпы развития с каждым годом, что приводит к появлению новых и более высоких требований к производимым устройствам микро- и наноэлектроники и производству в целом, в связи с чем актуальным направлением исследований является микросенсорика.

В настоящий момент элементы сенсорики встроены в различные устройства электроники, начиная с бытовых приборов и заканчивая крупно габаритными летательными аппаратами, и каждый из таковых детекторов отвечает конкретно сформулированной задаче. Однако, появилась проблема миниатюризации и повышения чувствительности устройств сенсорики, в связи с продолжающимся внедрением новых технологий в производственный процесс и процесс жизнедеятельности человека. В связи с этим необходима разработка и создание не только недорогих и высокочувствительных элементов сенсорики, использующих современные технологий и материалы, но также произвести уменьшение линейных размеров таких устройств.

В данной исследовательской работе рассматривается применение вертикально ориентированных наноразмерных структур для формирования чувствительного элемента сорбционного детектора газа.

Предлагаемая технология заключается в следующем. В качестве подложек использовались пластины кремния с кристаллографической структурой (100), поверхность которых была улучшена методом стандартной жидкостной полировки [1-2].

На химически очищенной и отполированной подложке кремния был сформирован каталитический подслой никеля Ni [3]. Процесс происходил при следующих параметрах: температура подогрева подложки Тп = 250ºС; скорость потока аргона NAr = 10 см3/мин; давление в камере P = 10 Па; время нанесения t = 17 сек. При таких режимах толщина осажденного слоя составляет около 10 нм.

Далее на данной структуре был нанесен слой диэлектрика Si3N4 с помощью метода плазмохимического осаждения из газовой фазы [4-5]. В ходе, которого скорость потока азота NN2 = 60 см3/мин, моносилана NSiH4 = 40 см3/мин, давление камеры P = 70 Па, мощность источника индуктивно-связанной плазмы WICP = 100 В, температура образца T = 100ºС. При данных режимах скорость роста пленки VSi3N4 = 11,5 нм/мин. После чего поверхностный слой полученной структуры был подвержен обработке методами нанолитографии. По окончании обработки топология слоя Ni приобрела вид массива, состоящего из вертикально ориентированных наноразмерных вискеров. Следующим шагом было формирование углеродной наноструктуры – тонких пленок графена, с помощью метода плазмохимического осаждения из газовой фазы. В процессе осаждения роль углеродсодержащего газа играл ацетилен C2H2, скорость потока NC2H2 = 30 см3/мин, потока водорода NH2 = 10 см3/мин, температура процесса T = 600ºС, давление камеры P = 100 мТорр. Общее время формирования составляло 2 минуты.

После чего поверх чувствительного слоя были сформированы электрические контакты, соединяющиеся с устройством обработки сигнала, а также нагреватель для дегазации детектора [6].

Для проведения экспериментальных исследований чувствительности газа, макет чувствительного элемента сорбционного газового детектора помещался в специализированную камеру. Измерения проводились при температуре 300 К и давлении 760 Торр. В экспериментальных исследованиях использовались такие газы, как CH4, CO, CO2 чистотой 99,99% и их смеси. Газ подавался в испытательную камеру способом замещения.

По окончанию экспериментальных исследований разработана конструкция и лабораторно-технологическая инструкция изготовления сорбционного детектора газа с чувствительным элементом на основе массива вертикально ориентированных углеродных наноструктур.

В результате было определено, что изготовленный макет сорбционного детектора газов на основе чувствительного элемента, состоящего из углеродной наносистемы обладает чувствительностью к акцепторным молекулам газа NO2 и донорным молекулам газов NH3, CO, парам H2O с различной степенью коэффициента чувствительности зависящего от концентрации. Согласно проведенным экспериментальным оценкам для CH4, CO2, CO, при рабочей температуре 300 К и концентрации 0,01 моль/литр, чувствительность составила 63, 135, 5468 соответственно, время срабатывания 0,1 сек; время восстановления 1,0 сек.

**Данная исследовательская работы была выполнена при финансовой поддержке Южного федерального университета (ВнГр-07/2017-02). Результаты были получены с помощью научного и образовательного центра коллективного пользования «Нанотехнологии» Южного федерального университета.*

Список использованных источников.

1. Исследование получения графеновых плёнок методом плазменного ХОГФ / А. А. Резван, В. С. Климин // Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: доклады XII Всероссийской конференции молодых ученых. Саратов, 2017. – С. 216.

2. Исследование чувствительного элемента резистивного сенсора газов на основе пленок графена / А. А. Резван, В. С. Климин // Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: доклады XII Всероссийской конференции молодых ученых. Саратов, - 2017. – С. 218

3. Application of carbon nanostructures for formation of a sensitive element of a vacuum gauge by means of plasma / A. A. Rezvan, V. S. Klimin // Physics and Mechanics of New Materials and their Applications (PHENMA 2018), 2018. – P. 200.

4. Sensitive element of detector gas sensor based on carbon nanostructures / A. A. Rezvan, V. S. Klimin // Physics and Mechanics of New Materials and their Applications (PHENMA 2018), 2018. – P. 201.

5. Особенности влияния материалов структуры при формировании вертикально-ориентированных углеродных наноструктур методом плазмохимического осаждения из газовой фазы / В. С. Климин, А. А. Резван // Лазерные, плазменные исследования и технологии (ЛаПлаз-2018): сборник научных трудов IV Международной конференции. Москва, 2018. – С. 91-92.

# СИНТЕЗ МНОГОСЛОЙНЫХ ГРАФЕНОВЫХ СТРУКТУР ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЭКСФОЛИАЦИЕЙ ГРАФИТА В КИСЛЫХ СРЕДАХ

**Образцова Е. Ю., Образцов Д. В., Бакунин Е. С., Рухов А. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Одним из перспективных методов получения многослойных графеновых структур (МГС) является электрохимическая эксфолиация графита, как способ легкого, быстрого и экологически чистого производства искомого продукта. Данный метод основан на использовании электрохимических реакций, происходящих в пространстве между слоями графита, заполненном электролитом. Процедура электрохимической эксфолиации графита содержит две стадии, первая из которых соответствует интеркаляции ионов из раствора электролита в пространство между графеновыми листами с образованием ковалентных или ионных связей, а вторая включает расслоение материала в результате протекания электрохимической реакции.

Нами были проведены исследования возможности синтеза МГС в водном растворе серной кислоты на постоянном токе в двухэлектродной ячейке, в качестве анода был использована платина, катодом являлась графитовая пластина, марки «Графлекс». Полученный материал отмывали от электролита, контролируя при этом pH промывных вод, растворяли в определенном объеме дистиллированной воды, затем подвергали ультразвуковой обработке.

При анодной поляризации графитовых электродов в растворе серной кислоты потенциал графитового электрод смещается в положительную область, это напряжение индуцирует образование высокореактивных видов кислорода от окисления молекул воды (например, гидроксильные радикалы), которые, которые являются сильными нуклеофильными агентами и вызывают значительное окисление и структурные деградации решетки углерода. Окисление границ зерен графитовых слоев, приводит к их деполяризации и расширению, способствуя интеркаляции сульфат-ионов (SO42-) в межслоевое пространство. При интеркаляции сульфат ионы растаскивают графитовые слои, увеличивая расстояние между ними, что приводит к ослаблению Ван-дер-Ваальсовых связей.

Образование ковалентной связи С-О может сопровождаться также генерированием газообразных оксидов углерода. Накопление газообразных продуктов электролиза в межслойных пространствах оказывает значительное давление на графитовых слоях и, следовательно, способствуют их эксфолиации.

На рисунке 1 представлен КР - спектр синтезированного материала, который содержит набор линий, характерный для углеродных веществ с sp2-гибридизацией [1].

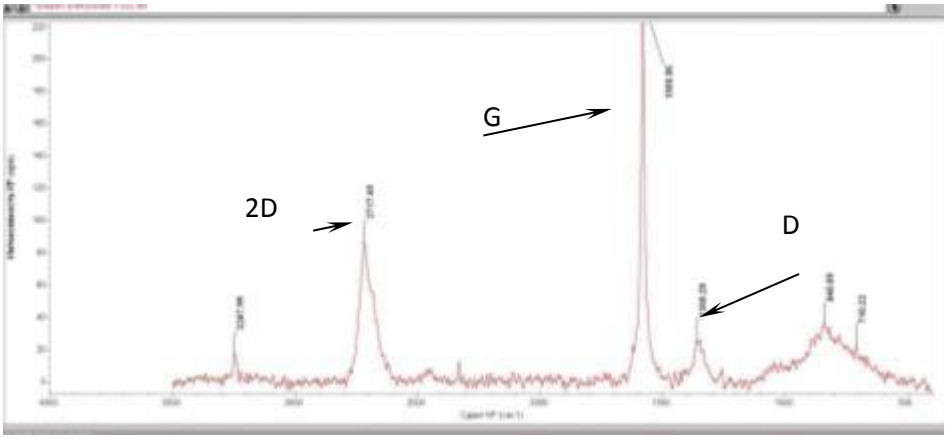



Рис. 1. Раман - спектры исследуемого образца.

В области первого порядка на ~ 1580,86 см-1 наблюдается интенсивная узкая линия (G), характеризующая колебания системы sp2 углеродных связей и широкая небольшой интенсивности линия на~ 1360,28 см-1 (D), которая появляется с уменьшением размера кристаллитов графита в связи с дефектами на краях и внутри графеновых плоскостей, а также 2D-пик на удвоенной частоте D-пика (2717 см-1), соответствующий двухфононному КРС и имеющий большое значение при диагностировании графеновой пленки, так как в зависимости от ширины полосы, её формы и положения её центра можно сделать вывод о количестве слоев графена, содержащихся в пленке [1-3].

Для оценки степени дефектности графеновых структур используют соотношение интенсивностей линий D и G (ID/G), которое характеризует как дефекты внутри слоя, так и на периферии графеновых частиц. Для данного образца соотношение ID/G составляет 0,136. Появление полосы D можно отнести также к разупорядочению структуры графеновых слоев за счет присоединения окисных групп, которые, преобразовывают долю первоначально sp2-гибридизованных атомов углерода к дефектноподобным sp3-гибридизованным атомам, образующимся в результате электрохимической эксфолиации и окисления графита.

Для определения слойности графеновых частиц обычно рассчитывают отношение интенсивностей линий IG/2D . При этом значение IG/2D равное 0,26 соответствует монослою графена и линейно возрастает до 6-8 слоев [4]. В нашем случае оно составляет 2,75, что говорит о формировании многослойных графеновых структур. Так же с увеличением количества графеновых слоев происходит сдвиг пика 2D в синюю область (на графике вправо) до достижения 10 графеновых слоев, далее её положение практически соответствует высокоориентированному пиролитическому графиту [2].

Однако, для оксида графита полоса 2D отсутствует [5], а интенсивность полос D и G обычно одинакова, так же как и для малослойного графена, содержащего некторое количество присоединенных окисных групп. Таким образом, разупорядочение структуры графеновых слоев из-за их окисления приводит к уменьшению относительной интенсивности 2D полосы, и невоз-

можности провести оценки количества графеновых слоев исходя из соотношения I2D/2G.

Дальнейшее исследование нашего коллектива буду нацелены на совершенствование методов электрохимического синтеза и установление взаимосвязи между параметрами электролиза и качественно-количественными характеристиками графеновых структур.

Список используемых источников.

1.Malard, L. M., Pimenta, M. A., Dresselhaus, G. & Dresselhaus, M. S., Raman spectroscopy in graphene. Phys. Rep. 473, 51-87 (2009).

2. Ferrari A. C., Basko D. M. Raman spectroscopy as a versatile tool for studying the properties of grapheme. Nature nanotechnology. 2013. Vol. 8, № 4. P. 235–246.

3. Bonaccorso F., Lombardo A., Hasan T., Sun Zh., Colombo L., Ferrari A.C. Production and processing of graphene and 2d crystals. Materials Today, 2012, vol. 15, no 12, pp. 563–589

4. Das A., Chakraboty B., Sood A., Raman spectroscopy of graphene on different substrates and influence of defects. Bull. Mater. Sci., Vol. 31, No. 3, June 2008, pp. 579–584.

5. X.Díez-Betriu, S. Álvarez-García, C.Botas, P.Álvarez,b J. Sánchez-Marcos, C. Prieto, R.Menéndezb, A Andrés Raman spectroscopy for the study of reduction mechanisms and optimization of conductivity in graphene oxide thin films J. Mater. Chem. C, 2013, 1, 6905-6912

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ПРИ НАНОМОДИФИЦИРОВАНИИ ЭЛАСТОМЕРОВ*

**Щегольков А. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***Energynano@yandex.ru***

Разработка наноструктурированных композиционных материалов в настоящее время является одним из актуальных направлений научных и прикладных исследований. Области применения таких материалов предъявляют довольно жесткие требования, которым должны соответствовать наномодифицированные полимерные композиты, активно изучаемые в последние годы [1, 2]. Благодаря широким преимуществам наномодифицирования возможно создание полимерных композиционных материалов, обладающих устойчивостью как к механическим воздействиям [3], так и эрозионному износу [4], а также, по достижении порога перколяции при добавлении углеродосодержащих наноматериалов, высокой электропроводностью [5, 6]. Углеродные

наноматериалы, в частности, являются также весьма перспективными в качестве добавок для эффективной эластификации теплостойких связующих, так как позволяют одновременно увеличить деформационные характеристики и модуль упругости полимерной матрицы [7].

Ключевой проблемой приготовления нанокомпозитов является равномерное распределение наноматериала в полимерной матрице в связи с их склонностью к агломерации [8]. Для активации углеродных нанотрубок (УНТ) может быть использован подход связанный с механоактивацией телами помола в условиях сильного электромагнитного поля до 1,5 Тл (рис. 1).

Рис. 1. Установка для механоактивации УНТ.

Данный способ имеет высокую производительность и повторяемость результатов и при его реализации не требуются какие либо вспомогательные химические реактивы, а также особые условия. Основной задачей в случае применения механоактивации является разбиение агломератов, которые образуются межу отдельными углеродными нанотрубками. В случае механоактивации изменяются морфологические характеристики углеродных нанотрубок и насыпная плотность, а также возможна спайка с материалом из которого изготовлены тела помола (рис. 2).

а) б)

Рис. 2. Внешний вид тел помола (а - циллиндрические и б - сферические).

Процессом спайки с материалом тел помола возможно воспользоваться в виду придания дополнительных свойств УНТ. К таким свойствам УНТ следует отнести магнитную восприимчивость. С приобретением магнитной восприимчивости появляется способность к взаимодействию с магнитным или электромагнитным полем (рис. 3), как и в процессе введения в полимерную матрицу, так и в процессе эксплуатации связанной с полимерными материалами экранирующими ЭМУ (электромагнитное излучение) и снимающих статическое электричество.

Рис. 3. Взаимодействие УНТ с магнитным полем.

Полученные механоактивированные УНТ могут быть введены в двухкомпонентный литьевой полиуретан (эластомер) с помощью механического перемешивания и последующего ультразвукового (УЗ) воздействия. Далее по мере застывания полиуретанового композита на него производится воздействие магнитного поля от неодимовых магнитов с магнитной индукцией 1000 млТл. Эффективность введения УНТ в эластомер связана с равномерностью распределения и целевых параметров композита. В процессе нахождения эффективных режимов введения УНТ происходит подбор параметров вращения вала перемешивающего устройства, параметров механоактивации (времени, размеров и типа материала тел помола), а также подбор параметров УЗ воздействия (времени и мощности экспозиции).

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-53-00032 Бел_а.*

Список используемых источников.

1. Hessam Yazdani, Benjamin E. Smith, Kianoosh Hatami // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2016. – Vol. 82. – P. 65 77.

2. Hamid Ghasemi, Roham Rafiee, Xiaoying Zhuang, Jacob Muthu, Timon Rabczuk // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2016. – Vol. 401. – P. 472 478.

3. J. Gao, Ch. Li, U. Shilpakar, Y. Shen // Materials and Design. – № 86 (2015). – P. 289–296.

4. Jinhu Chen, Ian M. Hutchings, Tong Deng, Michael S. A. Bradley, Krzysztof K.K. Koziol // Carbon. – 2014. – Vol. 73. – P. 421 431.

5. Mohammed H. Al-Saleh, Haya K. Al-Anid, Yazan A. Hussain // Composites: Part A. – 2013. – Vol. 46. – P. 53 59.

6. Wolfgang Bauhofer, Josef Z. Kovacs // Composites Science and Technology. – 2009. – Vol. 69. – P. 1486 1498.

7. Е. Н. Каблов, С. В. Кондрашов, Г. Ю. Юрков // Обзоры: Российские нанотехнологии. – 2013. – Том. 8. – № 3-4. – С. 28-46.

8. Troung V. T., Tsang K. M. C., Keough S. J., St John N. G. // Carbon Nanotube Composites. – 2006. – № 6415. – P. 641–503.

# ЛОКАЛЬНОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СЛОИСТЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ МЕТОДОМ СИЛОВОЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

**Тагиев Б. Г., Ибрагимов Р. А., Сафарзаде А. А., Бахышев Р. А.**
***Национальная Академия Авиации, Баку, Азербайджан***
***safarzade@yandex.ru***

Слоистые полупроводниковые соединения AIIIBVI характеризуются наличием двух видов связей в кристалле. Связь атомов внутри слоя – сильная, преимущественно ковалентная, а между слоями — слабая, типа Ван-дер-Ваальсовой (ВдВ), что приводит к хрупкости слоистых полупроводниковых кристаллов (СК) Каждый слой GaSe в направлении, перпендикулярном оси симметрии С, содержит группу атомных плоскостей Se-Ga-Ga-Se. В верхней и нижней плоскостях каждого монослоя слоистого соединения расположены атомы халькогена, что должно было бы препятствовать химическому взаимодействию между слоистыми соединениями AIIIBVI и веществами, имеющими окислительную или кислотную природу [1]. Однако это справедливо только для идеальных кристаллов. Реальные кристаллы всегда содержат различного типа дефекты. [2]. Различного типа дефекты, в частности вакансии Se, на поверхности скола GaSe представляют собой центры сорбции сторонних атомов из окружающей среды.

Естественная оксидная плёнка СК имеет очень малую скорость роста из-за слоистости атомной структуры, имеющая на внешних слоях атомы Se, которые, образуют ВдВ-поверхность кристалла GaSe. Атомы Se имеют неметаллическую природу, и являются основной причиной затруднительного окисления СК [3]. Этот естественный слой оксида важен тем, что сильно предотвращает окисление слоистого полупроводникового кристалла со временем. Рост естественного оксидного слоя слоистого кристалла GaSe, согласно [4], в течение длительного времени, приводит к нанообразованиям на поверхности окисной пленки, имеющей вертикальные размеры z = (0.667 ± 0.167) нм и латеральные размеры d = 10…20 нм. В окисных плёнках на поверхности скола нелегированного GaSe наблюдаются отдельные включения с вертикальными и латеральными размерами от 6 до 270 нм. Такие включения получаются путём коалесценции мелких окисных нанообразований в более крупные с различной равновесной формой — куполообразной и пирамидальной [5].

Необходимо указать, что рост естественного оксида имеет малую скорость и для создания слоя с необходимыми параметрами оксида (высоты, толщины и форм) выгоднее применять метод локального анодного окисления (ЛАО) с помощью силовой зондовой микроскопии (СЗМ).

Размерности оксидной плёнки, полученных методом ЛАО на несколько порядков больше, чем получаемые естественным образом и зависят от множества параметров [6]. Использование ЛАО в для ВдВ-поверхности является

перспективным методом, так как естественный оксид не позволяет дальнейшее естественное окисление кислородом, а ЛАО позволяет производить требуемый рост оксида в требуемых областях с необходимыми размерами, с целью создания элементов наноэлектроники.

При напряжении выше определённого порогового значения между зондом и ВдВ-поверхностью образца СК, образуется стабильный мост (мениск) воды. Если напряжённость электрического поля достаточно высокая (порядка 108 в/м) вода диссоцирует на протоны и гидроксильные анионы (OH-) или даже кислородные анионы (O2–). В связи с существованием градиента электрического поля оксидные наноструктуры формируются в основном в центре под зондом (см. рис. 1.).

Учитывая малый радиус кривизны наконечника зонда (менее 10нм) а также небольшое расстояние между вершиной зонда и поверхностью (до10нм), сильные поля (порядка 108В/м) достигаются даже при относительно малых напряжениях в диапазоне от нескольких вольт. Вследствие градиента электрического поля под зондом, молекулы воды стягиваются к кончику зонда, где напряжённость поля максимальна. При этом положительные ионы направляются к вершине зонда (катоду), где они окончательно разлагаются на молекулярный водород. Отрицательно заряженные ионы (рис. 1) гидроксильных групп притягиваются к ВдВ-поверхности (аноду).

Ход процесса ЛАО, т.е. образование и рост локального оксидного слоя на ВдВ-поверхности слоистого кристалла GaSe хорошо иллюстрируется на рис. 1.

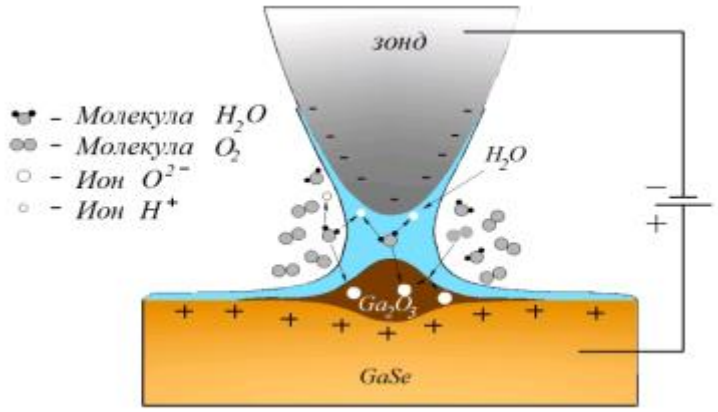



Рис. 1. Образование и рост оксидного слоя при ЛАО слоистого кристалла GaSe.

В начале процесс локального окисления имеет относительно высокую скорость. Это происходит из-за того, что не все энергетические состояния на границе ВдВ-поверхность – оксид насыщенны и в результате нестехиометрические состояния в оксиде, действуют как ловушки для гидроксильных и оксидных анионов. Исследования ЛАО выявили очень высокую скорость роста ОНС в начале процесса [7]. Однако когда рост оксида продолжается, происходит резкое уменьшение этих зависимостей. В основном есть две различные модели, объясняющие происхождение этого снижения:

- большое усиление механических нагрузок в пределах поверхности и наращиваемого объёма оксида;

- быстрое накопление пространственного заряда в оксиде.

Причиной быстрого убывания роста оксида является кулоновское отталкивающее взаимодействие между зарядами и захваченными анионами, мигрирующими через оксид [8].

Механизм окисления по времени можно описать так: чем дольше процесс окисления длится, тем больше образуется оксидный слой. Т.е. можно предположить, что суммарный объём сформированного оксида, а также её высота и ширина пропорциональна потоку ОН– ионов, достигающих ВдВ-поверхности слоистого полупроводника. Образование и рост оксидной плёнки приводит к самоограничению процесса окисления. Это самоограничение связанно с осложнением достижения ОН– ионами ВдВ-поверхности (из-за процесса роста оксида) [9].

При самоограничении процесса окисления движущая сила для гидроксильных анионов снижается, а установленная напряжённость электрического поля может даже стать слишком малой для диссоциации молекул воды.

Определяя программу сканирования и топографию площади на силовом зондовом микроскопе, можно создавать необходимые наноэлементы электроники на поверхности хрупких СК.

Список используемых источников.

1. Tsong T. T. Effects of an Electric Field in Atomic Manipulations / Phys. Rev. 1991, B. 44, p.p. 13703-13710

2. Завражинов А. Ю., Турчен Д. Н. Конденсированные среды и межфазные границы. 1999, 1 (2), 190 с.

3. Драпак С. И., Ковалюк З. Д., ФТП, 2007, т. 41, с. 312.

4. Собственный окисел, возникающий на поверхности скола селенида галлия в результате длительного хранения / С. И. Драпак, С. В. Гаврилюк, З. Д. Ковалюк, О. С. Литвин // ФТП. – 2008. – Т. 42. – Вып. 4. – С. 423-430.

5. Драпак С. И., Воробец М. О., Ковалюк З. Д. ФТП, 2005, 39 (5), с. 633.

6. Krasilnik Z. F., Lytvyn P., Lobanov D. N., Mestres N., Novikov A. V., Pascual J., Valakh M.Ya., Yukhymchuk V.A.. Nanotechnology 13, 1, 81, 2002.

7. Avouris, P.; Hertel, T.; Martel, R.Appl. Phys. Lett., 71, 1997, p.p. 285–287.

8. Моделирование процесса формирования оксидных наноразмерных структур методом локального анодного окисления поверхности металла / В. И. Авилов, О. А. Агеев, Ю. Ф. Блинов, Б. Г. Коноплев, Н. И. Поляков, В. А. Смирнов, О. Г. Цуканова // ЖТФ. – 2015. – Т. 85. – Вып. 5. –С. 88-93.

9. Pashayev A. M., Tagiyev B. G., Ibragimov R. A., Safarzade A. A. “Atomic-force microscopy of Van-der Waals surface of layered crystals by GaSe and GaSe<impurity>types.” Azerbaijan Journal of Physics (“Fizika”), April 2013, vol. XIX, number 1, Section: En p.p. 3-6.

# ЭЛЕКТРОЛИТЫ ДЛЯ МАГНИЙ – ГРАФЕНОВОГО АККУМУЛЯТОРА*

**Щегольков А. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***alexxx5000@mail.ru***

Развитие концепции энергетической безопасности, истощение ресурсов, а также концентрация внимания в отношении негативного воздействия тепловых энергетических станциях на окружающую среду, все это и многое другое является актуальным в области создания новых и улучшения старых технологий хранения, преобразования энергии в целом, и аккумуляторных батарей в частности [1]. Разработка новых аккумуляторных батарей и получение оптимальных массогабаритных размеров для портативной техники, требует создание новых наноструктурированных материалов [2,3]. В этой связи существует потребность в получение электродных материалов, отличающихся высоким электрохимическим потенциалом, малой себестоимостью, производством в промышленных масштабах и отсутствием токсичности, как в случае катодного, так и в случае анодного материалов. В качестве катодных материалов наиболее изученными и исследованными являются углеродные наноструктурированные материалы, графен и графеноподобные структуры [3]. Перспективным материалом является оксид графена (GO) и восстановленный оксид графена (rGO) наносимый на поверхность токосъемного материала.

Из наиболее известных анодных материалов - магний (рис. 1) рассматривается как один из возможных вариантов замены лития в аккумуляторных батареях. Литий является не стабильным на воздухе и может воспламеняться при его воздействии. В этом случае магний стабилен в атмосфере и потенциально более энергоемкий, чем литий, с точки зрения хранения электрической энергии.

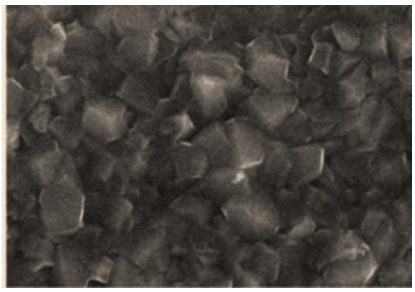


Рис. 1. Микрофотографии СЭМ магния.

Основная проблема, использования электрохимической системы Mg/rGO (рис. 2) заключается в поиске электролита, в котором магний не деградирует, и который обеспечит эффективную передачу энергии. В работе [4] говорится, что использование солевых и щелочных электролитов с магниевым анодом имеет ряд затруднений связанных в первую очередь с корроди-

рованием магния, это исключает возможность их применения в аккумуляторных батареях.

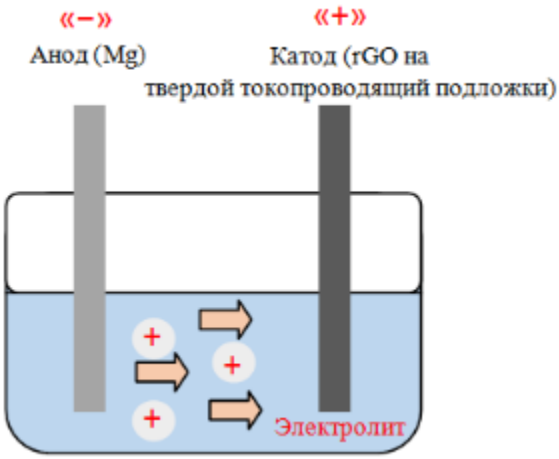



Рис. 2. Схема работы Mg/rGO аккумулятора.

Несмотря на сложность строгих условий, необходимых для функционирования электролитических растворов для магниевых батарей, данная проблема решается путем использования магниевой соли с добавлением бора. Благодаря своей инертности и не агрессивному характеру, электролит на основе магния позволяет создать электрохимическую систему Mg/rGO.

**Исследование выполнено при финансовой поддержке фонда содействия инновациям по программе УМНИК. Договор №11406ГУ/2017 от 02.05.2017*

Список используемых источников.

1. Таганова, А. А. Герметичные химические источники тока: Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации : справочник / А. А. Таганова, Ю. И. Бубнов, С. Б. Орлов. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2005. – 264 с.

2. Игнатов, А. Н. Наноэлектроника. Состояние и перспективы развития : учеб. пособие. – М. : ФЛИНТА, 2012. – 360 с.

3. Melezhyk, A. V. Synthesis of graphene nanoplatelets from peroxosulfate graphite intercalation compounds / A. V. Melezhyk, A. G. Tkachev // Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics. – 2014. – V. 5, N 2. – P. 294 – 306.

4. Кузьмин, Л. Л., Фара, Н. П. О применении магния в гальванических элементах // Труды ИХТИ. Иваново, 1956. Вып. 5

# СТРУКТУРА И РЕКОМБИНАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ ПОЛУПРОВОДНИКОВ*

**Шишкин М. И., Цветкова О. Ю., Яшина Н. Ю.**
***Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, Саратов***
**shishkin1mikhail@gmail.com**

Покрытия на основе наноразмерных частиц полупроводников, получаемые осаждением из суспензий играют важную роль в наносистемной технике [1] и в то же время достаточно просты в получении благодаря простоте нанесения на практически любой тип подложек. В данной работе исследованы оптические свойства частиц CdS и GaAs в суспензии при уменьшении их размеров вплоть до десятков нм в процессе химического травления порошков соответствующих материалов – поликристаллического порошка CdS с исходным размером частиц 1-2 мкм и GaAs с размером частиц от 100 нм до 10 мкм, полученного механическим измельчением монокристалла GaAs на шаровой мельнице. Контроль размеров наночастиц в суспензии проводился на гранулометре Zetasizer Nano ZS. Постепенное уменьшение размеров частиц при химическом травлении приводило к изменению таких важных параметров, как уровень легирования и концентрация примесей, эффективная масса, кристаллическая структура, характерных для объемных полупроводников. В перспективе травлением возможно получение наночастиц в случаях, когда синтез наночастиц из растворов солей затруднен, например, для наночастиц полупроводников AIIIBV, а альтернативные методы вроде лазерной абляции требуют дорогостоящего оборудования. Поскольку при травлении происходит не только уменьшение размеров исходных микрочастиц порошка, но и изменение их поверхности, это оказывает дополнительное влияние на их оптические свойства, в частности приводит к увеличению числа безызлучательных переходов электронов и, следовательно, к изменению квантового выхода фотолюминесценции исследуемых частиц (размеры частиц даны в таблице 1). Для сравнения в работе также приводятся результаты исследования для частиц CdS и Si, полученных химическим синтезом. Несмотря на то, что Si является материалом с непрямозонной структурой в отличие от CdS и GaAs, он обладает выраженной люминесценцией в определенном состоянии, например, в случае пористого кремния, получаемого электрохимическим травлением. Вышеуказанные полупроводники выбраны для исследования не только из-за их важного значения для промышленности, но и потому, что люминесценция этих полупроводников в нанокристаллическом состоянии находится преимущественно в видимом диапазоне, что позволяет использовать для измерения фотолюминесценции один и тот же прибор, в нашем случае им был спектрофлуориметр Cary Eclipse (Agilent Technologies), который позволял измерять люминесценцию в диапазоне 200-700 нм, длина волны возбуждающего света была 254 нм для CdS и Si, 388 нм для GaAs. .

Как видно из табл. 1 получаемые частицы на основе CdS имеют широкий разброс по размерам, поэтому их стоит называть скорее субмикронными. На рис.1 приведены спектры фотолюминесценции для суспензий, содержащих данные полупроводниковые частицы. Данные приведены с учетом спектров люминесценции растворителей без частиц (вычитались).

Таблица 1.

| Материал | Размер частиц | Метод получения |
|---|---|---|
| CdS | 20-100 нм | Синтез из растворов солей [2] |
| CdS | 40-200 нм | Поверхностное травление [3] |
| CdS | 60-120 нм | Поверхностное травление [4] |
| GaAs | 1-5 нм | Поверхностное травление [5] |
| Si | 2-8 нм | Синтез из растворов солей [6] |

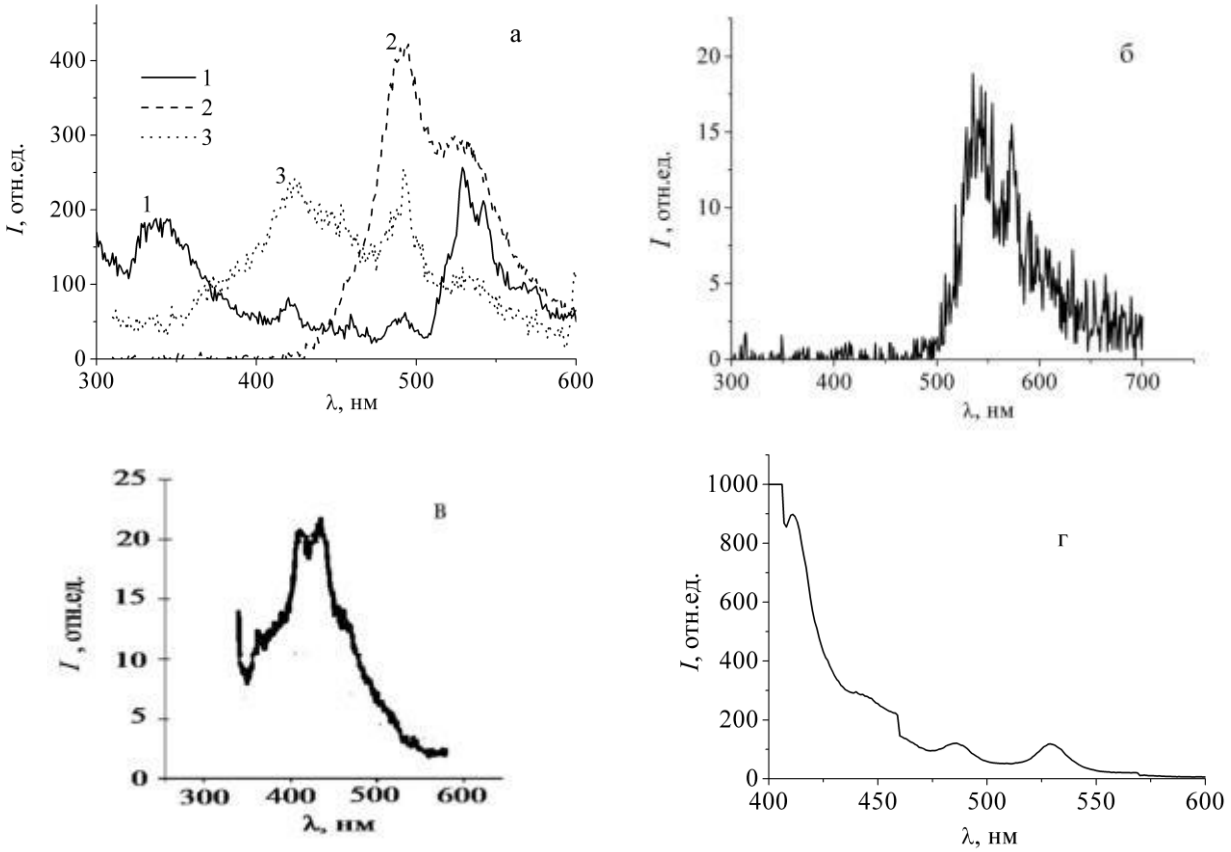



Рис. 1. Спектры фотолюминесценции суспензий с полупроводниковыми частицами: а) исходного порошка CdS (1), порошка CdS после травления способом [3] (2), порошка CdS после травления способом [4] (3); б) синтезированного порошка; в) Si синтезированный по методу [6]; г) GaAs травленый перекисно-аммиачной смесью [5].

Представленные спектры люминесценции дают представление об энергетическом положении уровней возбуждения и рекомбинации в исследуемых частицах. При этом, разумеется, надо учитывать, что хотя число исследуемых частиц полупроводников при травлении существенно не изменялось, их объемная доля в кювете становилась весьма низкой. Этим можно объяснить, к примеру, слабый пик люминесценции на фоне остаточного возбуждающего света в суспензии с частицами GaAs (500-550 нм) – рис. 1(г). Для частиц CdS (рис. 1(а)) травление пусть и существенно меняло спектр фотолюминесценции, но, тем не менее, доля излучательных переходов оставалось практически неизменной (ослабление люминесценции травленого порошка по сравнению с исходным в диапазоне 300-400 нм компенсировалось более сильной люминесценцией в диапазоне 400-500 нм). Также стоит отметить, что спектры люминесценции субмикронных частиц CdS, полученных как травлением (рис. 1(а)), так и химиче-

ским синтезом (рис. 1(б)), имели достаточно простую форму (максимум со сдвоенным пиком) по сравнению с исходным порошком CdS, что определяло их сходство со спектром люминесценции нанокристаллического Si (рис. 1(в)).

Исследование структуры субмикронных частиц подразумевало их осаждение на подложку, и поэтому структура определялась самоорганизацией этих частиц на поверхности подложки и зависела от их размеров и химических свойств. На примере суспензий с частицами GaAs видно, что при их осаждении на поверхности могут определяться как мелкие частицы ~10 нм (рис. 2 слева), так и крупные образования 300-400 нм правильной формы (рис. 2 справа).

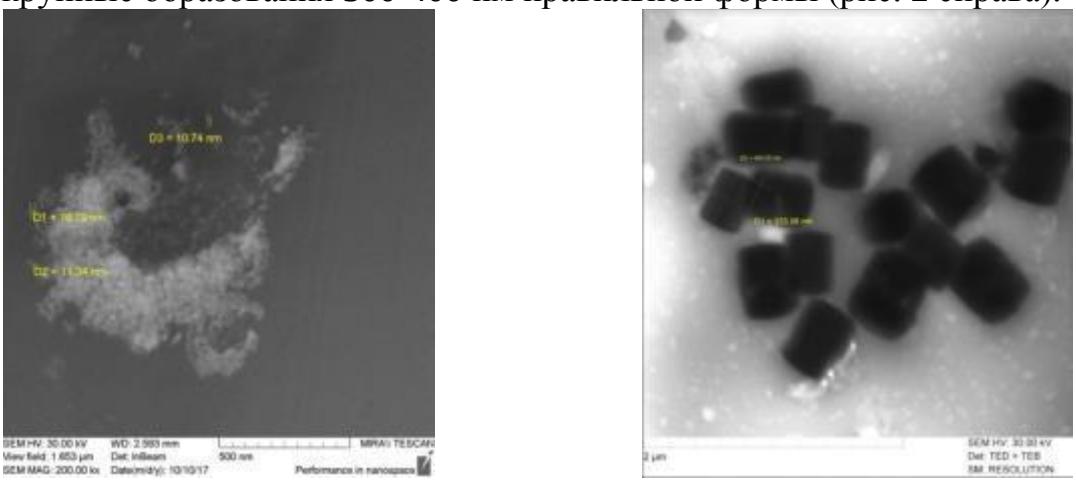


Рис. 2. Микроизображение участков слоя
на основе суспензии с частицами GaAs

**Работа поддержана грантом РФФИ № 18-37-00085 мол_а.*

Список используемых источников.

1. Сенсоры на основе металлических и полупроводниковых коллоидных наночастиц для биомедицины и экологии / С. Ф. Мусихин [и др.] // Биотехносфера. – 2013. – № 2 (26). – С. 2-16.

2. Синтез наночастиц сульфида кадмия с оболочкой оксида кремния в жидкой фазе / А. М. Токарев [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2010. – Т. 24. – № 7 (112). – С.118-122.

3. Влияние кристаллографической ориентации CdTe на его травление йодовыделяющими смесями H2O2 – C6H8O7/этиленгликоль / В. Г. Ивицкая [и др.] // Коденсационные системы и межфазные границы. – 2007. – Т. 9. – № 1. – С. 23-27.

4. Оптимизация бромвыделяющих травителей для химического полирования поверхности кристаллов нелегированного и легированного ZnSe / З. Ф. Томашик [и др.] // Вопросы химии и химической технологии. – 2012. – № 5. – С. 324-330.

5. Химическое травление GaAs, InAs, InSb водными растворами H2O2-HBr-этиленгликоль / З. Ф. Томашик [и др.] // Неорганические материалы. – 2012. – № 48 (9). – С. 985-989.

6. Захаров, В. Н. Синтез и свойства нанокремния, стабилизированного лигандами: дис. к.хим.наук. – МГУ, Москва, 2015.

# ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ МОДИФИКАТОРОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

**Слдозьян Р. Д., Толчков Ю. Н., Малютина Е. И., Михалева З. А.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Развитие строительной отрасли предполагает получение новых конструкционных материалов, композитов строительного назначения отличающихся улучшенными физико-механическими характеристиками.

Одним из перспективных направлений модифицирования цементных композитов является использование наномодификаторов различной природы, при помощи которых осуществляется направленное структурообразование строительных композитов [1].

Основной задачей при создании легких ячеистых бетонов является повышение прочностных характеристик и низких показателей по теплопроводности. Проведены экспериментальные исследования по оценке влияния наноразмерных модификаторов на физико-механические характеристики легких бетонов. Объектом исследования являлся модификатор, полученный методом механического воздействия нано-SiO2: и модификатор, приготовленный на основе углеродного наноматериала , полученного методом газофазного химического осаждения. Наномодифицирующая добавка состоит из SiO2, размерами 5-10 нм, которые обладают огромной кинетической энергией и являются активными центрами кристаллизации. Вступая в химические реакции SiO2, обеспечивает формирование кристаллических сростков низкоосновных гидросоликатов кальция вместо первичных кристаллогидратов типа портландита и высокоосновных гидросоликатов кальция, что способствует повышению плотности и прочности за счет заполнения пространства микропор кристаллическими сростками [2].

Наномодификатор нано-SiO2 добавляли в цементную композицию в сухом виде в соотношении (1, 1,5, 2, 2,5 и 3)% от веса цемента с целью определения эффективности, с точки зрения механических свойств и теплоизоляционных характеристик. Оптимальное соотношение составляло (2,5%) из-за активации пуццолановой реакции между цементом и нано-кремнеземом, также частицы нано-SiO2 заполняют промежутки геля C-S-H и действуют как ядро для плотной связи с C-S-H, что делает матрицу связующей пасты более плотной [3]. Результаты экспериментальных исследований показаны в таблице 1.

Таблица 1.

Физико-механические характеристики наномодифицированного легкого бетона.

| Содержание нано-SiO2 | Прочность на сжатие (МПа) | Прочность на растяжение (МПа) | Термическая проводимость k(w/cm.°C) | Плотность г/см3 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 17.2 | 1.92 | 0.001761 | 1.17 |
| 1.5 | 17.4 | 1.98 | 0.002354 | 1.21 |
| 2 | 18 | 2.3 | 0.002387 | 1.27 |
| 2.5 | 19.6 | 2.7 | 0.002390 | 1.33 |
| 3 | 15.7 | 2.5 | 0.002397 | 1.41 |

Результаты экспериментальных исследований с модификатором нано-SiO2 показывают увеличение прочности на сжатие и растяжение, и уменьшение плотности и теплопроводности за счет увеличения содержания микросфер вместо мелкого заполнителя. Результаты испытаний также показывают, что добавление нано-SiO2 и УНТ показывают небольшое увеличение плотности и теплопроводности, а также явное увеличение прочности на сжатие и растяжение,

причем эффективность УНТ проявляется в большей степени по сравнению с нано-SiO2.

Результаты экспериментальных исследований с модификатором нано-SiO2 показывают увеличение прочности на сжатие и растяжение, и уменьшение плотности и теплопроводности за счет увеличения содержания микросфер вместо мелкого заполнителя. Результаты испытаний также показывают, что добавление нано-SiO2 и УНТ показывают небольшое увеличение плотности и теплопроводности, а также явное увеличение прочности на сжатие и растяжение, причем эффективность УНТ проявляется в большей степени по сравнению с нано-SiO2.

Углеродный наноматериал «Таунит» представляет собой фуллереноподобные тубулированные связи и пучки углеродного наноструктурного материала. Многослойные трубки имеют в среднем наружный диаметр – 40 нм, внутренний – 5 нм., плотность: 560 кг/м3, средняя длина одиночных нанотрубок составляет – 2 мкм.

Основной проблемой при создании нанокомпозита строительного назначения является обеспечение равномерного распределения углеродного наноматериала в матрице композита. Введение наномодификатора осуществлялось в виде водной дисперсии углеродных трубок и поверхностно-активных веществ, обработанных ультразвуком в воду затворения. Нанотрубки ведут себя в цементном растворе как «зародыши» кристаллов, они способны контролировать и направлять процесс гидратационного твердения, за счёт формирования разнообразных структур, влияющих на плотность упаковки цементной матрицы, соответственно, укрепляются стенки пор легкого бетона и повышаются прочностные характеристики.

Установлено, что образцы модифицированного пенобетона имеют прочность в 1,5-2 раза превышающую прочность немодифицированных образцов. Значение коэффициента теплопроводности увеличивается в области малых концентраций УНМ и снижается при концентрации УНМ более 0,2%. Наблюдается снижение водопоглощения модифицированного пенобетона на 45-50% за счет получения более плотной структуры композита.

Сравнительный анализ данных экспериментальных исследований позволяет сделать вывод о том, что использование эффективных модификаторов на основе углеродных наноматериалов не только повысит прочность и плотность цементной матрицы за счет ускорения процесса гидратации цемента, но также обеспечит производство высокопрочного легкого бетона. Проведенные экспериментальные исследователи показывают перспективность разработки технологии наномодифицирования легкого, ячеистого бетона.

Список используемых источников.

1. Комохов, П. Г. Высокопрочный бетон на основе элементов нанотехнологии по методу золь-гель / П. Г. Комохов, Л. Б. Сватовская, В. Я. Соловьева, А. М. Сычева // Материалы IX академических чтений РААСН, Пенза: Изд-во ПГУАС, 2006. – Часть П. – С 8-10.

2. Урханова, Л. А. Бетон повышенной прочности на композиционном вяжущем / Л. А. Урханова, С. А. Лхасаранов, С. П. Бардаханов. // Строительные материалы. – 2012. – №3. – С. 23-25.

3. Hou, P. Modification effects of colloidal nano SiO2 on cement hydration and its gel property / P. Hou, S. Kawashima, D. Kong, Corr. David, J. Qian, S.P. Shah // Composites, Part B. - 2013. - Vol.45. - C. 440-448.

# ИНГИБИТОР КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕЙ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ

**Абдирахимов И. Э.[1], Буронов Ф. Э.[2]**
[1]*Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан*
abdirahimov.ilhom@mail.ru
[2]*Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан*
firdavsiy.buronov@mail.ru

Повышение качества сырьевой базы полимеров промышленных предприятий Республики и получение на их основе импортозамещающих продукций, насыщение внутреннего рынка необходимыми потребительскими товарами, а также увеличение роста экспортного потенциала является одним из важных преобразований на мировом уровне.

В борьбе с коррозией газопромышленных и транспортных, а также нефтеперерабатывающих оборудований ведётся исследования различными методами, широко применяя депрессионных, противоизносных присадок и новых ингибиторов. Исследования ингибиторов полученных полимерных композиций на основе кремнийорганических соединений сдоступной технологией и на местном сырье, способствующие снизить себестоимость готовой продукции, являются эффективными эмульгаторами для получения водно-углеводородных и водно-нефтяных эмульсионных систем, предназ-наченных для повышения нефтеотдачи пластов путём отмыва нефти и перераспределения фильтрационных потоков [1].

В качестве кремнийсодержащей полимерной композиции используют, по меньшей мере, одно маслорастворимое или водорастворимое кремнийорганическое вещество или коллоидное кремнийорганическое вещество. В качестве маслорастворимого кремнийорганического вещества используют полифункциональное алкоксисодержащее кремнийорганическое вещество - замещённый или полный эфир ортокремниевой кислоты или органохлорсилан, тетраэтоксилан или смесь метасиликата натрия, или олигорганоэтоксисилоксан под названием «продукт 119-204» ТУ 602-1294-84, или этилсиликат -40 (ЭТС-40, ГОСТ 26371-84) [2,3].

Исследованная нами разработка новых ингибиторов коррозии на основе кремнийсодержащего соединения метасиликатом натрия с стеариновой кислотой и аддуктом мочевины, которое имеет возможность растворится водо-нефтяных эмульсионных системах и отличающий своей простотой получения, можно отнести к вышеперечисленным ингибитором. Доступность и дешевизна исходного сырья ингибитора повышает его достижения.

Изучалось его влияние на коррозию стали в нефтяной среде (таблица). Как видим из таблицы, полученный ингибитор коррозии АП-1 не уступает по степени защиты импортируемому из Германии ингибитору Налько.

Таблица 1.

Влияние АП-1 на скорость коррозии стали при температуре 25 °С.

| № | Ингибиторы | Концен-трация, мг/л | Время опыта, суток | Скорость коррозии, г/м3 , суток | Степень защиты, % |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Без ингибитора | - | 40 | 0,113 | 72,4 |
| | | - | 110 | 0,024 | 75,0 |
| 2. | С ингибитором АП-1 | 10 | 40 | 0,08 | 97,9 |
| | | 10 | 110 | 0,003 | 98,2 |
| 3. | Контрольный ингибитор «Налько» | 10 | 110 | 0,0075 | 98,5 |

Исследования показывает, что ингибитор сохраняет свою активность при длительном времени, тормозит процесс коррозии стали СТ-20 в водонефтяной эмульсионной среде и повышает степень защиты. Защитные свойства поверхностных плёнок, образуемых на стали при взаимодействии с ингибиторами коррозии, можно характеризовать «эффектом последействия». Для этого образцы стали обрабатывались в течение заданного времени ингибиторами коррозии и после удаления их, определялась продолжительность времени до появления очагов коррозии на испытуемых образцах. Так, при выдержке в агрессивных средах коррозионные поражения на контрольных образцах появляются в течение первых суток, а на разработанных нами ингибированных образцах через 2—5 суток (48-120 ч).Опыты по определению влияния концентрации, продолжительности и температуры на скорость и защитное действие ингибитора проводили при атмосферном давлении.

При сопоставление данных об изменении электродного потенциала с эффектом последействия, показывает определённую зависимость между формированием защитной плёнки на стали при воздействии ингибиторов и ею защитным действием. Сдвиг потенциала в положительную область соответствует повышению защитные свойстваплёнки. Эффект последействия и потенциал стали, как видно из приведённых данных, зависят от времени воздействия ингибиторов.

Подтверждение строение соединения выше перечисленного ингибитораможно обсудить ИК-спектральным и элементным анализом. ИК- спектральный анализ полученных продуктов тоже показывает несколько функциональных групп: анализ АП-1 показали, что высокочастотные полосы в области 3372см-1 -Si-O- силановым группам, -OH гидроксильным группам 3165 см-1, полосы в интервале 2919 – 2549 см-1 соответствуют ассиметричным и симметричным валентным колебаниям связи CH3–CH-2 боковой цепи. Полосы в области 1700-1674 см-1C=O группам, полосы 1614 см-1 согласуются $>$C=NH с иминным группам,1111-см-1полосы поглощения деформационного колебания связи -O-P-O- ковалентному группу фосфатной группы.1066– 956 см-1 относятся к валентным колебанием CH2-O-Si- группы, которая связана с связями кремния.

Полученная полимерная композиция на основе АП-1 кремний-содержащего соединения, благодаря наличию в составе атомов азота и фосфора, проявляют свойства, как ингибитора коррозии стали, так и придаёт огнестойкость и повышает степень его безопасности. Огнестойкость и термостойкость АП-1 полимерной композиции на основе кремний-содержащего соединения было испытано в водно-дисперсионных эмульсионных покрытиях и определялось их огнезащитность II группы [3].

Таким образом, исследуемые ингибиторы показали высокую эффективность замедления процесса разрушения стали в нейтральных средах, получив степень защиты до 98,2%. Отличительными свойствами данных ингибиторов является низкая оптимальная концентрация, дешевизна, универсальность, импортозамещение и нетоксичность. Наиболее вероятный механизм их защитного действия заключается в образовании малорастворимых соединений с ионами железа и последующей адсорбции полимерного компонента на образовавшуюся плёнку, приводящей к замедлению роста плёнки и вследствие этого уменьшению пористости, толщины и увеличению её защитных свойств.

Список используемых источников.

1. Синтез и исследование свойств новых ингибиторов коррозии / Х. И. Кадиров, Н. А. Нигманходжаев, Л. В. Кременцкая, Д. Юсупов // Ж. Нефть и газ. Ташкент. – 2006. – № 1. – С. 40-43.

2. Использование водорастворимых силикатов для изоляционных работ в нефтедобывающих скважинах месторождения Кокдумалак / У. С. Назаров, Р. Д. Пулатов, М. Р. Мельситдинов // Ж.Нефть и газ. Ташкент. – 2006. – № 3. –С. 22-25.

3. Новые ингибиторы коррозии для соляной кислотой обработки скважин / Д. Юсупов, Л. В. Кременцкая, М. Турсунов, Б. Хамраев, Ш. Соатов // Ж. Нефть и газ. Ташкент. –2007. – № 2. – С.43-45.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ МЕМБРАННОЙ ОЧИСТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ОТ СУЛЬФАТА МЕДИ*

**Котенев С. И., Абоносимов О. А., Лазарев Д. С.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
**geometry@mail.nnn.tstu.ru**

Современные требования к сбросу промышленных сточных вод обуславливают поиск и разработку более эффективных решений в области их очистки вод [1, 2]. Наиболее рациональный путь для достижения этих целей – создание локальной системы очистки с возможностью извлечения ценных компонентов и использования очищенных вод в оборотном цикле [3].

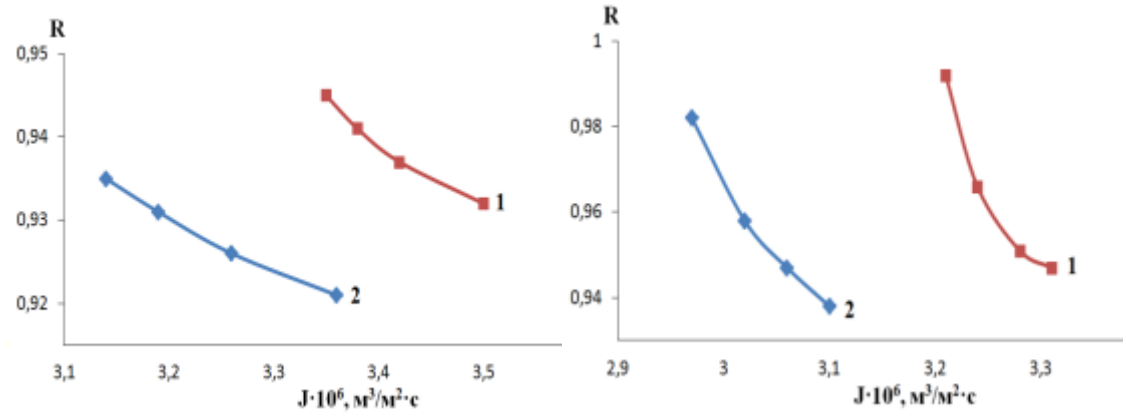
Наибольший успех в отношении эффективности и технологичности выделения цветных металлов из сточных вод достигнут при использовании методов мембранного разделения, в частности обратного осмоса, ультрафильтрации и электрохимических мембранных процессов [4–6]. Для расчета процесса электрохимического мембранного разделения необходимо иметь экспериментальные данные по кинетическим параметрам и характеристикам процесса. Одними из основных параметров, характеризующих эффективность процесса при электрохимическом мембранном разделении, являются выходная удельная производительность и коэффициент задержания мембраны [6].

Цель настоящей работы состояла в исследовании эффективности электрохимической мембранной очистки технологических растворов от сульфата меди.

В данной работе определяли зависимости коэффициента задержания от выходного удельного потока мембран МГА-95, ОПМ-К при электрохимической мембранной очистке технологических растворов от сульфата меди. Исследования проводили на лабораторной электрохимической мембранной установке по методике, подробно рассмотренной в работе [4]. Полученные зависимости коэффициента задержания от выходного удельного потока мембран представлены на рисунках 1,2.

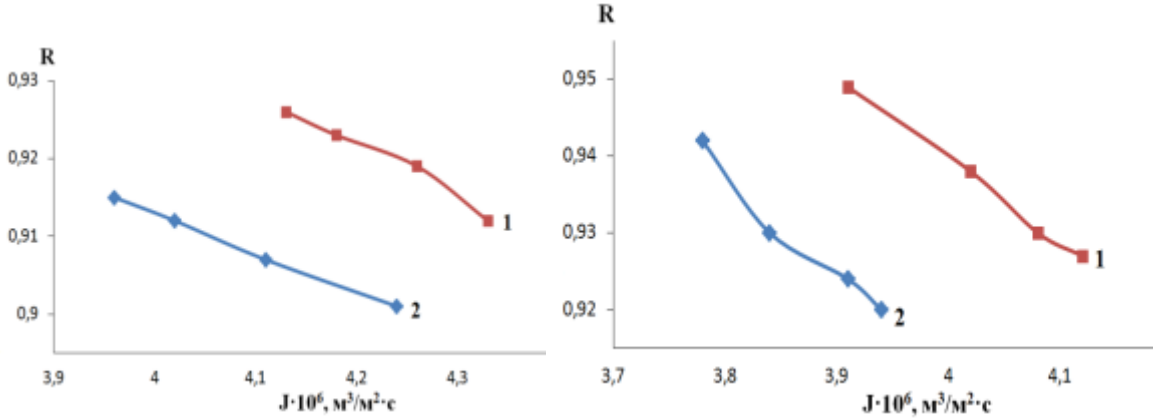
Из приведенных данных следует, что при увеличении выходного удельного потока растворителя через мембрану коэффициент задержания снижается для всех представленных зависимостей. Это явление объясняется тем, что перенос растворенного вещества через мембрану обусловлен в основном конвективным потоком растворителя.

С ростом концентрации исходного раствора коэффициент задержания снижается, что объясняется преимущественным переносом растворителя относительно растворенного вещества. На величину R большее влияние оказывает концентрация, чем давление [4,5], а также природа матрицы полупроницаемых мембран, что подтверждается нашими экспериментальными данными.




а) б)

Рис. 1. Зависимости коэффициента задержания от выходного удельного потока растворителя прикатодной (а) и прианодной (б) мембран МГА-95П для растворов сульфата меди ; Сисх = 0,02 кг/м3 (1) и 0,03 кг/м3 (2).




а) б)

Рис. 2. Зависимости коэффициента задержания от выходного удельного потока растворителя прикатодной (а) и прианодной (б) мембран ОПМ-К для растворов сульфата меди; Сисх = 0,02 кг/м3 (1) и 0,03 кг/м3 (2)

Анализ зависимостей, представленных на рисунках 1,2, показал, что коэффициент задержания R находится в линейной зависимости от плотности тока, однако, отмечается различное изменение коэффициентов задержания для прианодных и прианодных мембран. Это явление, видимо, вызвано «блокировкой» пор прикатодных мембран за счет отвода основной группы ионов [4].

Для теоретического расчета коэффициента задержания с наложением электрического тока применялось выражение [7]

$$R = 1 - \left\{ 1 + \left( \frac{1}{k_1 k_p} - 1 \right) \left[ 1 - \exp\left( -\frac{k_2 J k_p i \eta}{D k_p i \eta} \right) \right] \exp\left( -k_3 J \right) \right\}^{-1}, \quad (1)$$

где k1, k2, k3 – эмпирические коэффициенты (табл. 2); i – плотность тока, А/м2; η – выход по току, %; kp – коэффициент распределения мембран; D –коэффициент диффузии, м2/ с.

Таблица 1.

Значения эмпирических коэффициентов для выражения (1).

| Наименование | Мембрана* | k1 | k2 | k3 |
|---|---|---|---|---|
| Раствор меди | МГА-95П (п/а) | 8,7·10–8 | 0,99 | 0,80 |
| | МГА-95П (п/к) | 9,4·10–8 | 0,99 | 0,86 |
| | ОПМ-К (п/а) | 0,08 | 1,0 | 93537 |
| | ОПМ-К (п/к) | 0,1 | 1,0 | 90709 |

*Мембрана прианодная (п/а) и прикатодная (п/к).

Сравнение экспериментальных и расчетных значений коэффициента задержания показало их удовлетворительное совпадение.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания.*

Список используемых источников.

1. Gogina, E., Makisha, N. Information technologies in view of complex solution of waste water problems // Appl. Mech. Mater. – 2014. – Vol. 587-589. – P. 636–639.

2. Проблемы экологии и рационального природопользования в контексте экономического развития России / В. В. Сажия, А. Б. Полковников, И. Селдиас // Успехи в химии и химической технологии. – 2009. – № 12 (105). – С. 94–108.

3. Очистка сточных вод на металлургических предприятиях / В. А. Колесников, В. И. Ильин, А. А. Кучеров // Экология производства. – 2010. – № 3. – С. 31–36.

4. Акулинчев, А. М. Исследование электробаромембранного разделения промышленных технологических растворов, содержащих ионы тяжелых металлов Pb, Ca, Fe/ А. М. Акулинчев, О. А. Абоносимов, С. И. Лазарев // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23. – № 1. – С. 120-128.

5. Кинетические зависимости и технологическая эффективность электрохимического мембранного разделения сточных вод на предприятиях / О. А. Абоносимов, М. А. Кузнецов, О. А. Ковалева, В. М. Поликарпов, В. М. Дмитриев // Вестн. ТГТУ. –2017. – Т. 23. – № 4. – С. 641–655.

6. Membrane electrolysis – History, current status and perspective / M. Paidar, V. Fateev, K. Bouzek // Electrochim. Acta. – 2016. – Vol. 209. – P. 737–756.

7. Model for calculating the mass transfer in electro-barreled devices of a roll type / S. I. Lazarev, O. A. Abonosimov, M. A. Ryabinsky, A. S. Gorbachev // Izv. vuzov. Khimiya i khimicheskaya tehnologiya. –2008. – Vol. 51. – Vol. 5. – P. 109–111.

# РЕКОНСТРУКЦИЯ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ РАСТВОРА АМИНА ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ И СМОЛ

**Султонов Н. Н.**
***Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан***

Основная часть сероводородсодержащих газов на газоперерабатывающих заводах осуществляется с применением аминовых растворов. Очистка аминовых растворов от механических примесей имеют важное значение при подготовки газа к транспорту, потому что в аминовых растворах скапливается механические примеси, продукты коррозии и др.

Производственные растворы загрязняются примесями, вносимыми с газом со скважины (жидкие углеводороды, органические кислоты, применяемые реагенты), с водой (хлориды), используемой для приготовления растворов, продуктами коррозии оборудования и деградации аминов (термической и химической). В результате уменьшается поглотительная способность амина, усиливаются коррозионноактивные свойства и пенообразующие тенденции раствора [1].

Растворы амина могут деградировать в реакциях с CO2, O2, с органическими соединениями серы [2].

Известно несколько направлений реакций с кислородом: это прямое окисление аминов до органических кислот и косвенная реакция кислорода с сероводородом до образования элементарной серы, которая затем реагирует с аминами с получением дитиокарбаматов, тиомочевины и других продуктов. Третий способ разложения аминов под действием кислорода – окисление H2S до более сильных кислотных анионов, таких как тиосульфат, который связывает амин в термоустойчивую соль.

Роль кислорода в образовании карбоновых кислот была исследована Бланком и др. Воздух барботировали через водные растворы аминов при 90 оС. Через 30 дней было найдено: в ДЭА – 0,8 % муравьиной кислоты, 0,15 % - щавелевой, 0,2 % - уксусной; в МДЭА – 0,3 % муравьиной. Эти же авторы в автоклаве при 90 °С в результате реакции H2S и CO2 в растворе ДЭА обнаружили 1,4 % тиосульфат-иона в амине. При анализе растворов ДЭА и МДЭА с заводов, производящих их, на признаки окисления найдены в них уксусная, пропионовая, щавелевая и тиосерная кислоты. Концентрация всех солей аминов этих кислот в образцах растворов составляла 0,24-3,0 %.

Большинство аминов реагирует с CO2, образуя продукты разложения. Реакции разложения диэтаноламина в присутствии CO2 катализируются, но не расходуют CO2, в то время как в других реакциях амин - CO2 последний расходуется. МДЭА, который не образует карбаматы, не разлагается диоксидом углерода.

Продукты взаимодействия ДЭА с компонентами сырого газа (например, с меркаптанами):

$$RSH + (HOC_2H_5)_2NH = RS^- [H_2N(C_2H_5OH)_2]^+$$

обладают свойствами ПАВ, стабилизирующих пены; МДЭА образует с меркаптанами менее устойчивые соли аммонийной природы, чье участие в стабилизации пен сведено к минимуму.

Среди образующихся в системе очистки продуктов деградации получаемые в реакциях активного амина с высококислотным загрязняющим веществом - термостабильные соли (ТСС), способствующие возрастанию коррозионности раствора. Такие соли коррозионны, потому что понижают pH раствора, увеличивают его проводимость и могут также действовать как хелатные агенты (т.е. вызывают образование хелатных соединений) и растворять защитную пленку, покрывающую металл.

Список используемых источников.

1. Макогон, Ю. Ф., Хорошилов, В. А. // Борьба с гидратами при транспорте природных газов. – М., 1963.

2. Коуль, А. Л., Ризенфельд, Ф. С. Очистка газа. – М.: Недра, 1968.

# МОДИФИЦИРОВАНИЕ ГРАНУЛИРОВАННОГО ЦЕОЛИТА ZSM-5 С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ ПОСТСИНТЕТИЧЕСКИМИ ОБРАБОТКАМИ

**Садыков Т. Т.[1], Хафизов[1] Р. Р., Травкина О. С.[1, 2]**
***[1]Башкирский государственный университет, Уфа***
***[2]Институт нефтехимии и катализа РАН, Уфа***
**simchanka@mail.ru**

Создание и внедрение высокоселективных катализаторов для синтеза промышленно значимых продуктов, позволяющих минимизировать выход побочных соединений и отходы, замена таких катализаторов, как серная кислота, хлорид алюминия на более эффективные катализаторы являются приоритетными направлениями развития катализа в России. Широкие возможности для осуществления разнообразных химических превращений органических соединений и их смесей предоставляют каталитические системы на основе цеолитов. В пористой кристаллической структуре различных катион-декатионированных форм цеолита ZSM-5 присутствуют сильные кислотные центры, которые проявляют каталитическую активность в реакциях кислотно-основного типа, например, в гидрогенизации, гидрокрекинге н-гептана, изомеризации алкилароматических углеводородов, крекинге углеводородов, диспропорционировании алкилароматических углеводородов.

Цель исследований заключалась в создании на основе гранулированного цеолита ZSM-5 высокой степени кристалличности и требуемой пористой структурой новых каталитических систем для реакций кислотно-основного типа.

Постсинтетические обработки порошкообразного цеолита ZSM-5 – удобный метод модифицирования его кислотных свойств и структуры при приготовлении промышленных катализаторов. В то же время отсутствует информация о влиянии постсинтетических обработок на физико-химические свойства гранулированного цеолита ZSM-5 в катион-декатионированных формах.

В данной работе было проведено исследование влияния обработки в водных растворах лимонной кислоты различной концентрации, а также последовательной обработки в среде водяного пара (ТПО) и в водном растворе лимонной кислоты. Для сравнения таким же обработкам был подвергнут образец порошкообразного микропористого цеолита ZSM-5 в NH4-форме.

Обнаружено, что в растворах с концентрацией кислоты 0,3Н и выше присутствует алюминий, содержание которого возрастает при увеличении концентрации кислоты. Так после обработки образца гранулированного цеолита ZSM-5 в NH4-форме 0,3; 0,5 и 0,9Н растворами лимонной кислоты концентрация алюминия в растворе составляет 0,47; 1,13 и 2,44 г/л, соответственно. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при обработке раствором лимонной кислоты с концентрацией 0,3Н и выше происходит деалюминирование образца цеолита. Следует отметить, что у гранулированного образца после ТПО и обработки раствором лимонной кислоты той же нормальности степень деалюминирования выше, чем у образца, обработанного лимонной кислотой. Причина повышенной степени деалюминирования объясняется тем, что в процессе ТПО происходит частичное деалюминирование его кристаллического каркаса и выход части алюминия в каналы. Поэтому при последующей кислотной обработке эта часть алюминия удаляется из цеолита быстрее, чем из кристаллической решетки.

Из сравнения результатов деалюминирования образцов порошкообразного и гранулированного цеолита ZSM-5 следует, что в первом случае степень удаления алюминия ожидаемо выше, чем во втором.

Установлено, что при обработке гранулированных образцов цеолита ZSM-5 раствором лимонной кислоты различной концентрации степень кристалличности цеолита не изменяется.

Список используемых источников.

1. Мишин, И. В. Регулирование структурных, адсорбционных и каталитических свойств цеолитов путем изменения состава каркаса // Дисс…. докт. хим. наук. – Москва, 1995. – 375 с.

# УТИЛИЗАЦИЯ КАРБОНАТНОКАЛЬЦИЕВЫХ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ВОДОПОДГОТОВКЕ НА ПРЕДПРИЯТИИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

**Куликова Д. С.[1], Суворова Ю. А.[1], Парамонова Е. В.[2]**
*[1]Тамбовский государственный технический университет, Тамбов*
**culikovadaria@yandex.ru**
*[2]ПАО «Квадра» - «Тамбовская генерация», Тамбов*

На предприятиях топливно-энергетического комплекса вода перед использованием проходит несколько стадий водоподготовки, одной из которых является известкование для снижения временной жесткости. Для данного процесса используют известковое молоко – водную суспензию гидроксида кальция Ca(OH)2. При известковании воды протекает процесс ее декарбонизации (реакция 1) с образованием нерастворимого осадка карбоната кальция на твердой поверхности гидроксида кальция

$$Ca(OH)2 + HCO3- + H2O = CaCO3\downarrow + H2O. \quad (1)$$

Карбонатнокальциевые отходы процесса известкования выводятся из очистных сооружений и отправляются на хранение. Помимо CaCO3 отходы содержат примеси (не более 20 % масс. карбоната магния, сульфата железа)

Объем карбонатнокальциевых отходов водоподготовки весьма существенен. Так, на предприятии ПАО «Квадра» - «Тамбовская генерация», г. Тамбов их образуется около 1,5 тыс. т/год. В настоящее время данные отходы не перерабатываются и не используются, хранятся на территории предприятия, занимая его значительные площади, тогда как карбонат кальция и получаемые из него продукты могут найти широкое применение в различных отраслях: строительстве, химической, бумажной промышленности, фармацевтике, сельском хозяйстве. Из карбоната кальция получают известковое молоко, используемое при водоподготовке.

В связи с этим разработка технологии утилизации карбонатнокальциевых отходов водоподготовки является актуальным направлением.

Получение гидроксида кальция из карбоната кальция возможно двумя способами [1, 2]:

- термолиз CaCO3 с дальнейшей гидратацией;
- растворением CaCO3 кислотой с дальнейшим осаждением Ca(OH)2 при добавлении щелочи.

Первый способ для предприятия топливно-энергетического комплекса представляется более целесообразным, так как для термического разложения может быть использовано вторичное тепло для предварительного подогрева отходов перед термолизом. Также для реализации первого способа не требуется дополнительные сырьевые ресурсы, в отличие от второго способа.

Термолиз карбоната кальция проходит со значительным поглощением тепла (реакция 2)

$$CaCO_3 + 43 \text{ ккал} \leftrightarrow CaO + CO_2\uparrow \quad (2)$$

Разложение углекислого кальция наблюдается уже примерно при 600˚С. Более высокие температуры (800-850 ˚С) ускоряют это разложение [3].

Гидратация оксида кальция (реакция «гашения») протекает с выделением тепла:

$$CaO + H_2O \leftrightarrow Ca(OH)_2 + 16 \text{ ккал} \quad (3)$$

Целесообразно проводить процесс гашения мокрым способом с получением известкового молока для дальнейшего его использования при водоподготовке.

Для реализации технологии переработки карбонатнокальциевых отходов на предприятии топливно-энергетического комплекса предлагается спроектировать следующее технологическое оборудование:

- рекуперационный теплообменник для предварительного подогрева отходов вторичным теплом;
- печь для термолиза отходов;
- реактор с мешалкой для проведения процесса гидратации продукта термолиза.

Переработка карбонатнокальциевых отходов, образующихся при водоподготовке, по предложенной технологии позволит решить проблемы: накопления отходов на территории предприятия; закупки сырья (гидроксида кальция) для проведения известкования воды, утилизации вторичного тепла.

Список используемых источников.

1. Пат. EP 2366666, МПК C01F11/02. Process for producing a calcium hydroxide compound / Suzuki Takafumi, Matsushima Masatoshi - 2011-09-21

2. Заявка РФ 2009138752, МПК B01J20/04. Карбонат кальция с обработанной поверхностью и его применение при обработке сточных вод/ Гейн Патрик А. С., Шелкопф Йоахим, Гантенбайн Даниэль, Джерард Дэниел Е. – опубл. 27.04.2011

3. Монастырев, А. В. Производство извести. – М.: Высшая школа, 1986 – 192 с.

# ОЧИСТКА И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОЧВ ПОСЛЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ

**Абдирахимов И. Э., Буронов Ф. Э.**
***Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан***
**abdirahimov.ilhom@mail.ru, firdavsiy.buronov@mail.ru**

Современные темпы развития промышленности и всё возрастающие энергетические потребности человечества приводят к ежегодному росту нефтедобычи во всем мире, поэтому в последние десятилетия обострились вопросы, связанные с влиянием нефтяных и нефтехимических производств на экологическую ситуацию в различных регионах.

Нефть и нефтепродукты признаны приоритетными загрязнителями окружающей среды. Поступая в почву, они в первую очередь влияют на ее биологические свойства. Изменяется общая численность микроорганизмов, их качественный состав, структура микробоценозов, падает интенсивность основных микробиологических процессов и активность почвенных ферментов, и т.д.

Почва, загрязненная нефтью и нефтепродуктами, становится не способной выполнять свои экологические функции полноценно. Нарушение информационных биогеоценотических функций происходит уже при содержании нефти и нефтепродуктов в почве до 1 %, химических, физико-химических, биохимических и целостных биогеоценотических функций — 1-5 % для нефти и моторного масла и 1-10 % для бензина и солярки, физических функций — более 5 и 10 % соответственно. Нефтяное загрязнение создает новую экологическую обстановку, что приводит к глубокому изменению всех звеньев естественных биоценозов или их полной трансформации. Общая особенность всех нефтезагрязненных почв - изменение численности и ограничение видового разнообразия педобионтов (почвенной мезо - и микрофауны и микрофлоры). Типы ответных реакций разных групп педобионтов на загрязнение неоднозначны. Происходит массовая гибель почвенной мезофауны: через три дня после аварии большинство видов почвенных животных полностью исчезает или составляет не более 1%. Наиболее токсичными для них оказываются легкие фракции нефти. Комплекс почвенных микроорганизмов после кратковременной задержки отвечает на нефтяное загрязнение повышением численности и усилением активности. Прежде всего, это относится к углеводородоокисляющим бактериям, количество которых резко возрастает относительно незагрязненных почв. Развиваются "специализированные" группы, участвующие на разных этапах в утилизации углеводородов. Максимум численности микроорганизмов соответствует горизонтам ферментации и снижается в них по профилю почв по мере уменьшения концентраци углеводородов. Основной "взрыв" микробиологической активности падает на второй этап естественной деградации нефти.

В процессе разложения нефти в почвах общее количество микроорганизмов приближается к фоновым значениям, но численность нефтеокисляющих бактерий еще долгое время превышает те же группы в незагрязненных почвах. Дыхание почв также чутко реагирует на нефтяное загрязнение. В первый период, когда микрофлора подавлена большим количеством углеводородов, интенсивность дыхания снижается, с увеличением численности микроорганизмов интенсивность дыхания возрастает.

Почву принято считать загрязненной нефтью, если концентрация горючего материала достигает уровня, когда происходит:

– угнетение или деградация растительного покрова;

– снижение продуктивности сельскохозяйственных угодий;

– нарушение экологического равновесия в почвенном биоценозе;

– вытеснение одним или двумя произрастающими видами растительности других, замедление деятельности микроорганизмов;

– вымывание нефти из почв в поверхностные или подземные воды.

Безопасный уровень загрязнения почв нефтепродуктами - уровень, при котором не наступает ни одно из перечисленных выше последствий, вследствие нефтяного загрязнения.

В настоящее время существует выбор различных методов по снижению и предотвращению нефтяных загрязнений почв. В общем виде можно представить их классификацию следующим образом:

- механический;
- физико-химический;
- микробиологический;
- агротехнический.

Выбор определенного метода напрямую зависит от следующих факторов: уровень загрязнения, состав нефти, продолжительность загрязнения, свойства почвы, ландшафтные и климатические условия. Как правило, используется комплексный подход в решении данных вопросов.

За последнее время наибольшую популярность среди методов ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов приобрел сорбционный метод.

Анализ технических условий сбора нефти и физико-химических закономерностей сорбции позволяет сформировать базовые требования к оптимальному сорбенту для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности почвы. Такими требованиям являются: большая сорбционная емкость сорбента; высокая селективность по отношению к извлекаемому веществу.

Сорбент ВД-1 может эффективно использоваться для очистки почвенных грунтов от нефтепродуктов. С помощью сорбента производится очистка почвы от нефти – путем выжигания нефти из различных грунтов и почв, предотвращается ее попадание в водоносные слои почвы. При использовании сорбента ВД-1 грунт под пламенем не прогревается выше критических температур, что благоприятствует его быстрому восстановлению. Сорбент ручным способом, либо в струе воздуха в необходимом объеме, подается на зараженный участок. При помощи небольшого количества легковоспламеняющейся жидкости распыленной на поверхность сорбента, производится под-

жог. Обладая высоким капиллярным воздействием на нефть, сорбент интенсивно вытягивает пары нефти из почвы, создавая устойчивое интенсивное горение. Теплоизоляционные свойства сорбента создают под ним благоприятную для горения среду. В процессе горения происходит небольшое спекание продуктов распада нефти. Для поддержания интенсификации горения необходимо периодически механическим путем взрыхлять его поверхность. Практические опыты показали высокую эффективность этого способа. Термическому воздействию подвергается только верхний слой сорбента, грунт под ним не нагревается до температур разрушающих плодородный слой.

Почва - это связующее звено между атмосферой, гидросферой, литосферой и живыми организмами и играет важную роль в процессах обмена веществами и энергией между компонентами биосферы. Почва - это средоточие жизни, среда обитания многих живых организмов.

В заключение необходимо отметить, что"Дыхание" почвы существенно изменяет состав приземного слоя атмосферы. Почвенная влага, формируясь из атмосферных осадков, в дальнейшем определяет химический состав грунтовых, речных, озерных и в значительной мере морских вод. В почве постоянно и одновременно протекают химические, физические и биологические процессы. Немаловажную роль здесь играют процессы ферментативного и каталитического окисления, восстановления и гидролиза. В результате почва обогащается необходимыми неорганическими и органическими веществами, происходит химический круговорот веществ - сущность развития почвы, ее плодородия. Очищение почвы от загрязнения нефтью и нефтепродуктами дает возможность сохранить её природные свойства и воспользоваться ею долгие века.

Список используемых источников.

1. Киреева, Н. А. Микробиологические процессы в нефтезагрязненных почвах. – Уфа: БашГУ, 1994. – С.171.

2. Грецкова, И. В., Буланова, А. В. Пробоподготовка почвы для анализа при контроле загрязнения почвы нефтью и нефтепродуктами. // Изв. Вузов. Химия и химич.технология. – 2004. – Т. 47. – Вып. 1. – С. 154-156.

# ОСОБЕННОСТИ СО-ДИФФУЗИИ ФОСФОРА И ГАЛЛИЯ В ГЕРМАНИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ 1 КАСКАДА МУЛЬТИКАСКАДНОГО СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

**Фомин В. М., Кобелева С. П.**
***Национальный Исследовательский Технологический Университет «МИСиС», Москва***
***vlifom@yandex.ru***

Многокаскадные солнечные элементы (МК СЭ) на основе полупроводниковых соединений A3B5, обладающие максимальными теоретическими значениями КПД, признаны наиболее перспективными для космических применений [1]. В качестве подложки и первого каскада таких элементов используется Ge, p-n переход в котором создается диффузией фосфора в сильно легированную галлием подложку [2]. Из литературных данных известно, что элементы 5 группы при больших концентрациях примеси диффундируют ускоренно за счет образования отрицательно заряженных пар примесь-вакансия, концентрация которых увеличивается при приближении уровня Ферми к зоне проводимости. Это приводит к росту коэффициентов диффузии элементов 5 группы, в частности фосфора, с увеличением концентрации примеси, что хорошо описывается моделью концентрационно-зависимой диффузии [3]. Численные значения коэффициентов диффузии у различных авторов заметно отличаются, что может быть связно в первую очередь с различным дефектным составом германия.

При формировании первого каскада МК СЭ диффузия фосфора идет из буферного слоя In0,56Ga0,44P и на профиле фосфора выделяются 3 участка, границы которых определяются двумя формирующимися p-n переходами [4]. Образцы для исследования получены методом МОС-гидридной эпитаксии на реакторе Veeco E450 LDM. Детали технологии и измерений профилей P и Ga изложены в [4,5], температура проведения диффузии 635ОС, время проведения диффузии — 2,6 мин. Мелкий p-n переход, расположенный на глубине порядка 30 нм от границы слоя германия, образуется за счет того, что в слой германия помимо фосфора диффундирует и галлий, причем поверхностная концентрация последнего оказалась выше концентрации фосфора [4]. В результате в контактном с гетеропереходом слое германия образуется p-n-p структура и рабочий для СЭ элемента p-n переход лежит на глубине 120 — 130 нм. Оцененный для приповерхностной p области коэффициент диффузии галлия в приближении закона Фика Dga= 1,4 10-15 см2/с оказался заметно выше известных литературных данных 6 *10-17 - 2,3 10-16 см2/с [6]. В области, в которой рассчитывали Dga , присутствует сильное поле первого p-n перехода, направленное к границе раздела, ускоряющее отрицательно заряженные атомы галлия, что и может приводить к заметному увеличению эффективного коэффициента диффузии.

Коэффициент диффузии фосфора (DP) даже в электронной области, для которой известные диффузионные модели разрабатывались, заметно отличался от современных литературных данных. На величины коэффициентов диффузии в рассматриваемых структурах могли оказать влияние как сильные электрические поля p-n переходов, так и присутствие примеси, диффундирующей также по вакансионному механизму. Причем очевидно, что DP на разных участках диффузионного профиля заметно отличаются.

Для расчетов величины DP в данной работе использовали модель координатной диффузии [7]. В этой модели предполагается, что коэффициент диффузии зависит от координаты и учитывается как диффузионная, так и дрейфовая компонента потока атомов примеси. Последняя будет играть заметную роль при наличии электрических полей в материале.

На рис.1. представлена зависимость рассчитанного по методу координатной диффузии коэффициента диффузии фосфора от расстояния до границы гетероструктуры, дающая максимальное соответствие экспериментального и теоретического профилей распределения фосфора.

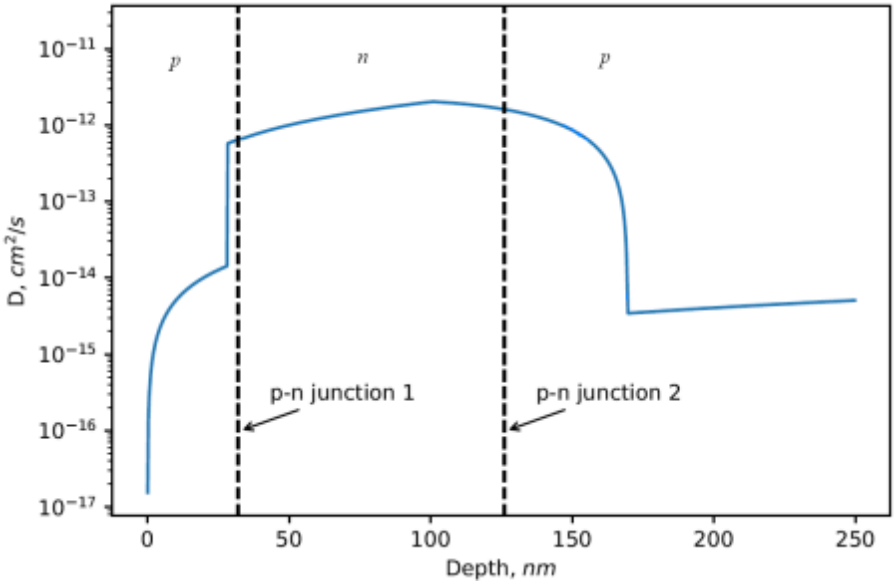



Рис. 1. Зависимость коэффициента диффузии P в Ge от расстояния до границы гетероструктуры при температуре 635 °C.

В первой области коэффициент диффузии закономерно растет с ростом n. В третьей области, которая при температуре диффузии является собственной (NGa < ni), он практически постоянный, DP = 5 10-15 см2/с и довольно близок максимальному значению предложенного в [8] Di (Di = 5 10-16 – 3,7 10-15 см2/с). В n области полученный в данной работе коэффициент диффузии фосфора DP ~ 10-12 см2/с заметно превышает максимально возможное значение по вакансионной модели, равное 3,6 10-14 см2/с. Это может быть связано как с ускорением диффузии фосфора в присутствии галлия, так и влиянием близко расположенного поля основного p-n перехода на процесс диффузии.

В целом можно отметить, что расчет распределения эффективного коэффициента диффузии фосфора в германии при температуре 635 °C при

диффузии из поверхностного слоя In0.56Ga0.44P с использованием формализма модели координатной диффузии показал, что основная тенденция моделей вакансионно-зависимого диффузионного процесса фосфора в германии — увеличение коэффициента диффузии с ростом концентрации свободных электронов — наблюдается и в исследуемой структуре. Однако величины коэффициентов диффузии оказываются на 1 — 2 порядка выше ожидаемых по известным диффузионным моделям. Одной из возможных причин такого увеличения коэффициента диффузии фосфора в германии может быть влияние отрицательно заряженных атомов галлия на распределение собственных точечных дефектов в образце, а также с возможностью образования донорно-акцепторных пар, диффузия которых в германии до настоящего времени не исследовалась.

Список используемых источников.

1. King, R. R., Bhusari, D., Larrabee, D. Solar cell generations over 40% efficiency // Progress in Photovoltaics: Research and Applications. – 2012. – V. 20. – № 6. – P. 801-815.

2. Kalyuzhnyy, N. A., Gudovskikh A. S., Evstropov V. V., Lantratov V. M., Mintairov S. A., Timoshina N. Kh., Shvarts M. Z. Germanium subcells for multijunction GaInP/GaInAs/Ge solar cells // ФТП. – 2010. – Т. 44. – Вып. 11. – С. 1568.

3. Chroneos A., Bracht H. Diffusion of n-type dopants in germanium // Appl. Phys. Rev. –2014. – V. 1. – I.1. –N. 011301.

4. Влияние гетероструктуры In0,56Ga0,44P /Ge на диффузию фосфора в германии при формировании многокаскадного солнечного элемента / С. П. Кобелева, И. М. Анфимов, С. Ю. Юрчук, Е. А. Выговская, Б. В. Жалнин // ПЖТФ. – 2012. – V.38. – № 24. – P.33.

5. Some aspects of phosphorus diffusion in germany in nanostructure In0,01Ga0,99As/In0,56Ga0,44P/Ge. / S. P. Kobeleva, I. M. Anfimov, S. Y. Yurchuk, A. V. Turutin // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2013. –V. 4. – № 4. – 04001.

6. Diffusion in Semiconductors and Non-Metallic Solids. Subvolume A. Diffusion in Semiconductors / Beke D, editor. – Springer. – 1998. – 575 p.

7. Малкович, Р. Ш. К анализу координатно-зависимой диффузии // ЖТФ. – 2006. – Т. 76. Вып. 2. – С. 137.

8. Intrinsic, extrinsic diffusion of phosphorus, arsenic, antimony in germanium / S. Brotzmann, H. Bracht // Journal of applied physics. – 2008. – P. 103.

# СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ГРАНУЛИРОВАННОГО ЦЕОЛИТА СТРУКТУРНОГО ТИПА MFI БЕЗ СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

**Галяутдинова Л. С.[1], Травкина О. С.[1, 2]**
*[1]Институт нефтехимии и катализа РАН, Уфа, simchanka@mail.ru*
*[2]Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа*

Широкие возможности разработки новых высокоэффективных катализаторов и адсорбентов для различных процессов нефтепереработки и нефтехимии появились в последние годы в связи с освоением синтеза цеолитов типа MFI. Их применение наиболее перспективно в процессах крекинга, селективного гидрокрекинга, изомеризации, алкилирования, ароматизации при переработке массового высокопарафинистого сырья [1,2]. Особенно важна роль цеолитов типа MFI в развитии процессов получения моторных топлив из нефтяного сырья (метанола и синтез-газа), процессов прямого превращения метана в высшие углеводороды, утилизации углеводородных стоков и газообразных выбросов нефтеперерабатывающих заводов, гидродепарафинизации масел, ароматизации пропана и пропилена.

Среди многочисленных процессов нефтехимического синтеза производство этилбензола (ЭБ) занимает одно из ведущих мест. Мировые мощности его производства методом алкилирования бензола этиленом составляют около 40 млн. т/год и ежегодно возрастают на 4-5 % [3].

Большинство современных разработок в области совершенствования процесса алкилирования бензола этиленом посвящены созданию и использованию гетерогенных, в частности цеолитных катализаторов, среди которых, широко используется катализатор на основе цеолита структурного типа MFI (цеолит ZSM-5) [3].

Цель исследований заключалась в создании на основе гранулированного цеолита ZSM-5высокой степени кристалличности и требуемой пористой структурой новых каталитических систем для реакций кислотно-основного типа.

В результате исследований разработаны способы синтеза порошкообразного и гранулированного цеолита ZSM-5 высокой фазовой чистоты и степенью кристалличности не менее 90% из метакаолина с использованием в качестве темплатан-бутанола.

Способ синтеза порошкообразного цеолита ZSM-5включает следующие стадии: деалюминированиеметакаолина путем обработки 5М раствором серной кислоты при 800С и постоянном перемешивании в течении 6-8часов, отмывка до pH=7; кристаллизация полученного продукта в реакционной смеси состава 2,2 Na2O : 2,3 R2O : Al2O3 : 70 SiO2 : 444 H2O при 170-175оС в течение 94-96часов с предварительной выдержкой при 30оС- 24ч.

С помощью методов химического и рентгеноструктурного анализа, ИК-спектроскопии, адсорбционных измерений, ртутной порометрии опреде-

лены химический и фазовый составы, характеристики пористой структуры, а также адсорбционные свойства гранулированных цеолитов ZSM-5.

Показано, что увеличивая температуру кристаллизации с 120 до 140оСможно в значительной степени изменить физико-химические свойства (общий объем гранул, объем, удельная поверхность и распределение пор по размерам вторичной пористой структуры) гранулированного цеолита ZSM-5 за счет увеличения степени его кристалличности.

Список используемых источников.

1. Исаков, Я. И. Использование цеолитных катализаторов в нефтехимии и органическом синтезе // Нефтехимия. – 1998. – Т. 38. – № 6. – С. 404-438.

2. Патент №2460715 РФ, МКИ C07C15/107. Способ получения моноалкилированных ароматических соединений с высокой линейностью и регулируемой изомерией / Берна Техеро Хосе Луис (ES), ГонсальвесАльмейда Хосе Луис (ES).

3. Синтез и исследование катализаторов алкилирования бензола этиленом на основе цеолита ZSM-5 / М. Л. Павлов, Д. А. Шавалеев, Б. И. Кутепов, О. С. Травкина, И. Н. Павлова, Р. А. Басимова, А. С. Эрштейн, И. М. Герзелиев // Нефтехимия. – 2016. – Т. 56. – № 2. – С. 171 - 177.

# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОСНОВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ УСТАНОВКИ АМИНОВОЙ СЕРООЧИСТКИ

**Султонов Н. Н.**
***Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан***

На головных сооружениях Шуртан для очистки газов регенерации цеолитовой сероочистной установки применяется технология аминовой сероочистки с применением ДЭА.

На аминовую установку сероочистки I очереди газ регенерации подается в объеме до 90·103 m3/h (норм.усл.).

Газ регенерации с блока цеолитовой сероочистки направляется в фильтры 20ФГ-1/1, 20ФГ-1/2, где удерживается цеолитовая пыль и механические примеси. После фильтров газ регенерации поступает в аппараты воздушного охлаждения АВО-41, 42, 43, 44, где охлаждается до температуры 45-55 °С. Далее газ регенерации поступает в сепаратор 20Е-3/1, где отделяется жидкость, выделившаяся при охлаждении газа в АВО.

Жидкость из сепаратора 20Е-3/1 направляется на установку стабилизации конденсата (УСК), газ регенерации подается на установку АСО-1.

Газ регенерации поступает в нижнюю часть абсорбера 20К-1, который оснащен 12 сетчатыми тарелками, расположенными в верхней части абсорбера. Нижние 6 полок засыпаны ровным слоем полипропиленовых шаров диаметром 38 mm. Полки выполнены в виде опорно-распределительной решетки [1], составленной из секций нержавеющих стальных полос. Количество шаров на каждой полке 43000-45000 штук, высота слоя – 550-600 mm. При прохождении снизу вверх по колонне газ на тарелках контактирует с встречным потоком 25 % водного раствора ДЭА и очищается от кислых компонентов.

При контакте газа и раствора ДЭА происходит поглощение H2S и CO2 с образованием химических соединений. Одновременно протекает процесс физической абсорбции кислых и углеводородных газов.

При поглощении H2S и CO2 ДЭА в жидкой фазе протекают следующие реакции:

$$R2NH + H2S === R2NH2^{+} + HS^{-}$$
$$R2NH + CO2 === R2NCOO^{-} + H^{+}$$
$$R2NH + H2O === R2NH2^{+} + OH^{-}$$
$$2R2NH + CO2 + H2O === R2NCOO^{-} + R2NH2^{+}$$

где: R - радикал $CH2-CH2-OH^{-}$

Поскольку указанная реакция протекает с выделением тепла, снижение температуры процесса способствует абсорбции, а значит и улучшает очистку при прочих равных условиях. Однако снижению температуры абсорбции по всей колонне препятствует наличие в газе регенерации сероокиси углерода (COS).

Сероокись углерода образуется по реакции:

$$H_2S + CO_2 \Longleftrightarrow COS + H_2O$$

Реакция эта обратима, при температуре выше 60 °С протекает в обратном направлении.

Следовательно, основной поток раствора, подаваемый на полки с насадочными шарами в количестве до 135,0 m3/h, должен иметь температуру 60-65 °С.

В верхнюю часть абсорбера на 12 тарелку раствор подается с температурой 55-60 ○С в количестве до 45,0 m3/h.

Очищенный от кислых компонентов газ регенерации с верха абсорбера подается в сепаратор очищенного газа 20Е-1, где за счет изменения скорости и направления потока происходит выпадение капельной жидкости, унесенной газом из абсорбера.

После сепаратора 20Е-1 очищенный газ регенерации направляется в аппарат воздушного охлаждения 20ХВ-3-1,2 , где охлаждается до температуры 25-45 °С, и далее поступает в абсорбер А-1401 установки осушки газа для улавливания влаги.

Насыщенный раствор амина из низа абсорбера 20К-1 с давлением 4,0-5,0 МРа и температурой 65-70 °С по мере накопления выводится в экспанзер 20Е-2. Сюда же, по мере накопления, выводится жидкость из нижней части сепаратора 20 Е-1.

В зкспанзере 20Е-2 за счет снижения давления до 0,6 МРа происходит выделение из раствора растворенных в нем газов (сероводород, углекислота, углеводороды).

Экспанзерный газ выводится на факел низкого давления (ФНД).

Разгазированный раствор амина подается в емкость-усреднитель 20Е-4 или, минуя ее, на регенерацию [2].

После емкости-усреднителя 20Е-4 (или минуя ее) раствор нагревается, проходя по трубному пространству рекуперативных теплообменников 20Т-1/1,2 и с температурой до 105 °С подается на 17 тарелку десорбера 20К-2.

Десорбер 20К-2 представляет собой вертикальный аппарат колонного типа, оснащенный 23 «S» - образными тарелками.

Параметры работы десорбера:

- температура верха - 105-115 °С
- температура куба - 118-125 °С
- давление в кубе - 0,08-0,1 МРа

В десорбере насыщенный раствор стекает по тарелкам вниз и, в результате тепло- и массообмена с восходящим паровым потоком освобождается от сероводорода и углекислоты, поглощенных из газа в абсорбере.

Окончательная регенерация раствора достигается в кубе десорбера при нагреве до 125 °С. Тепло, необходимое для создания парового потока и регенерации, подводится в вертикальных испарителях 20Т-2/1,2, обогреваемых водяным паром. Расход водяного пара регулируется по температуре верха десорбера.

Регенерированный раствор, по мере накопления, выводится из куба десорбера, охлаждается в рекуперативных теплообменниках 20Т-1/1,2 до температуры 85 °С, доохлаждается в аппаратах воздушного охлаждения 20ХВ-1/1,2 и с температурой 65-75 °С подается в сборник регенерированного раствора 20Е-3.

Из сборника 20Е-3 насосами 20Н-1 раствор ДЭА направляется в аппарат воздушного охлаждения 20ХВ-4/1,2, где охлаждается до температуры 60-65 °С, и далее двумя потоками подается на орошение абсорбера 20К-1.

Первый поток (25 % от общего количества) при температуре 60-65 °С подается на верхнюю тарелку. Второй поток при температуре 60-65 °С подается в среднюю часть абсорбера.

Выделяемая в десорбере парогазовая смесь (H2S, CO2, водяные пары) отводится с верха колонны с температурой до 115 °С, охлаждается до 65-70 °С в аппаратах воздушного охлаждения 20ХВ/2-1,2 и подается в промежуточный сепаратор 20Е-5 для грубого [1]отделения выпавшей капельной влаги. Далее кислые газы доохлаждаются в водяном холодильнике 20Х-3, проходят через сепаратор кислых газов 20Е-6 и с температурой 45-60 °С выводятся на установку получения элементарной серы или на факел низкого давления.

В сепараторе кислых газов 20Е-6, оснащенном отбойным устройством, происходит тонкая сепарация и отделение сконденсировавшейся влаги. Сюда же самотеком поступает кислая вода из промежуточного сепаратора 20Е-5. По мере накопления кислая вода из нижней части сепаратора 20Е-6 насосами 20Н-2 в виде орошения подается на верхнюю тарелку десорбера.

Для повышения эффективности и производительности установки по очищенному газу необходимо провести модернизацию абсорберов и десорберов с применением более эффективных контактных тарелок.

Список используемых источников.

1. Борьба с гидратами при транспорте природных газов / Ю. Ф. Макогон, В. А. Хорошилов. – М., 1963.

2. Коуль, А. Л., Ризенфельд, Ф. С. Очистка газа. – М.: Недра, 1968.

# СИНТЕЗ НОВЫХ ЭЛЕКТРОХРОМНЫХ 4,5-БИС-(ПИРИДИНИЛ)ИЗОКСАЗОЛОВ*

**Чудов К. А.[1], Щегольков А. В.[2], Левченко К. С.[1], Гребеников Е. П.[1]**
***[1]Центрально научно-исследовательский технологический институт «Техномаш» (АО «ЦНИТИ Техномаш»), Москва***
**k4udov@gmail.com**
***[2]Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Органические электрохромные материалы широко применяются в разработке и изготовлении передовых технологических систем, таких как датчики, преобразователи, топливные элементы, электрохромные устройства, солнечные органические элементы, органические светоизлучающие диоды, полевые транзисторы, дисплеи и умные окна [1-3]. Производные полипиридинов, обладают сравнительно высокой цикличностью, низкими значениями рабочих потенциалов и другими ценными свойствами. Вместе с тем решение ряда задач требует расширенного спектра цветов, наблюдаемых при приложении поля к электрохимической ячейке, что обусловливает синтез новых соединений с требуемыми параметрами.

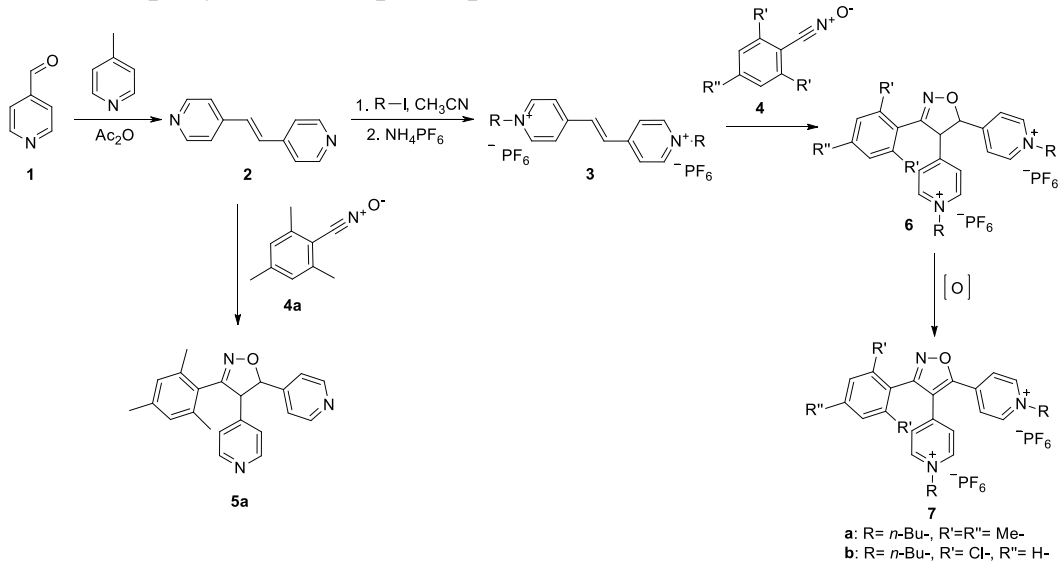



Рис. 1. Схема синтеза целевых соединений.

Для этих целей был проведён синтез новых электрохромных соединений реакциями циклоприсоединения нитрилоксидов к производным 1,2-бис(4-пиридинил)этилена (рис. 1).

В ходе исследования была изучена реакционная способность производных 1,2-бис(4-пиридинил)этилена по отношению к мезитонитрилоксиду 4a и 2,6-дихлорбензонитрилоксиду 4b. Так, кипячением мезитонитрилоксида 4a с производным 3 был получен изоксазолин 6a. При кипячении же соединений 3 и 4 в ацетонитриле на воздухе протекала окислительная ароматизация с образованием изоксазолов 7. Незамещённый 1,2-бис(4-пиридинил)этилен про-

явил меньшую в сравнении с N,N-алкилированным производным реакционную способность по отношению к мезитонитрилоксиду 4а.

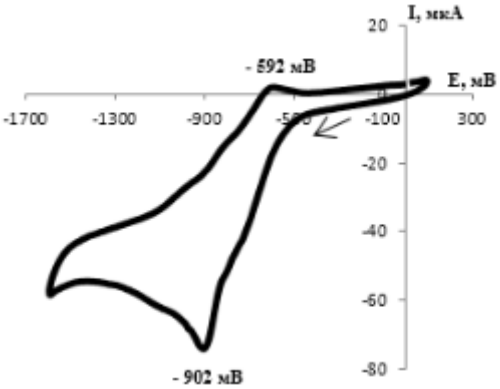



Рис. 2. ЦВА-кривая соединения 7а в 0.1 М LiClO4/MeCN, стеклоуглерод.

Были изучены электрохимические свойства полученных соединений. Циклическая вольтамперометрия соединения 7а (рис. 2) выявлены пик восстановления при – 902 мВ и окисления при – 592 мВ предположительно соответствующие процессам, изображённым на рис. 3. Электрохимические ячейки, созданные на основе соединений 7, обратимо изменяли цвет при приложении напряжения в 1.5 В (рис. 3).

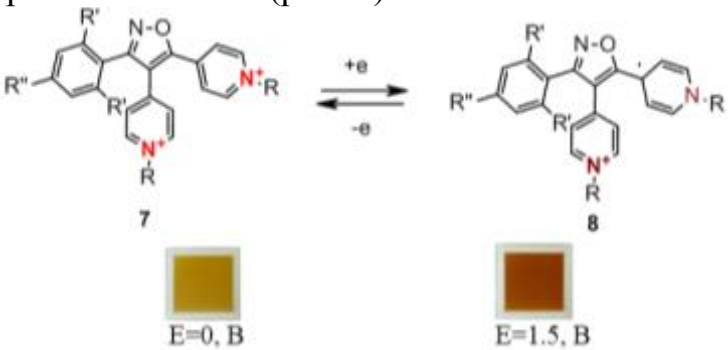



Рис. 3. Схема электрохромного перехода.

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-01253.*

Список используемых источников.

1. Granqvist, C. G. Handbook of inorganic electrochrommic materials. – Amsterdam: Elsevier, 1995. – 651 pp.

2. Monk, P. M. S. Electrochromism and electrochromic device. / P. M. S. Monk, R. J. Mortimer, D. R. Rosseinsky. – Cambridge: Cambridge University Press, 2007. – 512 pp.

3. Palenzuela J., Vinuales A., Odriozola I., Cabanero G., J. Grande H., Ruiz V. Flexible viologen electrochromic devices with low operational voltages using reduced graphene oxide electrodes // ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2014. – № 6. – P. 14562−14567.

# ПРОЦЕССЫ ДЕФОРМАЦИИ КОЛЛЕКТОРА, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СКВАЖИН С АВПД

**Салохиддинов Ф. А., Самадов А. Х.**
***Каршинский инженерно - экономический институт, Карши, Узбекистан***
**salohiddinov.farhod@mail.ru**

В настоящее время доказано, что снижение пластового давления в процессе разработки газовых месторождений и эксплуатация скважин при больших депрессиях приводит к изменению напряженного состояния пород коллекторов, выражающегося в снижении пористости и проницаемости продуктивных пластов. Вследствие чего, снижаются коэффициенты продуктивности скважин и газоотдача пластов [1-3].

Проведенными исследованиями и обобщением опыта разработки газовых месторождений установлено, что снижение коэффициента продуктивности скважин в процессе разработки на режимах истощения может быть значительным. Этот процесс особо сильно проявляется при разработке залежей представленных коллекторами трещинно-порового типа с аномально высокими пластовыми давлениями.

Как известно, в общем виде модель трещинно-порового коллектора представляется как среда, состоящая из недеформируемой поровой матрицы с низкой проницаемостью, но содержащую основную часть запасов нефти и газа, и деформируемой трещиноватости с высокой начальной проницаемостью, но незначительной долей запасов нефти. Ранее проведенными исследованиями трещиноватости пород отмечается, что они, как правило составляют не более 1 % пустотного пространства, но сильно влияют на фильтрационные свойства коллекторов [4].

Природа же АВПД в залежах углеводородов может быть обусловлена многими причинами или их совокупностью, таких как: пьезометрический уровень флюидов; структура пласта-коллектора; подъем давления в коллекторе; условия осадконакопления; палеодавления, тектонические давления и др. Однако, необходимыми и достаточными условиями возникновения и сохранения АВПД являются герметичность резервуара залежи углеводородов и деформационная способность вмещающей породы коллектора.

Для изучения этого процесса используются все доступные методы экспериментальных, геофизических, статистических и промысловых исследований. Из которых на наш взгляд наиболее доступными и достоверными являются промысловые, основанные на результатах обработки гидродинамических исследований скважин методом установившихся отборов. Исследования по этому методу основаны на использовании двух главных показателей, таких как депрессия на пласт и продуктивность скважины, которые в свою очередь зависят от эффективного давления и коэффициента деформации коллектора [4].

В связи с этим актуальной проблемой при разработке газовых и газоконденсатных месторождений является изучение влияния деформационных процессов в трещиноватых породах коллекторах на коэффициент продуктивности скважин. На наш взгляд для решения этой проблемы можно использовать основную закономерность снижения коэффициента продуктивности по нефти, которая представляется формулой

$$\eta_{тек} = \eta_0 \cdot e^{-\alpha(P_{нас} - P_c} \quad (1)$$

где ηтек - текущий коэффициент продуктивности при текущем забойном давлении Рс, которое ниже давления насыщения Рнас;

η0 - начальный коэффициент продуктивности при забойном давлении выше или равном давлению насыщения Рнас;

α - показатель снижения коэффициента продуктивности по нефти.

Формула /1.1/ в работах использована для определения степени снижения коэффициента продуктивности скважин из-за снижения забойного давления ниже давления насыщения нефти газом. Однако, в работах в результате анализа формы индикаторных кривых установлено, что их искривление к оси дебитов при Рс > Рнас связано с деформацией коллектора, т.е. формулу (1) можно использовать для определения показателя снижения коэффициента продуктивности по нефти из-за деформации коллектора.

Задачей является количественная оценка изменения коэффициента продуктивности скважин газоконденсатных месторождений вследствие деформации коллектора. Для решения поставленной задачи, по аналогии с ранее проведенными исследованиями на нефтяных объектах, использована методика определения показателя снижения коэффициента продуктивности основанная на использовании формулы (1).

Возможность использования данной формулы для определения показателя снижения коэффициента продуктивности газовых скважин вследствие деформации коллектора обосновывается следующими положениями:

1. В формуле (1) для определения уменьшения коэффициента продуктивности скважин используются параметры не связанные с составом и свойствами углеводородов.

2. Уменьшение коэффициента продуктивности скважин происходит за счет снижения проницаемости вследствие деформации пород-коллекторов [4]. При этом механизм процесса снижения проницаемости от давления для месторождений углеводородов независимо от типа залежей и насыщающих флюидов описываются по экспоненциальному закону:

$$К=К0 \cdot exУр[-\alpha к\ (Р0 - Рпл)] \quad (2)$$

где, К0 и К - соответственно начальная и текущая проницаемость при начальной (Р0) и текущем пластовом давлении (Рпл);

αк - коэффициент изменения проницаемости коллекторов в зависимости от давления.

Установлено, что снижение продуктивности скважин характерно для залежей с аномально высокими пластовыми давлениями и представленных коллекторами трещинно-порового типа.

Таким образом, в результате оценки влияния деформации коллектора на коэффициент продуктивности скважин в процессе разработки газоконденсатных месторождений с аномально высокими (Северный Нишан, Бешкент, Камаши) и нормально гидростатическими давлениями можно сделать следующие выводы:

1. Значительное уменьшение коэффициента продуктивности, достигающее до 2,3-2,9 раз, характерно для месторождений Бешкент и Камаши с АВПД и высокой начальной продуктивностью характерной для сводовых скважин. На наш взгляд, причиной этого явления является недоуплотненность пород коллекторов при формировании залежей из-за АВПД, что и стало причиной их склонности к деформациям в процессе снижения пластового давления.

2. Относительно низкопродуктивные коллекторы в присводовой части залежей с АВПД (Северный Нишан) практически не подвержены к деформациям из-за низких ФЭС коллекторов.

3. На объектах с нормальными гидростатическими давлениями (Северный Гузар), несмотря на высокую продуктивность сводовых скважин, отмечается незначительное снижение коэффициента продуктивности за счет деформации коллектора (до 20% к концу разработки месторождения).

Список используемых источников.

1. Влияние деформации продуктивных пластов на показатели их разработки при режими растворенного газа / И. Н. Стрижков, С. Е. Кочкин, А. И. Михайлов // Нефтяное хозяйство. – 2004. – № 4. – С. 52-53.

2. Упруго-грузовой режим разработки залежей углеводородов (в порядке обсуждения) / И. Н. Стрижев, В. С. Замахаев // Нефтяное хозяйство. – 2004. – № 8. – С. 82-83.

3. Особенности проявления флюидодинамических процессов на больших глубинах / С. Г. Попов, А. В. Белоконь, Ю. А. Ехлаков, А. Н. Угрюмов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2005. – №3-4. – С. 55-59.

4. Иванников, В. И. Аномально высокие пластовые давления в природных резервуарах // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2003. – № 9. – С. 30-32.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГЕТЕРОГЕННЫХ ИОНООБМЕННЫХ МЕМБРАН

**Хохлов П. А., Лазарев Д. С., Шестаков К. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

В наши дни для промышленной водоподготовки и очистки сточных вод широкое распространение получили электромембранные методы разделения, в частности и электродиализ. Его востребованность в таких областях промышленности, как пищевая, химическая, биомедицинская, электронная и др., вынуждает проводить специальные исследования как кинетических, так и структурных характеристик используемых мембран, которые в дальнейшем используются для предварительного расчета электродиализаторов.

Целью данной работы является исследование структурных характеристик ионообменных мембран МА-40 и МК-40, применяющихся в процессе электродиализа.

Данные гетерогенные ионообменные мембраны МК-40 и МА-40 являются механической композицией, которая состоит из частиц размолотого гранулированного ионита размером от 5 до 50 мкм, впрессованных в матрицу из полиэтилена низкого давления и армированных капроновой тканью [1, 2]. Их характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Характеристики мембран.

| Марка мембраны | Толщина, мм | Прочность при разрыве, не менее, МПа | Поверхностное сопротивление Ом·см2, не более | Ионная группа | Ионная форма - противоион | Инертное связующее | Армирующая ткань |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| МА-40 | 0,3 – 0,5 | 11,9 | 10,0 | - N3- | Cl- | полиэтилен | полиамидная |
| МК-40 | 0,3 – 0,5 | 11,9 | 11,0 | SO3H | Na+ | полиэтилен | полиамидная |

Исследование структуры мембран проводилось рентгенографическим методом и сводилось к определению таких параметров, как размер аморфных и кристаллических областей, а также степени кристалличности материала мембран. На предварительном этапе исследования подготавливалось по два образца (один сухой и один водонасыщенный) для обоих типов мембран. Далее были получены рентгеновские дифрактограммы, которые использовались для определение вышеупомянутых параметров по следующим формулам.

Размеры аморфных и кристаллических областей определялись по формуле Шеррера [3, 4]:

$$L = \lambda\left(\beta cos\frac{2\theta}{2}\right)^{-1} \quad (1)$$

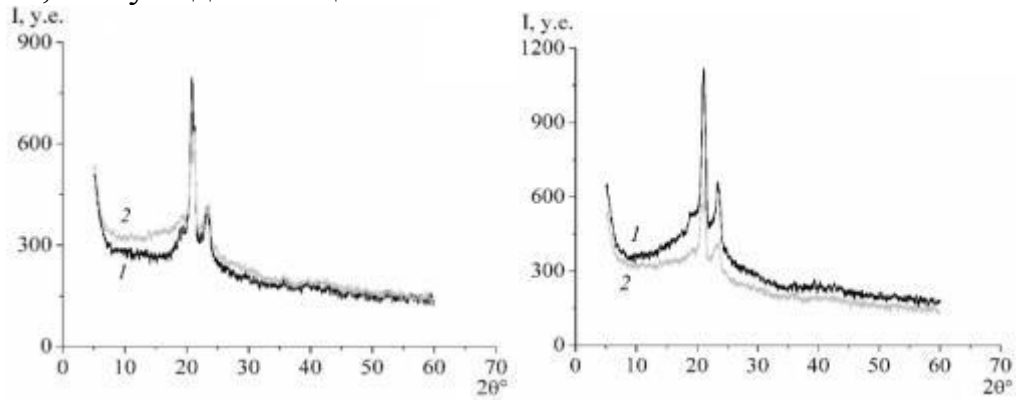
где λ – длина волны рентгеновского излучения, 2θ – угол дифракции, β – ширина рефлекса на полувысоте пика.

Расчет рентгеновской степени кристалличности (СК) проводился по методике Аггарвала–Тилля [5]:

$$CK = \frac{I_k}{I_k + I_a} \cdot 100\% \qquad (2)$$

где Ik – интегральная интенсивность кристаллической фазы; Ia – интегральная интенсивность аморфной фазы.

Полученные рентгеновские дифрактограммы представлены на рис. 1. Данные дифрактограммы свидетельствуют об имеющихся двух ярко выраженных максимумах, находящихся при углах дифракции 21º и 23,5º, и одном малозаметном вблизи угла 20º для мембраны МА-40. У сухого и водонасыщенного образцов данной мембраны имеются отличия, которые выражаются в большей интенсивности пика при угле 21º для сухого образца, в то время как у водонасыщенного интенсивнее малозаметный пик при 20º. При этом пики при угле 23,5º одинаковы. У образцов мембраны МК-40 все максимумы фиксируются при аналогичных углах дифракции за исключением аморфного пика, расположенного при угле дифракции 19º вместо угла 20º у мембраны МА-40. Кроме того дифракционные максимумы у сухого образца более интенсивны, чем у водонасыщенного.




а б

Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы образцов ионообменных мембран МА-40 (а) и МК-40 (б) в геометрии на отражение при сухом (1) и водонасыщенном (2) состояниях мембраны.

С помощью данных дифрактограмм по формуле (1) также были рассчитаны размеры аморфных и кристаллических областей материала мембран для сухого (1) и водонасыщенного (2) образцов, которые указаны в табл. 2.

Таблица 2.

Структурные характеристики мембран МК-40 и МА-40.

| Области | Кристаллические | | | | | | | | Аморфные | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Мембрана | МК-40 | | | | МА-40 | | | | МК-40 | | МА-40 | |
| Образец | 1 | | 2 | | 1 | | 2 | | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Положение максимума 2θ, ° | 21,5 | 23 | 21,5 | 23 | 21,5 | 23 | 21,5 | 23 | 19 | 19 | 20 | 20 |
| Полуширина пика β, рад | 0,32 | 0,81 | 0,47 | 0,7 | 0,44 | 0,61 | 0,46 | 0,71 | 0,14 | 0,17 | 0,14 | 0,43 |
| L, нм | 19,8 | 3,93 | 13,48 | 4,55 | 14,4 | 5,22 | 13,77 | 4,49 | 11,03 | 9,08 | 13,11 | 4,27 |

Рассчитанные по выражению (2) значения СК имеют следующие значения. Для сухого и водонасыщенного образцов мембраны МА-40 СК составила 70,66% и 63,58% соответственно, а для мембраны МК-40 – 68,26% и 63,81%. Данные показатели СК не противоречат литературным данным, так как СК полиэтилена, являющегося инертным связующим в мембранах, варьируется в пределах 40-80% [6, 7].

Также необходимо отметить тот факт, что значения СК для сухих образцов обоих типов мембран выше значений водонасыщенных не более, чем на 5-7%. Это свидетельствует о малой чувствительности макромолекул материала мембраны к механической и термической нагрузкам при циклических условиях эксплуатации.

Подводя итог данной работе, можно сделать вывод, что в процессе насыщения водой структура материала ионообменных мембран МК-40 и МА-40 изменяется незначительно в пределах 5-7%. Этот факт и обнаруженное совпадение углов дифракции пиков сухих и водонасыщенных образцов мембран указывают на малую чувствительность макромолекул материала мембраны к механической и термической нагрузкам при циклических условиях эксплуатации.

Список используемых источников.

1. Нифталиев, С. И. Структурно-кинетические параметры ионообменных мембран МК-40 и МА-41 в растворах нитрата аммония / С. И. Нифталиев, О. А. Козадерова, Ю. Н. Власов, К. Б. Ким, К. С. Матчина // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2015. – Т. 15. – Вып. 5. – С. 708-713.

2. Акберова, Э. М., Малыхин, М. Д. Структурные и физико-химические характеристики анионообменных мембран МА-40 и МА-41 после термохимического воздействия // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2014. – Т. 14. – Вып. 2. – С. 232-239.

3. Лазарев, С. И. Анализ структурных характеристик ацетатцеллюлозной мембраны МГА-95 при их различном физическом состоянии рентгенодифрактометрическим методом / С. И. Лазарев, Ю. М. Головин, Э. Ю. Яновская, Д. С. Лазарев, К. В. Шестаков // Вестник ТГТУ. – 2016. – Т. 22. – № 4. – С. 624-632.

4. Modified Scherrer Equa-tion to Estimate More Accurately Nano-Crystallite Size Using XRD / A. Monshi, M. R. Foroughi, M. R. Monshi // World Journal of Nano Science and Engineering. –2012. – № 2. – pp. 154-160.

5. Арисова, В. Н. Структура и свойства КМ // Волгоград: ВолгГТУ, 2008. – 96 с.

6. Molecular Structure, Crystallinity and Morphology of Polyethylene/Polypropylene Blends Studied by Raman Mapping, Scanning Electron Microscopy, Wide Angle X-Ray Diffraction, and Differential Scanning Calorimetry / T. Fukurawa, H. Sato, Y. Kita, K. Matsukawa, H. Yamaguchi, S. Ochai, H. W. Siesler, Y. Ozaki // Polymer Journal. – 2006. – Vol. 38. – № 11. – Pp. 1127–1136.

7. Исследование возможности применения данных НПВО ИК-Фурье спектроскопии для оценки степени кристалличности полиэтилена / И. А. Деев, В. Г. Бурындин, О. С. Ельцов // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – Т. 14. – № 1. – С. 90-99.

# ОСОБЕННОСТИ ВАКУУМНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ИЗ ТЕПЛОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ

**Карапузов О. Г.**
***Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет) (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Москва***
***dr.mgtu2013@yandex.ru***

Большинство зубчатых колес газотурбинных двигателей работает в условиях высоких контактных напряжений, скоростей скольжения, температурных воздействий [1, 2]. Эти факторы, обусловливают высокие требования к качеству упрочнения зубчатых колес. Реализация таких требований диктует необходимость применения цементуемых теплостойких комплексно-легированных сталей 20Х3МВФ-Ш (ЭИ415), 16Х3НВФМБ-Ш (ВКС5), 16Х2Н3МФБАЮ-Ш (ВКС-7) [1, 3]. Особенность химического состава теплостойких сталей – наличие активных карбидообразующих элементов (Cr, Mo, W, V, Nb). Следствие этой особенности - формирование в приповерхностной части цементованного слоя частиц карбидной фазы – легированного цементита Fe(Cr,Mn)3C и специальных карбидов: Me7C3, Me23C6, VC и NbC. Образование высоуглеродистой карбидной фазы сопровождается снижением концентрации углерода в мартенсите (структурной основе слоя) и как следствие его твердости до 700…740 HV (58…59 HRC), что ниже требуемых (60…63 HRC) значений. Поэтому структура поверхности с определенной долей карбидной фазы является оптимальной, способной обеспечивать требуемую высокую твердость и работоспособность зубчатых колес [1].

Для образования карбидной фазы необходима высокая насыщающая способность технологической атмосферы. Такой способностью обладает газовая среда из ацетилена, применяемая при вакуумной цементации. Цементация в ацетилене низкого давления – новый процесс, получивший широкое применение за рубежом. Авторы работ [1, 5] назвали вакуумную цементацию в ацетилене последним достижением в области развития технологии науглероживания. Для ее реализации зарубежные фирмы производят вакуумные автоматизированные установки, обеспечивающие диффузионное насыщение углеродом и последующую малодеформационную «сухую» закалку в потоке азота [4].

Такие установки, имеющие высокую стоимость, в нашей стране не производят. Покупать импортное оборудование приходится без технологии упрочнения; за рубежом не применяют отечественные теплостойкие стали.

Цель работы – разработка технологии вакуумной цементации теплостойких сталей с учетом требований, предъявляемых к структуре цементованного слоя для обеспечения эксплуатационных свойств зубчатых колес.

При поиске оптимальных технологических решений вакуумную цементацию проводили на опытно-промышленной установке, оснащенной управ-

ляющим компьютером и системами автоматического регулирования технологических параметров. Ацетилен подавали циклически в виде чередования активных стадий, когда в рабочую камеру подавали цементационный газ, и пассивных (диффузионных) стадий при выключенной подаче газовой среды.

Использовали образцы ∅50х20 мм из стали 16Х3НВФМБ-Ш (ВКС5). Науглероженные образцы использовали для исследований структуры цементованного слоя, распределения в нем концентрации углерода и твердости. Металлографические исследования выполняли для двух состояний:

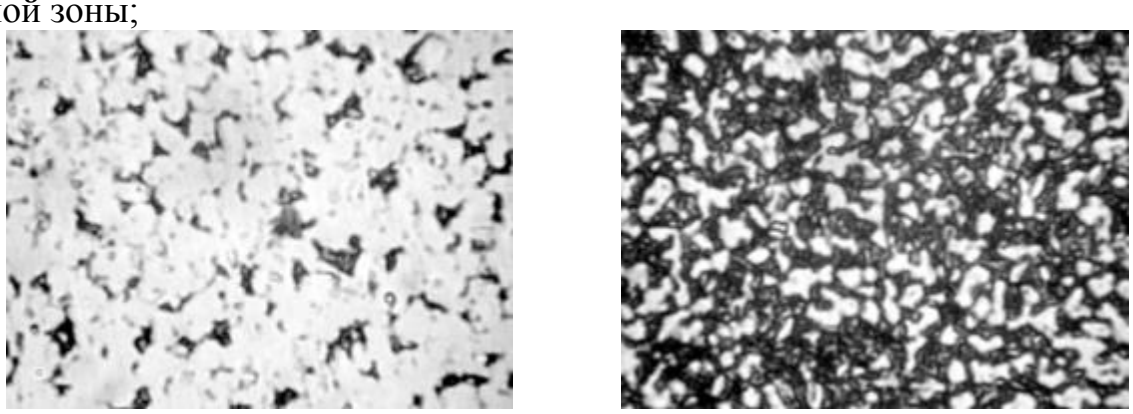
1 - после диффузионного насыщения и высокого отпуска при температуре 650 °С, 5 ч;

2 - после полного цикла упрочняющей термической обработки по режимам, принятым для исследуемой стали.

Результат науглероживания оценивали по концентрационным кривым, полученным послойным анализом, выполненным спектральным методом.

Насыщенность слоя углеродом оценивали эффективной толщиной (hэф, как наиболее насыщенную (С ≥ 0,4 %) часть слоя), концентрацией углерода на поверхности (Спов) и на расстоянии 0,2 мм от поверхности (С0,2) после удаления припуска в 0,2 мм шлифованием.

Эффективную толщину слоя в соответствии с ОСТ 1.41.467-73 определяли металлографически по структуре после диффузионного насыщения и высокого отпуска, как расстояние от поверхности образца до половины переходной зоны;



а б

Рис. 1. Микроструктура поверхности теплостойкой стали после вакуумной цементации при температуре 940 оС (х1600): а – время насыщения 5 мин; б – время насыщения 5 мин, время диффузионной стадии 10 мин

Для разработки технологии вакуумной цементации важно понимание механизма формирования цементованного слоя. Как показано в проведенных ранее работах [2, 5], цементованный слой формируется в результате интенсивного каталитического разложения молекул ацетилена на поверхности металла. Реализуется интенсивный перенос углерода из газовой среды на насыщаемую поверхность. В течение активной стадии цикла поверхность теплостойкой стали покрывается почти сплошным слоем карбидов (белое поле на рис. 1, а). По данным металлографического и микрорентгеноспектрального анализов такой слой образуют тонкие плоские карбиды легиро-

ванного цементита. На пассивной (диффузионной) стадии цикла значительная часть этих карбидов растворяется (рис. 1, б), поставляя атомы углерода в твердый раствор. От цикла к циклу эти процессы повторяются.

Таким образом, цементованный слой формируется под слоем карбидной фазы в кинетическом режиме, интенсивность которого определяется скоростью растворения карбидов поверхностного слоя. Скорость поступления углерода в твердый раствор оказывается высокой, достаточной для пересыщения твердого раствора, образования в нем карбидной зоны. Ее толщина превышает 50 мкм уже после 3-х минут насыщения.

Список используемых источников.

1. Effect of Heat Shotblast Treatment Exerted on the Contact Fatigue of Carburised Heat-Resistant Steel C0.12Cr2NiWV / S. A. Pakhomova, O. I. Manayev // Inorganic Materials: Applied Research, July 2018. – Vol. 9. – Issue 4. – Pp 732–735.

2. Проблемы модернизации оборудования для вакуумной цементации / Р. С. Фахуртдинов, С. А. Пахомова, М. Ю. Рыжова // Проблемы машиностроения и надежности машин, – 2017. – № 2. – С.113–118.

3. Упрочняющее электромеханическое восстановление вторичного вала коробки перемены передач автомобилей семейства «Газель» / Л. В. Федорова, С. К. Федоров, Г. Ю. Бохонов // Ремонт, восстановление, модернизация, – 2015. – № 9. – С.14–16.

4. К вопросу упрочнения различно легированных сталей обработкой в коронном разряде / А. С. Помельникова, Г. П. Фетисов, С. А. Пахомова // Технология металлов, – 2017. – № 2. – С.20–24.

5. Исследование технологической наследственности разных способов цементации / М. А. Макушина, А. А. Климкина, С. А. Пахомова // Будущее науки-2016: сборник научных статей 4-й Международной молодежной научной конференции: в 4-х томах. – 2016. – С. 86-89.

# К ВОПРОСУ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ СОРБЕНТА ТЕРМОРАСЩЕПЛЕННОГО ГРАФИТОВОГО (СТРГ) ДЛЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

**Султонов Н. Н.**
***Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан***

Быстрый рост нефтеперерабатывающей промышленности оказывает негативное воздействие на окружающую среду, что обусловлено сбросом загрязненных сточных вод. Содержание в воде нефти и нефтепродуктов в количестве 0,2-0,4 мг/л придает ей запах, который не устраняется даже при хлорировании. Загрязнения сточных вод нефтепродуктами наносят колоссальный вред многим водным организмам.

Для решения проблемы очистки промышленных сточных вод и ликвидации аварийных сбросов нефтепродуктов в окружающую среду предлагаются разные методы очистки. Наибольшее применение находят сорбенты.

В Республике Узбекистан налажено производство неорганического СТРГ ООО СП «EKONORDRAGMET», деятельность которого направлена на улучшение экологической обстановки в республике.

Целью нашего исследования является определение возможности использования СТРГ производства СП «EKONORDRAGMET» в качестве сорбента для нефтей и нефтепродуктов.

Сорбент представляет собой легкий, пористый, с хорошо развитой поверхностью порошок серо- черного цвета, полученный с помощью термообработки окисленного порошка графита.

Исследования по определению сорбционной емкости СТРГ проводились на нефти, газовом конденсате месторождений НХК «Узбекнефтегаз», на нефтепродуктах, а именно, на автомобильном бензине марки АИ-91.

В результате проведенных исследований были получены следующие результаты:

- СТРГ обладает сорбционной способностью поглощать нефть и нефтепродукты,
- 1 грамм сорбента способен адсорбировать до 30-32 грамм нефти, до 60 грамм легкого нестабильного газового конденсата и 40 грамм бензина АИ -91.

Отжим (отпрессовка) СТРГ позволяет выделить до 65- 68 % нефти.

Исследование возможности повторного использования адсорбента показало, что после отжима СТРГ обладает способностью адсорбировать повторно как нефть, так и нефтепродукты.

При этом сорбент позволяет адсорбировать вновь до 64-65%.

Регенерация адсорбента температурным воздействием (обжигом порядка 500 °С) показала возможность использования данного сорбента, поглотительная способность которого восстанавливается практически полностью.

Таким образом, на основании проведенного исследования можно сделать выводы:

- предложенный для исследования сорбент в результате термического воздействия обладает хорошо развитой поверхностью, которая позволяет адсорбировать от 30 до 60 раз больше нефти и нефтепродуктов, чем собственный вес,
- СТРГ может быть использован повторно после отжима нефтепродукта,
- регенерация обжигом СТРГ позволяет восстановить сорбционную ёмкость полностью.

# ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАНОГО АППАРАТА ПЛОСКОКАМЕРНОГО ТИПА

**Коновалов Д. Н., Ковалев С. В., Лазарев Д. С., Ковалева О. А.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***kdn1979dom@mail.ru***

Использование процессов очистки сточных вод и технологических растворов химических, машиностроительных (гальванических) и агрохимических производств требует применения перспективных конструкций аппаратов, так как появляются новые технологии получения заданных в промышленности продуктов и полупродуктов. Например, применение электробаромембранных процессов основано на ионном механизме разделения растворенных веществ, что является актуальной задачей для исследуемых отраслей промышленности. Поэтому, были рассмотрены аналог и прототип разработанной конструкции находящей применение в химической, машиностроительной и агрохимической промышленности, приведенный в работе [1] и патенте [2].

Статический принцип конструирования базировался на следующих элементах электробаромембранного аппарата плоскокамерного типа (рисунок 1), который состоит из диэлектрических фланцев корпуса 3, металлических пластин 4, прокладок 5, отрицательной и положительной клемм устройства для подвода постоянного электрического тока 6, штуцеров для отвода прикатодного и прианодного пермеата 7, 29, болтов 8, шайб 9 и гаек 10, штуцеров ввода и вывода разделяемого раствора 11, 12, диэлектрической сетки 22, фланцевой дренажной сетки 17, переточного окна 19, полимерного компаунда 21, двусторонних отверстий 24 для подвода электрических проводов 26, каналов для отвода прикатодного и прианодного пермеата 34, 23, полимерной композиции 28, каналов ввода и вывода разделяемого раствора 32, 33, чередующихся диэлектрических камер корпуса с “выступом” и с “впадиной” 2 и 1 выполненных с полостью в виде малой камеры разделения 46 в форме прямоугольного параллелепипеда, толщина которого равна толщине диэлектрической камеры корпуса с “выступом” и с “впадиной” 2 и 1 от одной ее стороны с уплотнительной поверхностью шип-паз до другую, высотой в три раза больше его толщины, а шириной равной ширине малой прикатодной и прианодной мембран 44, 41 соответственно, под малые прикатодные и прианодные мембраны 44, 41 на уплотнительной поверхности диэлектрических камер корпуса с “выступом” и с “впадиной” 2 и 1 имеется углубление величиной 1 мм, для установки малой прокладки 39 прямоугольной формы, уплотняющей периметр малой прикатодной и прианодной мембран 44, 41 соответственно, в месте установки дренажной сетки 25 с двух противоположных ее концов по плоской поверхности, установлены последовательно монополярно-пористые пластины электрод-катод 14 и малый электрод-катод 45, монополярно-пористые пластины электрод-анод 30 и малый электрод-

анод 42 соответственно, пористая подложка из ватмана 16 и малая пористая прикатодная подложка из ватмана 43, пористая подложка из ватмана 31 и малая пористая прианодная подложка из ватмана 40 соответственно, прикатодная мембрана 15 и малая прикатодная мембрана 44, прианодная мембрана 27 и малая прианодная мембрана 41 соответственно, на диэлектрических камерах корпуса с “выступом” и с “впадиной” 2 и 1 имеются установленные на передней и задней стенке камерные штуцера ввода исходного раствора 36 и вывода прианодного и прикатодного ретентата 38, 37 соответственно, которые размещены на расстоянии 30 мм и 70 мм и 50 мм и 90 мм соответственно от основания аппарата по центральной вертикальной оси камер корпуса с “выступом” и с “впадиной” 2 и 1 соответственно, сетка-турбулизатор 13 представляет собой переплетенные под углом девяносто градусов в одной плоскости набор из нарезок катионообменных и анионообменных мембран, все соседние межузлия которой имеют насечки прямоугольной формы шириной 2 мм, кромки которых скошены на угол сорок пять градусов, глубина насечек составляет половину толщины нарезок катионообменных и анионообменных мембран, а сами насечки обращены к прианодным и прикатодным мембранам 15 и 27 соответственно.

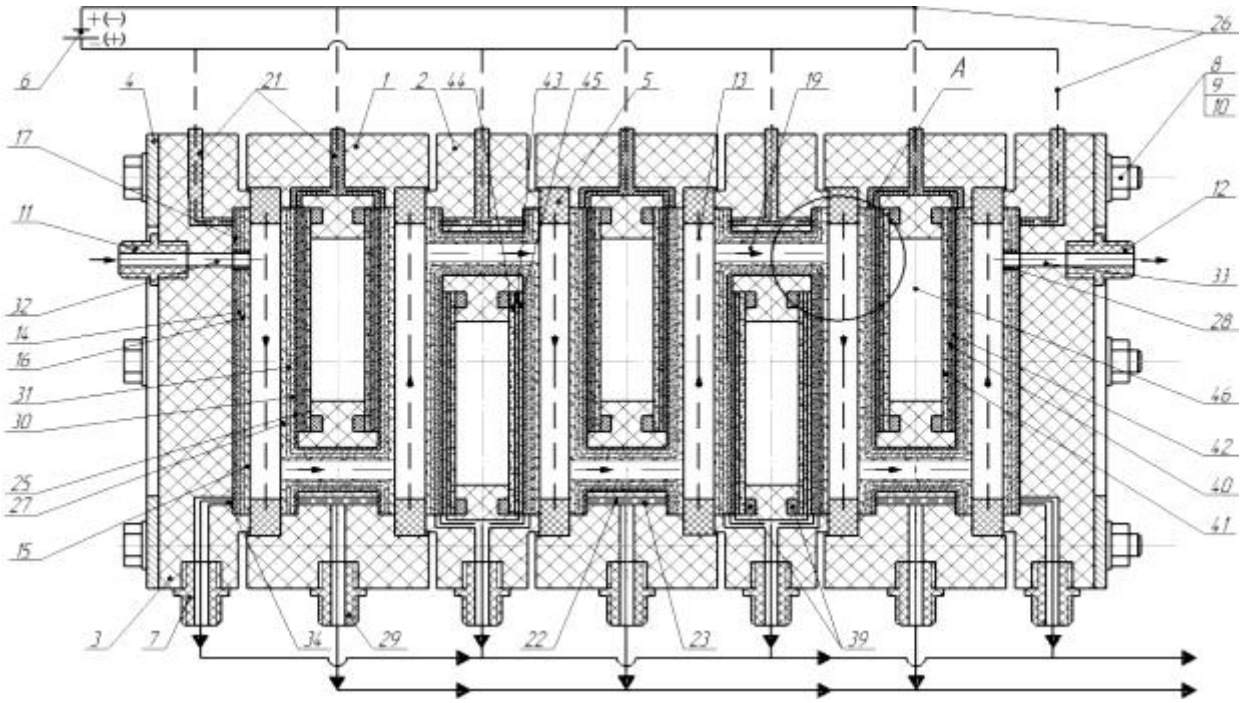



Рис. 1. Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа.

Чередующиеся диэлектрические камеры корпуса с “выступом” и с “впадиной” 2 и 1, диэлектрические фланцы корпуса 3, штуцера ввода и вывода разделяемого раствора 11, 12, диэлектрическая сетка 22, штуцера для отвода прикатодного и прианодного пермеата 7, 29, камерные штуцера ввода исходного раствора 36 и вывода прианодного и прикатодного ретентата 38, 37 могут быть изготовлены из капролона.

Монополярно-пористые пластины электрод-катод и малый электрод-катод 14 и 45, монополярно-пористые электрод-анод 30 и малый электрод-

анод 42 соответственно могут быть изготовлены из 20-45 процентного пористого проката типа Х18Н15-ПМ, Х18Н15-МП, Н-МП, ЛНПИТ, ЛПН-ПМ как и прямоугольные пластины вставки 35.

Сетки-турбулизаторы 13 представляющие собой переплетенные под углом девяносто градусов в одной плоскости набор из нарезок катионообменных и анионообменных мембран марок МК-40, МА-40, МК-40Л, МА-41И, МА-ИЛ, МБ-1, МБ-2.

Полимерная заливка 20, полимерный компаунд 21 и полимерная композиция 28 изготавливаются из диэлектрических герметизирующих эпоксидных смол, пластмассы или клея холодная сварка.

Фланцевая дренажная сетка 17, дренажная сетка 25 могут быть изготовлены из материала Х18Н9Т, Х18Н10Т, 20Х23Н18, 10Х17Н13М2Т, 08Х18Т1.

Прокладка 5 и малая прокладка 39 могут быть выполнены из паронита или прокладочной резины.

Металлические пластины 4 могут быть изготовлены из стали 3, стали 15, стали 25, стали 30, стали 45.

В качестве прикатодных, прианодных мембран 15, 27 и малой прикатодной, прианодной мембран 44, 41 соответственно могут применяться изготовленные в виде ленты, полотна мембраны следующих типов МГА-95, МГА-95П-Н, МГА-95П-Т, МГА-100П, ОПМ-К, ESPA, ESNA, УАМ-150П, УПМ-П, УПМ-ПП, УПМ-50, УПМ-50М, УФМ-100, УФМ-50, УФМ-П, УФМ-ПТ, ОПМН-К, ОПМН (ОФМН)-П, МФФК-0, МФФК-3, ММК, ММПА+, МПС, МФФК-Г, ММФ4, ММТ.

На разработанной конструкции электробаромембранного аппарата плоскокамерного типа без наложения электрического поля можно проводить баромембранные процессы, например обратный осмос, нанофильтрацию, ультрафильтрацию и микрофильтрацию.

Список используемых источников.

1. Дытнерский, Ю. И. Обратный осмос и ультрафильтрация. – М.: Химия, 1978. – 352 с.

2. Патент RU 2622659 C1, МПК B01D 61/42, МПК B01D 61/46. Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа / О. А. Ковалева, С. И. Лазарев, С. В. Ковалев, В. И. Кочетов, Д. С. Лазарев; ФГБОУ ВО «Тамб гос. техн. ун-т». 2016117512; Заявл. 04.05.2016; Опубл. 19.06.2017; Бюл. № 17.

# КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА МЕТОДОМ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

**Находнова А. В., Самойлов В. М., Тимощук Е. И., Данилова Е. А, Пономарева Д. В.**
***АО «НИИграфит», Москва***
***anikolaeva@niigrafit.org***

Целью настоящей работы было исследование возможности применения медода рамановской спектроскопии для контроля технологических параметров получения углеродных волокон (УВ).

Исследования проводили на образцах УВ на основе полиакрилонитрила (ПАН) полученных при различной температуре обработки (от 1060 до 3150$^0$С) и скорости протяжки (30-300 м/ч).

Спектры комбинационного рассеяния регистрировали в широком спектральном диапазоне 700-3000 см-1 с помощью конфокального рамановского микроспектрометра Renishaw inVia Reflex. Возбуждающей служила линия 532 нм твердотельного Nd:YAG-лазера с диодной накачкой. Обработка полученных данных проводилась с помощью программы WiRE inVia и MS Excel.

Характерной особенностью всех рамановских спектров углеродных материалов является наличие в них G (graphite) полосы на частоте ~ 1580 ± 5 см-1, которая обусловлена колебаниями атомов углерода в плоскости графенового слоя. Другой особенностью Рамановских спектров углеродных материалов является наличие D-полосы (disorder, defects) в области ~1350 см-1. Которая связана с дефектами материала, наличием краевых атомов и неупорядоченного углерода . В рамановских спектрах высокосовершенных графитированных материалов также появляется полоса на частоте ~ 2700 см-1, эту полосу называют 2D.

Согласно результатам многочисленных работ, соотношение интегральных интенсивностей этих полос, параметр ID/IG, определяется средними расстояниями между дефектами, и для углеродных материалов на стадии графитации позволяет характеризовать средние размеры кристаллитов La. Часто параметр ID/IG используют в качестве количественной характеристики степени совершенства кристаллической структуры, достигаемой при графитации углеродных материалов.

Исследование показало, что интенсивность и ширина полос D, G и 2D рамановских спектров УВ, полученных при различной температуре разная для всех спектров. При анализе и обработке полученных спектров был рассчитан параметр ID/IG и построена его зависимость от температуры обработки для углеродных волокон на основе ПАН. Было показано, что при увеличении температуры обработки от 1060 до 3150 $^0$С, параметр ID/IG снижается от 3,722 до 0,194, что соответствует существенному росту степени совершен-

ства кристаллической структуры УВ в результате графитации. Также было получено уравнение для определения эффективной температуры обработки углеродных волокон на основе ПАН методом рамановской спектроскопии

Исследование влияния вытяжки УВ при графитации на его структуру показало, что повышение степени вытяжки от 0 до 8% приводит к повышению степени совершенства кристаллической структуры УВ.

Исследование влияния скорости протяжки волокна при графитации (ТО 3000 °С) на его структуру показало, что при быстрых скоростях протяжки (300 м/с) филаменты УВ прогреваются неоднородно.

Тем самым было показано, что метод рамановской спектроскопии может применяться для контроля технологических параметров получения УВ.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ СУШЕНОЙ ГРУШИ, ВНОСИМОЙ В ПРЯНИЧНОЕ ТЕСТО

**Мачнева А. Н.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***an.machneva@yandex.ru***

Для повышения пищевой ценности пряничных изделий предлагается вводить в рецептуру сырцовых пряников обогащающий компонент растительного происхождения – сушеную грушу сорта «Семушка» [1]. Для того чтобы реологические показатели пряничного теста не ухудшились, возможно, стали лучше, частицы груши должны быть определенного диаметра. Для проведения опыта по исследованию влияния частиц на тесто используем рецептуру сырцовых пряников по ГОСТу, изменив состав и количество некоторых ингредиентов [2]. В исходной рецептуре предложено добавлять 370 г сахара, в новой рецептуре уменьшаем количество сахара до 300 г и добавляем сушеную грушу сорта « Семушка» в количестве 70 г, т.е. заменяя 70 г сахара на 70 г сушеной груши. В исходной рецептуре предложены следующие специи: корица, кардамон, душистый перец, бадьян, имбирь, черный перец в количестве 4 г, сокращаем количество специй – добавляем только корицу и имбирь, оставив массу ту же самой. Измененная рецептура сырцовых пряников по ГОСТу представлена в таблице 1.

Предлагаем 2 варианта частиц сушеной груши различного диаметра: №1 – маленькие (до 3 мм) и № 2 – крупные частицы груши (от 5 до 7 мм).

Технология приготовления заключается в следующем: 20 грамм сахара, не мешая, растворяем на среднем огне. Он должен полностью растворить и потемнеть. После этого в полученный раствор необходимо и влить 100 мл кипящей воды. Соединяем все необходимые специи. Всыпаем оставшиеся 280 грамм сахара и специи, возвращаем на небольшой огонь. Помешиваем до полного растворения сахара. Масса не должна кипеть. Снимаем с огня и всы-

паем 180 грамм муки. Тщательно все перемешиваем. Мука должна полностью разойтись и не оставить комочков. Растаявшее остывшее сливочное масло соединяем с одним яйцом и взбиваем в однородную массу.

Таблица 1.

Рецептура пряников по ГОСТ.

| Ингредиенты | Количество |
|---|---|
| сушеная груша | 70 г |
| сахар | 300 г |
| вода | 100 мл |
| мука | 480 г |
| сода | 2 г |
| разрыхлитель | 2 г |
| лимонная кислота | 1 г |
| масло сливочное | 50 г |
| яйцо | 1 шт |
| смесь специй (корица, имбирь) | 4 г |

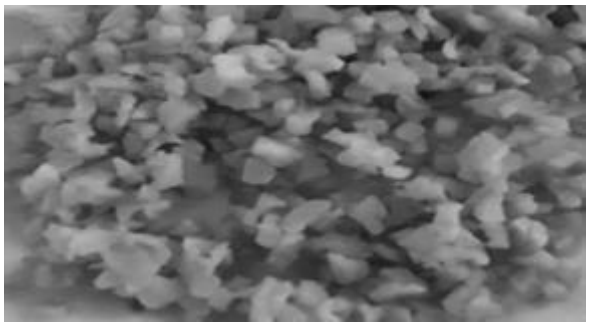


Рис. 1.Частицы № 1.

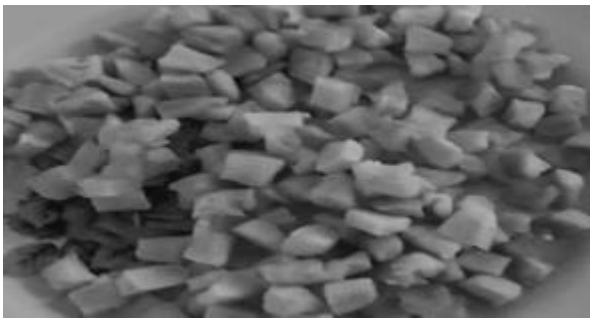


Рис. 2. Частицы № 2.

Яично - масляную массу вливаем в кастрюлю со смесью сахара и муки. И сразу же всыпаем разрыхлитель, соду, лимонную кислоту и частями начинаем вводить оставшиеся 300 грамм муки. После каждого добавления муки, тщательно перемешиваем. Тесто тогда будет особенно нежным и покладистым. Тесто замешиваем и разделяем на две части. В первую часть добавляем частицы № 1, а во вторую часть частицы груши № 2. Замешиваем упругое тесто. Оно должно не приставать к рукам и стать покладистым [3].

С помощью форм отделяем пряничные заготовки. Выкладываем тестовые заготовки на противень на небольшом расстоянии друг от друга. Тестовые заготовки выпекаем 15 минут при температуре 220 градусов.

Проведя анализ готовых пряничных изделий было установлено, что пряники с добавлением груши диаметром меньше 3 мм оказались лучше по органолептическим и физико - химическим показателям, чем пряники с крупными частицами груши. Важность пряников определена ускоренным способом в сушильном шкафу на 130 ℃ [4]. Результат исследования показал, что влажность пряников №1 равна 15, 2 % , а пряников № 2 – 14,5 %. Так как влажность сырцовых пряничных изделий должна быть не более 15 %, то у пряников № 1 влажность завышена, а у пряников № 2 в норме [5]. Это может объясняться тем, что крупные частицы груши имеют низкую водопоглотительную способность. Чем крупнее частицы, тем меньше их удельная по-

верхность, следовательно, они меньше связывают воду за данный отрезок времени. Тесто с такими частицами получается более пластичное, так как имеет большую влажность.

У пряников с добавлением крупных частиц груши структурно- механические свойства ухудшаются. Как видно из рисунка 3 крупные частицы выпадают из тестовых заготовок. В связи с чем, края тестовых заготовок получаются неровными и не соответствуют требованиям госта. Также в изделиях образуются слишком крупные поры, это также нежелательно.

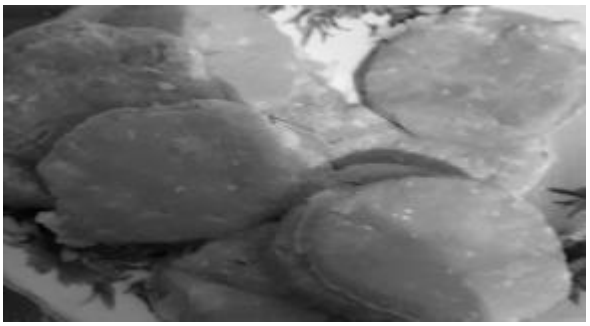


Рис. 3. Тестовые заготовки с крупными частицами груши.

На основании полученных результатов целесообразно вносить в пряничные изделия частицы груши диаметром не боле 3 мм.

Список используемых источников.

1. Калорийность груша сушеная «Семушка». Химический состав и пищевая ценность. [Электронный ресурс]. URL: https://health-diet.ru/table calorie users/1016487/ (дата обращения 14.09.18).

2. Павлов, А. В. Сборник рецептур мучных кондитерских и булочных изделий для предприятий общественного питания. – Санкт- Петербург: Гидрометеоиздат, 1998.

3. Рецепт пряников по ГОСТу [Электронный ресурс]. URL: http://rutxt.ru/node/12423 (дата обращения 14.09.18).

4. Малютенкова, С. М. Товароведение и экспертиза кондитерских товаров. – Санкт- Петербург: Питер, 2004.

5. Драгилев, А. И. Производство мучных кондитерских изделий / А.И. Драгилев, Я.М. Сязанов. – М.: ДеЛи, 2000.

# РАСШИРЕНИЕ ШУРТАНСКОГО ГХК С ПРОИЗВОДСТВОМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

**Дустов А. Ю., Рахматов Х. Б.**
***Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан***

Нефтегазовая промышленность в экономике Узбекистана занимает одно из приоритетных направлений, поскольку в значительной мере обеспечивает благополучие населения этой страны и влияет не только на экономическое развитие страны, но и на ее безопасность и энергетическую независимость [1], поэтому формирование задач, стоящих перед нефтегазовой промышленностью Узбекистана, диктуется необходимостью поступательного развития экономики и связано с решением задач по обеспечению рентабельного использования топливно-энергетического комплекса республики [2], поскольку в структуре первичных топливно-энергетических ресурсов страны ведущее место занимают нефть и газ - (96%), а уголь (2,5 %) и гидроэнергетика (0,8 %) занимают второстепенные положение [3].

Территория республики Узбекистан богата углеводородным сырьем. Добыча нефти и газа возможна на 60% территории республики, открыты около 211 месторождений углеводородного сырья в пяти нефтегазоносных регионах Узбекистана. Это 107 газовых и газоконденсатных, 103-нефтегазовых, нефтегазоконденсатных и нефтяных месторождений, из которых в разработке находятся около 55%, а около 40% из их числа подготовлены к освоению. Во многих регионах Республики проводятся разведочные работы на нефть и газ [4].

Шуртанский ГХК расположен в юго-западной части Узбекистана (Кашкадарьинская область, Гузарский район), в пустынной зоне Каршинской степи, сооружен на базе газоконденсатного месторождения Шуртан. Введен в эксплуатацию в 2001 г. Заложена основа для развития газо- химической отрасли Узбекистана.

На сегодняшний день деятельность Шуртанского газо-химического комплекса состоит из следующих основных частей: переработка природного газа с производством этилена (лицензиар ABB Lummus), производство сомономера (по лицензии Axens) и производство полиэтилена по технологии Sclairtech (лицензиар Nova Chemicals).

Более 60% полиэтилена, производства Шуртанского ГХК идет на экспорт, в страны Европы (Польша, Венгрия, Литва, Латвия, Турция), Азии (Иран, Пакистан, Китай), СНГ (Украина, Россия, Азербайджан, Казахстан), и другие старны.

Отраслью взят курс на углубленную переработку сырья. Совместно с Консорциумом корейских компаний реализуется проект по строительству на базе месторождения Сургиль на плато Устюрт крупнейшего в Центральной Азии газохимического комплекса, проектная мощность которого позволит

перерабатывать 4 млрд. куб. м природного газа с производством 362 тыс. тонн полиэтилена, 83 тыс. тонн полипропилена.

Технология разделения воздуха с помощью криогенных температур на основные газовые компоненты известна очень давно. Принцип работы криогенных установок основан на сжижении воздуха и последующем его разделении на азот, кислород и аргон.

Такой способ получения газов называется разделением воздуха методом глубокого охлаждения.

Криогенными считаются температуры ниже 120 К (-153оС). Сначала воздух сжимается компрессором, затем, после прохождения теплообменников, расширяется в машине-детандере или дроссельном вентиле, в результате чего охлаждается до температуры 93 К и превращается в жидкость.

Дальнейшее разделение жидкого воздуха, состоящего в основном из жидкого азота и жидкого кислорода, основано на различии температуры кипения его компонентов: кислорода - 90,18 К, азота - 77,36 К. При постепенном испарении жидкого воздуха сначала выпаривается преимущественно азот, а остающаяся жидкость всё более обогащается кислородом. Повторяя подобный процесс многократно на ректификационных тарелках воздухоразделительных колонн, получают жидкие кислород, азот и аргон нужной чистоты.

При относительно высокой стоимости криогенные блоки очень надежны, просты в эксплуатации, обладают высокими техническими характеристиками и позволяют получать газы высокой чистоты в очень больших объемах, например, газообразный азот сверхвысокой чистоты (до 1 ppb), который не может быть получен в адсорбционных и мембранных системах. В то же время криогенные блоки являются экономически эффективными при долгосрочной эксплуатации за счет низкого удельного энергопотребления и низких эксплуатационных затрат.

Широкое применение нержавеющей стали, особенно для трубопроводов и клапанов, позволяет использвать простые и надежные сварные соединения, а также обеспечивает противокоррозионную стойкость. Кроме этого, само по себе сварные соединения нержавеющих трубопроводов как внутри холодного блока, так и в не его, обеспечивают долговечную плотность и не допускают протечек.

Основными техническими преимуществами криогенного способа являются гарантированная высокая чистота продукта при неизменном расходе, а также низкое удельное энергопотребление в течение всего срока эксплуатации.

Минимизация вращающихся и движущихся механизмов обеспечивает долгий ресурс работы криогенных установок. При соблюдении проектных условий эксплуатации блока комплексной очистки (БКО) не требуется замена адсорбентов в течение всего срока службы установки.

Переработки природного газа, обеспечивающая выделение этана, пропана, бутана, газового конденсата. На базе этана организовано производство этилена (технология ABB Lummus Global, США) и полиэтилена (технология

Novlcor, Канада). Полимеризация осуществляется по технологии Sclairtech (этилен+бутен-1 в циклогексановом растворе). В качестве хладагентов применяются пропан, возвратный метан, этилен. А также на базе метана организовывается производство СЖТ (GTL) совместно с компаниями PETRONAS (Малайзия) и Sasol (Южная Африка), блок схема которого приведена ниже:

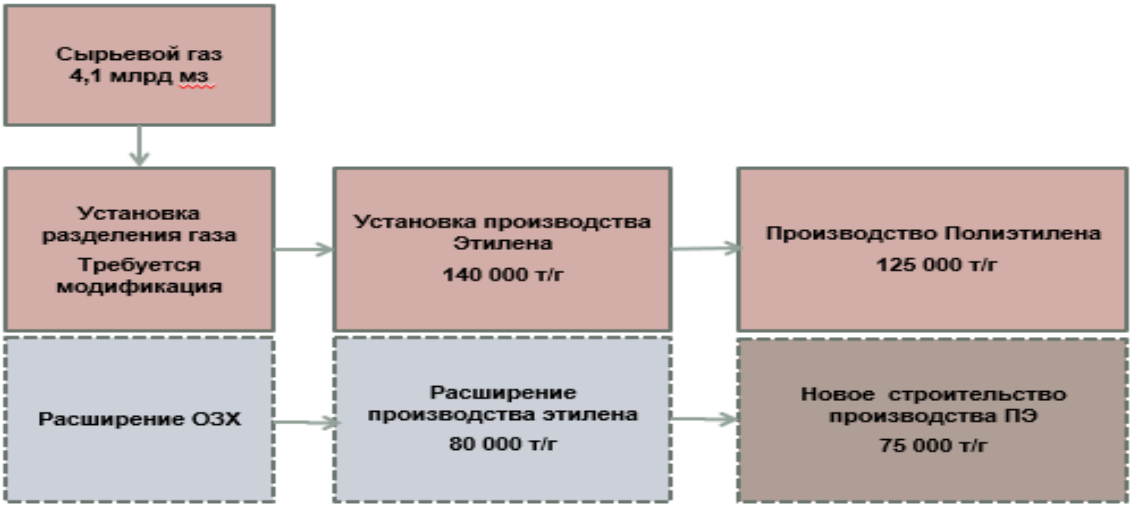



Рис. 1. Блок-схема Шуртанского газохимического комплекса.

В результате расширение Шуртанского ГХК при переработке 4,1 млрд.куб.м газа его продукции составит: 3,5 млрд. м3 товарного газа, 125 тыс. тонн гранулированного полиэтилена, 100 тыс. тонн сжиженного газа, 100 тыс. тонн стабильного газового конденсата, 1,5 тыс. тонн элементарный серы (газовой – технической).

Список используемых источников.

1.Ахмадалиев, К. К. Проект: Повышение Энергоэффективности промышленных предприятий. // Электронный источник НХК «Узбекнефтегаз» (Дата обращения 21.03.2015 г.).

2.«Жахон» -история нефтедобычи Узбекистана в фактах и цифрах //(Дата обращения: 18.11.2014).

3.Узбекистанская международная выставка и конференция «Нефть и газ»// (Дата обращения: 16.05.2018)

Найланд, О. Я., Органическая химия. – М.: Высшая школа, 1990.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БАЗАЛЬТОВЫХ НИТЕЙ

**Малышева И. С., Смольков М. С., Зубова Н. Г.**
***Балаковский инженерно-технологический институт (филиал) НИЯУ МИФИ, Балаково***
***ira.malhzy@yandex.ru***

Базальтовые нити, относящиеся к силикатным нитям, являются основным видом неорганических волокон. Базальт — широко распространенная вулканическая порода. Залегает он в различных формах, но особенно часто в виде лавовых потоков, образовавшихся при извержении вулканов. Современные технологии позволяют рентабельно перерабатывать базальты: плавить, отливать, переводить в дисперсную форму, получать волокна и нити, а также широкий ассортимент волокнистых материалов [1].

Выпускными формами материалов на основе базальтовых волокон и нитей являются: короткие волокна, нити (ровинги), шнуры, жгуты, ленты, ткани, картоны, холсты и нетканые материалы.

Комплекс свойств базальтовых волокон (упругопрочностных, диэлектрических, акустических, теплофизических, триботехнических, химстойкость, огнестойкость), который определяется, прежде всего, химическим составом (исходными компонентами), предполагает их использование в качестве компонентов теплоизоляционных, фрикционных, химически стойких, конструкционных материалов, базальтопластиков на основе термореактивных и термопластичных связующих с базальтовыми наполнителями различных типов и форм [2].

Цель научно-исследовательской работы — исследование свойств исходных и модифицированных базальтовых нитей (БН) и определение их дальнейших областей применения.

В качестве объектов исследования на основании работы [3] были выбраны базальтовые нити и сульфат гидроксомеди (II).

Обработку базальтовых нитей в лабораторных условиях проводили путем их пропитки в водных растворах $CuSO4 \cdot 5H2O$ концентрацией 2, 5 и 10%, при времени модификации 30, 60 и 90 с.

Процесс модификации проводили согласно одному из основных правил, соблюдаемому при аппретировании базальтовых нитей: варьируя составом и протяженностью слоя аппрета на поверхности базальтовых волокон, в каждом конкретном случае стремятся достигнуть полного смачивания аппретом поверхности частиц наполнителя, вытесняя из всех микротрещин и пор газы и пары воды, адсорбированные наполнителем [2].

Сорбционные характеристики БН, которые оценивали по их изменению массы после модифицирования представлены на рисунке 1.

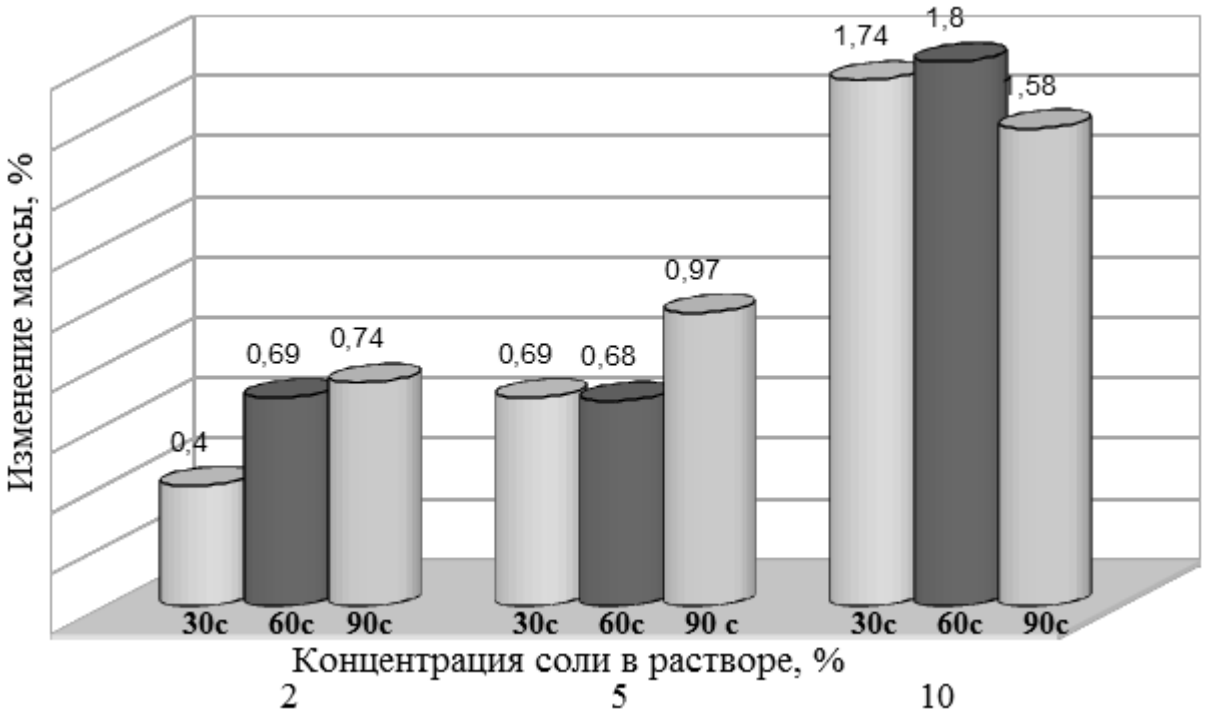



Рис. 1. Зависимость изменения массы модифицированных БН от режима модификации.

Из данных рисунка следует, что изменение массы волокон при концентрации CuSO4·5H2O в водном растворе 2, 5 и 10 % находится в пределах от 0,4 до 1,8 %. Наибольшая сорбционная активность БН наблюдается при их модификации 10%-ным раствором соли. Причем варьирование времени обработки волокон с 30 до 90 с практически не влияет на изменение массы.

Модификация базальтовых нитей металлсодержащими растворами также способствует увеличению физико-механических свойств, выраженных через относительную разрывную нагрузку (Pp, сН/текс) и относительное разрывное удлинение (lp,, %) (рисунок 2).

Из приведенного рисунка видно, что при модификации БН исследуемым веществом наблюдается увеличение Pp в среднем на 20% по сравнению с немодифицированной нитью. При этом наибольшее значение относительной разрывной нагрузки (202 сН/текс) характерно для БН, аппретированной при концентрации соли 10% и времени модификации 60 с. Эти данные сочетаются со значениями сорбционных характеристик аппретированных нитей, которые выражаются в незначительном расходовании компонентов при модифицировании базальтовых нитей CuSO4·5H2O.

В связи с тем, что БН используются в качестве армирующего наполнителя в композиционных материалах на основе эпоксидной смолы, целью дальнейших исследований будет являться анализ влияния модифицированных CuSO4·5H2O базальтовых нитей на свойства композитов.

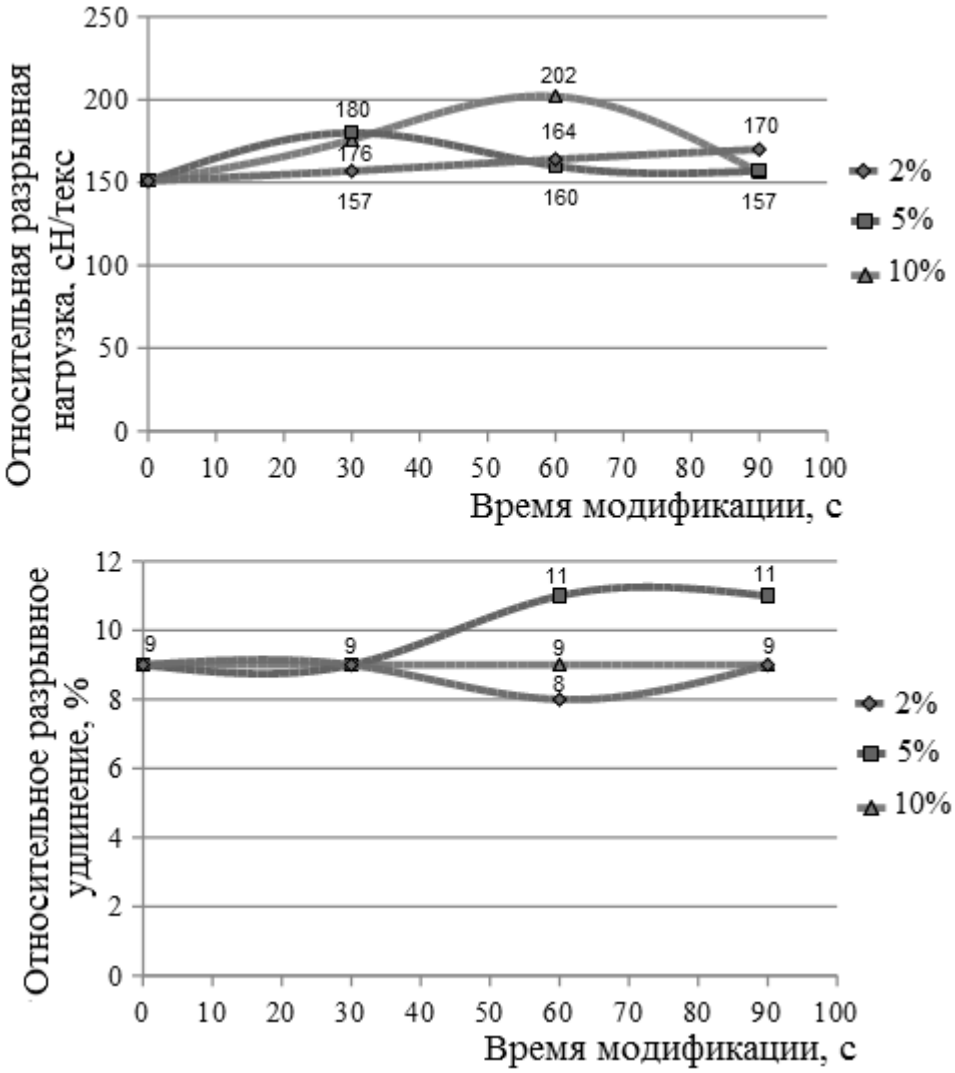



Рис. 2. Зависимость изменения физико-механических свойств модифицированных БН от режима модификации.

Таким образом, модификация базальтовых нитей способствует повышению их физико-механических свойств при незначительном расходе сульфата гидроксомеди (II).

Список используемых источников.

1. Перепелкин, К. Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты : учебник. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 380 с.

2. Михайлин, Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. - СПб.: Научные основы и технологии, 2015. – 824 с.

3. Малкина, К. А. Технологические и эксплуатационные свойства композитов на основе модифицированных нитей / К. А. Малкина, А. В. Кочнева, Н. Г. Зубова, В. М. Земсков // Технология и переработка современных полимерных материалов: сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции. – 2017. – С. 46-49.

# ЭЛЕКТРЕТНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ

**Москвин Р. Ю., Бычкова Е. В.**
***Энгельсский технологический институт (филиал), Саратовского государственного технического университета им. Ю. А. Гагарина***
**xtsgtu@yandex.ru**

На сегодняшний день широкое применение в различных сферах деятельности человека имеют электретные полимерные системы. Такие материалы используются в микрофонах, системах электронной фокусировки, дозиметрах, системах защиты от коррозии и т.д. Получают полимерные электреты термо-, фотоэлектрированием, воздействием электронного и лазерного излучений, методом коронного разряда. Наиболее изученными являются электреты на основе термопластов.

Авторы данной работы исследовали свойства полимерных электретных систем, полученных из реактопластов. В качестве объектов исследования были выбраны: эпоксидная смола ЭД-20, отвердители (полиэтиленполиамины), различные наполнители (полититанат калия, диоксид титана, кварцевый песок (SiO2)), вводимые в композицию в количестве 10-50 % масс. от массы олигомера. Подложками служили пленки из целлофана, алюминия и поливинилбутираля (ПВБ). Процесс отверждения некоторых систем проводили с использованием сверхвысокочастной (СВЧ) обработки.

При определении поверхностной плотности зарядов применялся метод подъемного электрода согласно ГОСТ 25209-82.

Изучением влияния природы подложки на электрические характеристики эпоксидных электретов установлено, что наличие полярных групп (гидроксильных, ацетальных, ацетатных) в макромолекуле поливинилбутираля (ПВБ) положительно влияет на электретные характеристики композиции (рис.1).

Использование наполнителей является самым распространенным способом модификации полимеров. Добавление в композицию материалов с отличными от матрицы свойствами позволяет добиться синергии всех компонентов системы. Результаты эксперимента показали, что введение в композицию SiO2 повышает поверхностную плотность эпоксидных электретов в 5,86 раза (рис.2). При этом установлено, что увеличение концентрации наполнителя в полимерном композите также способствует повышению электретных характеристик рассматриваемых систем (рис.3).

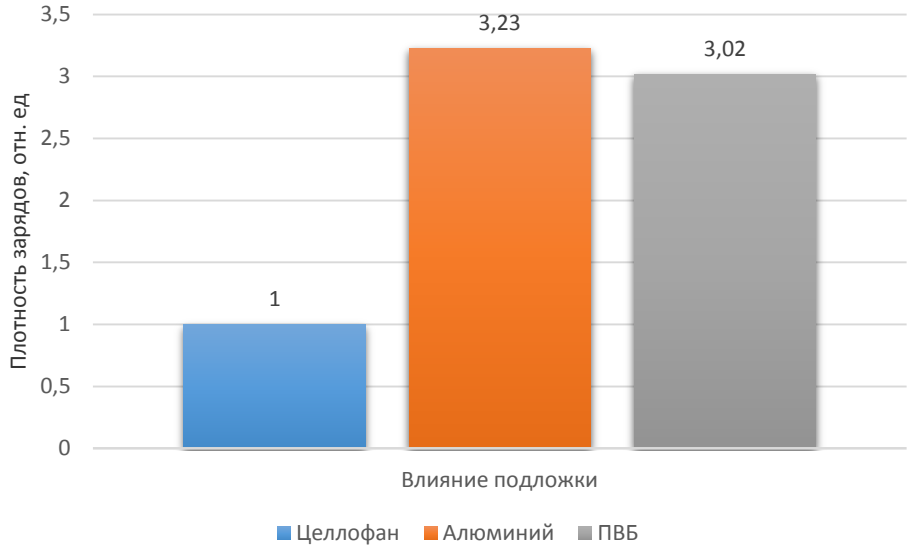



Рис. 1. Влияние природы подложки на поверхностную плотность зарядов.

Выявлено также влияние данного наполнителя на кинетику отверждения эпоксисистем. Композиция с наполнителем (30%) отвердилась быстрее и имеет наивысшую температуру отверждения, чем чистая, состоящая из эпоксидной смолы и отвердителя. Видимо частицы SiO2, внедряясь вглубь макромолекул, являются концентраторами (узлами) образования сетки, что способствует созданию сетчатой структуры на первой стадии процесса отверждения и приводит к ускорению процесса сшивания.

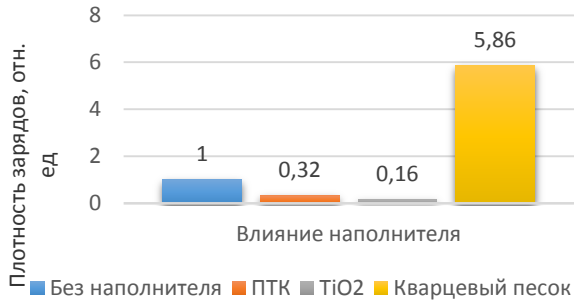



Рис. 2. Влияние наполнителей (содержание в композиции 30 %. масс) на поверхностную плотность зарядов.

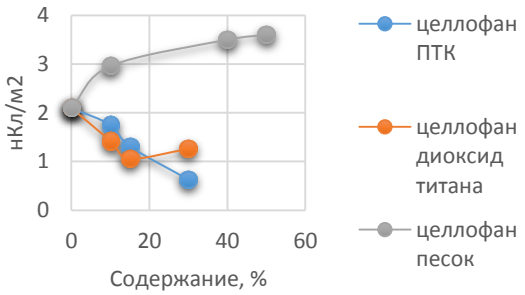



Рис. 3. Влияние степени наполнения на поверхностную плотность зарядов.

Известно, что методы физической модификации существенным образом могут влиять на процессы формирования структуры материалов и изменение свойств получаемых композитов. В связи с этим, в работе исследовалось влияние СВЧ обработки и ее параметров на поверхностную плотность электрического заряда эпоксидного материала. Мощность излучения варьировалась от 100 Вт до 800 Вт, а продолжительность обработки – от 30 до 60 секунд.

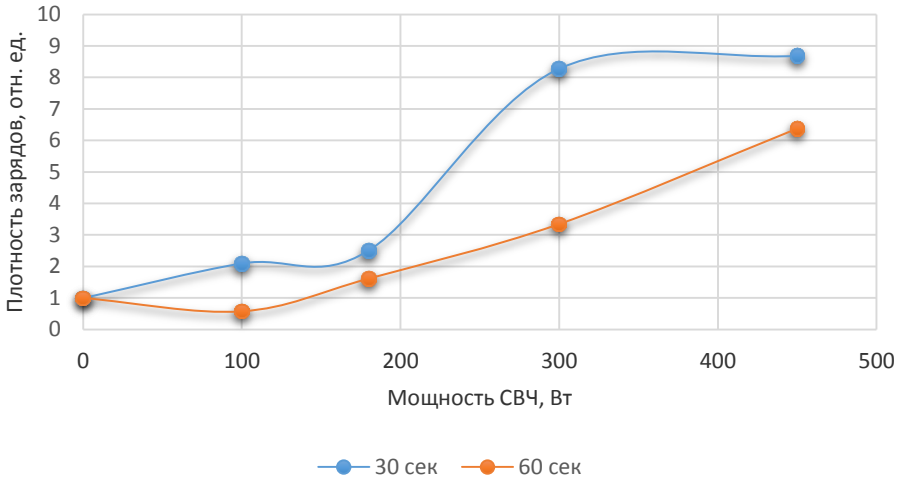



Рис. 4. Зависимость поверхностной плотности зарядов от обработки в электромагнитном поле СВЧ.

Установлено, что обработка электромагнитным полем СВЧ увеличивает плотность зарядов относительно электретов без обработки в 8-9 раз (рис.4). При этом увеличивается скорость отверждения полимерного композита. Изучением влияния параметров СВЧ обработки на поверхностную плотность заряда эпоксидного электрета установлено, что оптимальными характеристиками обладают образцы, прошедшие СВЧ обработку мощностью 450 Вт в течение 30 с.

Список используемых источников.

1. Лущейкин, Г. А. Полимерные электреты. – М.: Химия, 1984. – 184 с.

2. Гороховатский, Ю. А. Электретный эффект и его применение // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 8. – С. 92-98.

3. Лимаренко, А. Н. Исследование зависимости электретных характеристик эпоксидных материалов на основе олигомера DER-331 от содержания модификатора ПЭФ-3А в условиях одновременных отверждения и поляризации / А. Н. Лимаренко, Е. Н. Мочалова, Р. Р. Бурганов, Р. Я. Дебердеев // Вестник Казанского технологического университета. – 2015 – № 2. – С. 210-212.

4. Темнов, Д. Э. Электретные свойства пространственно-сетчатых полимеров на основе эпоксидных смол с минеральным наполнителем / Д. Э. Темнов, Е. Е. Фомичева, М. Ф. Галиханов, Е. Н. Мочалова // Вестник технического университета. – 2015. – № 18. – С. 13-15.

# УДАЛЕНИЕ АЛИЗАРИНОВОГО КРАСНОГО - АНИОННОГО КРАСИТЕЛЯ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ УГЛЕРОДНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

**Курносов Д. А., Мкртчян Э. С., Буракова И. В.,**
**Бураков А. Е., Нескоромная Е. А.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Применение органических красителей в различных сферах производства учащается с каждым годом. Развитие таких отраслей, как текстильная, резиновая, косметическая, целлюлозно-бумажная, фармацевтическая и др. влечет за собой риск неправильной утилизации отходов, при этом загрязнители попадают в окружающую среду (в основном в воду) и наносят ей непоправимый ущерб [1].

Один из таких красителей – ализариновый красный С (АКС) (C14H7NaO7S) – химическое соединение ряда оксиантрахинонов. В зависимости от значения pH имеет переход цвета от желтой до темно-розовой и фиолетовой окраски. Является анионным красителем [2].

В настоящем исследовании в качестве материалов-поглотителей для удаления АКС использовались три типа углеродных материалов: активированный уголь (АУ), нанопористый углерод (НПУ) и полиаминокумулен (ПАК). Процесс сорбции проходил в статическом режиме.

Для изучения кинетики готовили раствор красителя с начальной концентрацией 1500 мг/л. В пробирке смешивали 30 мл раствора АКС с исследуемыми материалами (АУ=0,1 г; НПУ=0,03 г; ПАК=0,03 г). Далее растворы перемешивали в интервале времени от 5 до 60 мин, используя ротатор «Multi-bio RS-24». После чего пробирки помещали в центрифугу Eppendorf 5804 и в течение 10 мин при 10000 об/мин проводили осаждение твердой фазы. Пробу очищенного раствора помещали в кювету спектрофотометра (ПЭ-5400ви) для определения оптической плотности.

В результате исследований были построены кинетические кривые адсорбции для каждого исследуемого материала: АУ (рис.1), НПУ (рис. 2), ПАК (рис.3), наглядно показывающие время наступления адсорбционного равновесия (АУ при 40 мин; НПУ при 30 мин; ПАК при 10 мин). Также в ходе исследований, авторами статьи была установлена максимальная адсорбционная способность материалов (табл. 1).

Авторами исследованы три типа углеродных материалов для сорбции органического красителя АКС в статическом режиме. В результате эксперимента были определены максимальная адсорбционная способность поглотителей и время наступления равновесия. Для АУ время контакта составило 40 мин при максимальной сорбции 92,72 мг/г. НПУ за 15 мин поглотил 791,15 мг загрязнителя. Максимальная сорбция для ПАК составила 1109,55 мг/г при времени контакта адсорбат-адсорбент 5 мин.

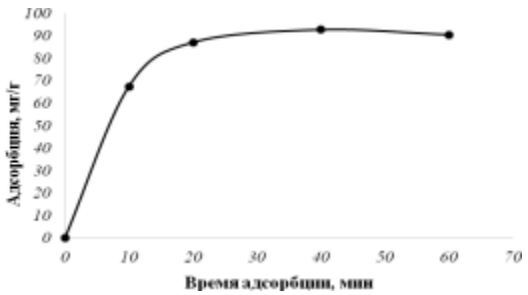



Рис. 1. Кинетика адсорбции ализаринового красного на сорбенте АУ.

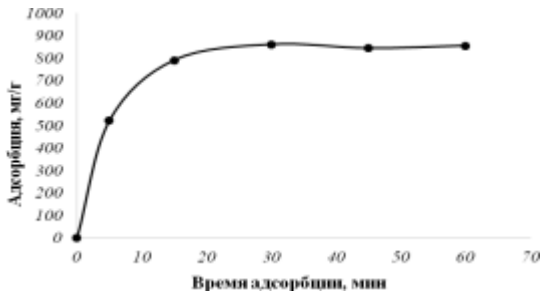



Рис. 2. Кинетика адсорбции ализаринового красного на сорбенте НПУ.

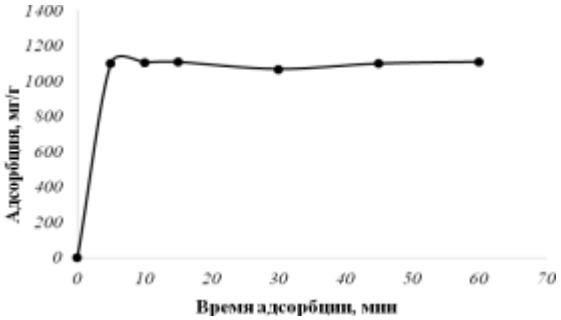



Рис. 3. Кинетика адсорбции ализаринового красного на сорбенте ПАК.

Таблица 1.

Показатели максимальной адсорбционной способности исследуемых материалов.

| Название материала | Максимальная адсорбционная способность, мг/г |
|---|---|
| АУ | 92,72 |
| НПУ | 791,15 |
| ПАК | 1109,55 |

Список используемых источников.

1. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review / M. T. Yagub [и др.] // Advances in Colloid and Interface Science. – 2014. – V. 209. – P. 172-84.

2. Adsorption kinetics, isotherms and thermodynamic studies for Hg2+ adsorption from aqueous medium using alizarin red-S-loaded amberlite IRA-400 resin / M.Naushad [и др.] // Desalination and Water Treatment. – 2016. – V. 57. – P. 18551–18559.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДОФАЗНОЙ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ РЕНИЯ В НЕФТЕПРОДУКТАХ

**Абдирахимов И. Э, Буронов Ф. Э.**
***Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан***
***abdirahimov.ilhom@mail.ru, firdavsiy.buronov@mail.ru***

Эффективность извлечения рения из различных по природе и содержанию минеральных объектов неразрывно связана с уровнем развития аналитической химии этого металла.

Несмотря на высокую чувствительность современных методов, прямое определение рения затрудненно вследствие низких содержаний элемента в анализируемых объектах и мешающего влияния матричных компонентов. Поэтому часто применяют концентрирование из анализируемых растворов и отделение его от матрицы [1-2].

Выделение рения из разбавленных растворов осуществляют, как правило, сорбционным методом. В связи с этим определенный интерес представляют волокнистые ионообменные материалы с хорошими гидродинамическими характеристиками, синтез которых обеспечивает возможность введения функциональных групп, специфичных по отношению к рению. Экономически целесообразным может стать использование пористых адсорбентов, полученных на основе промышленных отходов. Однако использование синтетических сорбентов – анионитов или активированных углей различного происхождения характеризуется низкой сорбционной скоростью извлечения. В связи с этим, особый интерес представляют волокнистые сорбенты с улучшенными сорбционными характеристиками, имеющими в своем составе функционально активные группы, участвующие в комплексообразовании с ионом металла и синтез которых обеспечивает возможность введения функциональных групп, специфичных по отношению к ионам рения. Экономически целесообразным является использование волокнистых полимеров, модифицированных различными ионообменными группами, полученных на основе промышленных отходов. Нами в работе проведено исследование по иммобилизации реагентов на основе висмутола на волокнистые полимерные носители и изучено комплексообразование ионов рения на твердом носителе с иммобилизованнымвисмутолом.

О механизме сорбции рения хитозан-углеродными материалами. Сорбционные свойства хитозана, используемого в качестве сорбента, по отношению к отрицательно заряженным ионам (например, TcO4 - ReO4) определяются значением pH растворов. При pH< 6,5 хитозан имеет положительно заряженные аминогруппы, что предпочтительно для сорбции отрицательно заряженных ионов. В нейтральной и щелочной среде число их незначительно. Таким образом, величина сорбционной емкости хитозана по анионам, определяемая числом его протонированных аминогрупп, выше в кислой среде.

Характерным свойством рения является его способность образовывать металлорганические соединения. Химия металлоорганических соединений рения, как и других переходных элементов, интенсивно развивается. Синтезировано большое число соединений рения с карбонилом. Обзор литературы по синтезу и свойствам соединений с карбонилом и других металлорганических соединений рения приведен в монографии Колтона.

В этих соединениях рений проявляет валентоность 0 или +1, причем рения непосредственно связан с углеродом. Карбонил рения образуется при обработке ReO7, ReO4, Re2S7 или KReO4 оксидом углерода при 250 °С и давлении 200 атм. С целью упрощения процесса синтез ведут в среде инертного растворителя, например, тетрагидрофурана [3-4].

Изучены также кинетические и равновесные характеристики сорбции рения сорбентами, синтезированными на кафедре химии полимеров под руководством проф. Мухамедиева М.Г. Данные полимерные сорбенты имеют в своем составе различные анионо- и катионообменные функционально-аналитические группы, с помощью которых происходит иммобилизация органических реагентов на носители. Они также имеют высокоразвитую удельную поверхность и поэтому скорость ионного обмена при работе с полимерными волокнами в 10-20 раз выше, чем в случае применения различных смол, силикагелей, гранул, порошков и т.д., что обуславливает большую эффективность использования их в качестве иммобилизирующих материалов. Исследованное комплексообразование рения с органическими реагентами: висмутол 1 и висмутол 2 показало, что комплексообразование на иммобилизованном носителе и в растворе происходит за счет одних и тех же функционально-аналитических групп лиганда, на что указывают спектры поглощения и спектры отражения изученных комплексов. Оптимизированы условия определения рения в присутствии посторонних катионов и мешающих ионов. Интенсивность окрашивания не зависит от изменения температуры в широких пределах. Предложен механизм комплексообразования рения с иммобилизованными органическими реагентами висмутолом 1 и висмутолом 2, подтверждённый данными ИК- и ПМР- спектроскопии и ренгеноструктурного анализа.

Методом MOPAC 2016 рассчитаны структуры органических соединений и исследованы электронная и геометрическая конфигурация, реакции комплексообразования синтезированных реагентов для определения ионов рения, изучены их физико-химические свойства. Квантово-химическими методами также рассчитаны межядерные расстояния, радиусы атомов, электронная плотность, энергия ионизации и т.д.

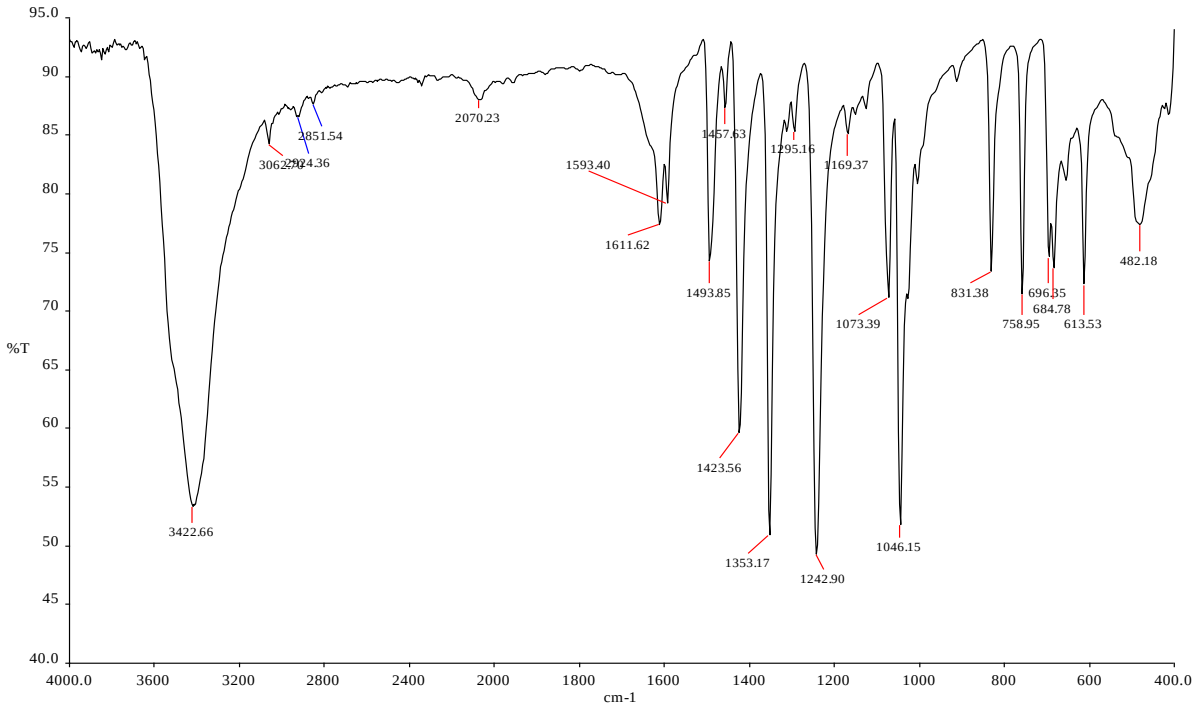



Рис. 1. Спектрофотометрия рения.

Список используемых источников.

1. Борисова, Л. В., Ермаков, А. Н. Аналитическая химия рения. – М.: Наука, 1974. – 318 с.

2. Эй Мин Высокоскоростная сорбция рения из минерализованных растворов. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. хим. наук. Москва, 2013. – 20 с.

3. Аминджанов, А. А. Комплексообразование в системе рений (V) – N,N'-этилентиомочевина -5 моль/лHClпри 318К / А. А. Аминджанов, С. М. Сафармамадов, Э. Д.Гозиев // Валихановские чтения-12: Материалы Международной научно-практической конференции. – Кокшетау, 2007. – Т. 4. –С. 417-420.

4. Аналитическая химия рения / Л. В. Борисова, А. Н. Ермаков. – «Наука», 1974 г.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ НИТЕЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРИ РАЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ

**Паршкова Е. С., Зубова Н. Г.**
***Балаковский инженерно-технологический институт (филиал) НИЯУ МИФИ, Балаково***
***lena.parshkova@mail.ru***

В современной технике находят широкое применение как материалы, изготовленные только из полимерных волокон (канаты, троса, кабели, конвейерные ленты, рыболовные сети, различные виды бронезащиты) на основе текстильных материалов, так и композиционные материалы на основе полимерных волокон, используемых в качестве усиливающих, армирующих наполнителей. Последние используются в авиакосмической технике, электротехнике, радиотехнике, судостроении, резинотехнической промышленности, производстве спортивных изделий [1].

С целью расширения областей применения гидратцеллюлозных технических нитей (ГЦТН), которые из-за высокой гигроскопичности редко используются в качестве армирующих наполнителей для композиционных материалов [2, 3], проводилась модификация ГЦТН сульфатом гидроксомеди (II) ($CuSO4 \cdot 5H2O$) при комнатной и повышенной температурах растворов.

В работе [2] было установлено, что модификация ГЦТН растворами сульфата гидроксомеди (II) при комнатной (23+5ºС) температуре способствует увеличению физико-механических свойств нитей. Это увеличение также проявляется и в изменении технологических и эксплуатационных характеристик композиционных материалов на основе эпоксидной смолы и модифицированных ГЦТН [3].

Для увеличения роста физико-механических показателей гидратцеллюлозных нитей была проведена их модификация водными растворами $CuSO4 \cdot 5H2O$ при концентрации 2, 5 и 10% при времени обработки нитей 60 с. Металлсодержащие растворы нагревали до температуры (65+5ºС).

Зависимость изменения массы соли на волокне от ее концентрации и температуры растворов приведена на рисунке 1, из данных которого следует, что независимо от технологического режима модификации, масса аппретированных волокон определяется концентрацией $CuSO4 \cdot 5H2O$. При этом наиболее прямая зависимость исследуемого показателя от концентрации соли видна при модификации раствора с повышенной температурой. Изменение массы нитей после модификации практически не превышает 5% как при обработке волокон при комнатной температуре, так и при обработке волокон при повышенной температуре.

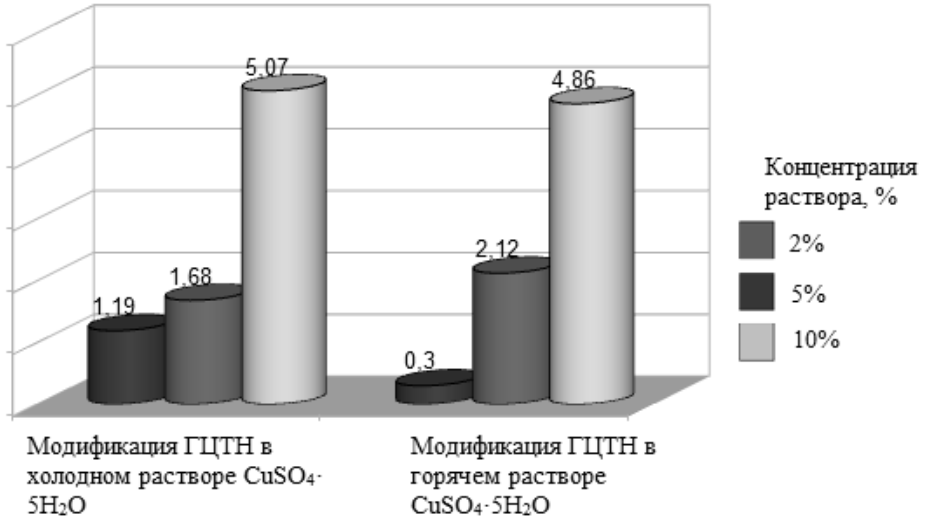



Рис. 1. Привес модификатора на ГЦТН, %.

Модифицированные нити, аппретированные при разных технологических режимах, исследовались на влияние CuSO4·5H2O на физико-механические характеристики: на относительную разрывную нагрузку и относительное разрывное удлинение.

Кривые, характеризующие зависимость относительной разрывной нагрузки модифицированных ГЦТН от температуры растворов представлены на рисунке 2.

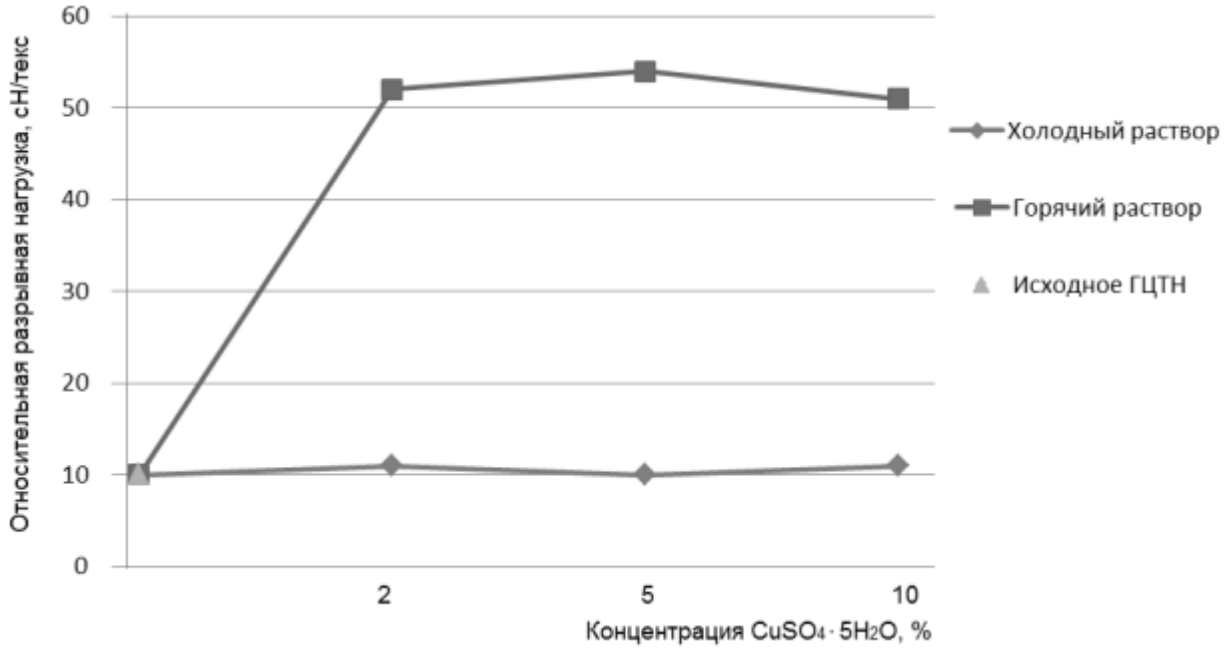



Рис. 2. Относительная разрывная нагрузка модифицированных элементарных гидратцеллюлозных нитей, сН/текс.

На рисунке показано явное преимущество гидратцеллюлозных нитей, модифицированных в водном растворе при температуре (65+5ºС) перед нитями, модифицированными при комнатной температуре. При этом наиболь-

шее значение относительной разрывной нагрузки, которое составляет 54 сН/текс, соответствует ГЦТН, модифицированной 5%-ным раствором сульфата гидроксомеди (II).

На рисунке 3 представлены кривые, характеризующие зависимость относительного разрывного удлинения модифицированных ГЦТН от температуры растворов.

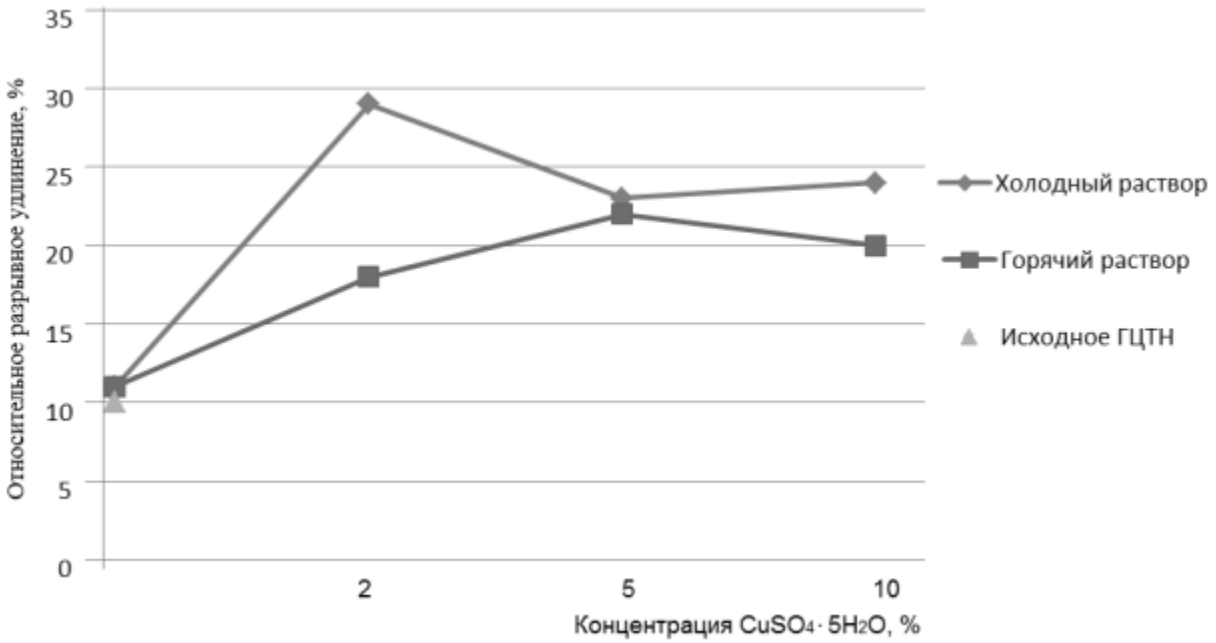



Рис. 3. Относительное разрывное удлинение модифицированных элементарных гидратцеллюлозных нитей, %.

При обработке нитей модифицированными растворами, содержащими CuSO4·5H2O при концентрации от 2 до 10% наблюдается тенденция к повышению относительного разрывного удлинения гидратцеллюлозных технических нитей.

Сравнительный анализ модифицированных ГЦТН при разных температурах растворов, содержащих сульфат гидроксомеди (II), показал активное влияние повышенной температуры на свойства исследуемых нитей.

Список используемых источников.

1. Артеменко, С. Е. Композиционные материалы, армированные химическими волокнами: монография. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1989. – 160 с.

2. Малкина, К. А. Модификация ГВЦ раствором сульфата гидроксомеди (II) / К. А. Малкина, Н. Г. Зубова // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Технология и переработка современных полимерных материалов». – 2016. – С. 45-47.

3. Малкина, К. А. Технологические и эксплуатационные свойства композитов на основе модифицированных нитей / К. А. Малкина, А. В. Кочнева, Н. Г. Зубова, В. М. Земсков // Технология и переработка современных полимерных материалов: сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции. – 2017. – С. 46-49.

# РОЛЬ БУФЕРИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ФОРМИРОВАНИИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ОСАДКА ЦИНК-НИКЕЛЬ

**Шарова П. Д., Шибаков И. А., Ченцова Е. В.**
***Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина, Саратов***
***ev-mail@rambler.ru***

Электролитическое нанесение металлов и сплавов является одним из эффективных методов получения защитных покрытий. В промышленности распространение получили покрытия на основе цинка, лидирующее место среди которых занимают сплавы Zn-Ni [1]. Гальванические сплавы цинк-никель характеризуются аномальным соосаждением, при котором в осадок преимущественно включается более электроотрицательный элемент – цинк. Одной из причин аномального соосаждения является формирование гидроксидов металлов в приэлектродном слое раствора, ингибирующих включение никеля в сплав [2]. Целью работы было исследовать влияние буферирующих веществ на формирование микроструктуры сплава цинк-никель и его свойства.

Осадок цинк-никель наносили на стальные пластины (Ст 45) в гальваностатическом режиме электролиза в сульфатном растворе. В качестве буферных веществ в раствор вводили сульфат алюминия и глицин. Методика эксперимента приведена в работе [3].

Гальванические осадки, полученные в растворе солей цинка и никеля, характеризовались пористой структурой (рис.1). При повышении тока осаждения количество дефектов возрастало. На поверхности образцов были отмечены радужные разводы вследствие включения гидроксидов металлов в осадок. Выход по току покрытий, полученных током 0,5…1 А/дм2, принимал аномально высокие значения 100,2…102,9 %.

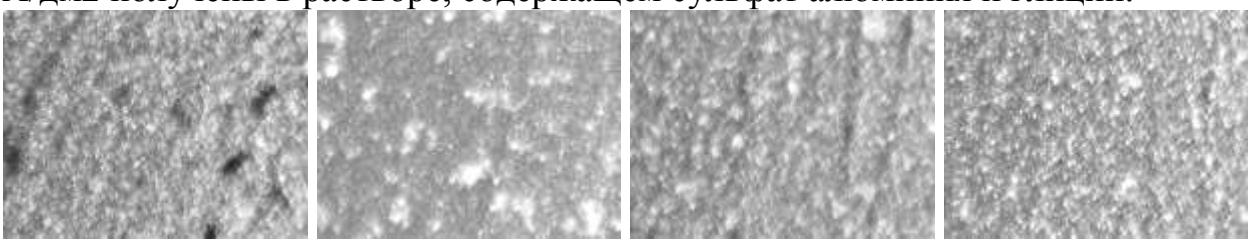
Введение сульфата алюминия в раствор способствовало снижению пористости, поверхность образцов характеризовалась неравномерной островковой структурой. Косвенным подтверждением уменьшения количества гидроксидов в составе покрытия служит снижение величины выхода по току образцов до 96,1…98,9 %.

Наиболее однородной микроструктурой обладали покрытия, полученные в растворе с добавкой глицина. Положительное влияние аминоуксусной кислоты на морфологию гальванических осадков может быть обусловлено не только буферной, но также комплексообразующей функцией добавки. Выход по току образцов в глицинатном растворе снижался до 75,9…90,8 %.

При совместном присутствии сульфата алюминия и глицина в растворе в морфологии полученных образцов сочеталось положительное влияние обоих добавок: снижалась пористость и повышалась однородность гальванических осадков. Выход по току образцов принимал промежуточное значение – 88,1…91,9 %.

Режим электролиза и состав раствора оказывали влияние на соотношение компонентов в осадке цинк-никель. Повышение тока осаждения и введение в раствор буферных добавок увеличивало содержание никеля в покрытии на 1…5 %. При совместном присутствии сульфата алюминия и глицина в растворе влияние тока на состав сплава не отмечено.

В работе показана взаимосвязь количественного состава и морфологии осадков цинк-никель с их защитной способностью в 3%-ном растворе NaCl. Минимальной коррозионной стойкостью характеризовались образцы, полученные в сульфатном растворе без добавок. Положительное влияние на защитную способность сплавов оказало введение глицина в состав раствора. Однако при увеличении тока осаждения повышалась пористость осадков, вследствие чего снижалась их защитная способность. В образцах, полученных из раствора с добавкой сульфата алюминия, с повышением тока осаждения увеличивалось содержание никеля. Соответственно, возрастала их коррозионная стойкость. Наиболее однородные по составу и защитной способности осадки цинк-никель в исследованной области тока осаждения 0,5…2 А/дм2 получены в растворе, содержащем сульфат алюминия и глицин.



а б в г

Рис. 1. Микроструктура осадка цинк-никель при увеличении в 1000 раз, осажденного током 1 А/дм2 в растворе 0,21 М ZnSO4, 0,12 М NiSO4, 0,5 М Na2SO4 (а) с добавкой 0,08 М Al2(SO4)3 (б), 0,5 М NH2CH2COOH (в) и в присутствии 0,08 М Al2(SO4)3 и 0,5 М NH2CH2COOH (г).

Список используемых источников.

1. Structural, micromechanical and tribological characterization of Zn-Ni coatings: effect of sulfate bath composition / F. Nasri, M. Zouari, M. Kharrat and etc. // Transactions of the Indian Institute of Metals. – 2018. – V.71, Issue 8. – P. 1827-1840.

2. Normal and anomalous codeposition of Zn-Ni alloys from chloride bath / G. Roventi, R. Fratesi, R. A. Della Guardia, G. Barucca // Journal of Applied Electrochemistry. – 2000. – V. 30, Issue 2. – P. 173-179.

3. Ченцова, Е. В. Влияние режима электролиза на состав сплава цинк-никель-кобальт и его защитные свойства при осаждении из сульфатно-глицинатного электролита / Е. В. Ченцова, С. Ю. Почкина, Н. Д. Соловьева // Вестник технологического университета. – 2016. – Т.19. – № 9. – С.112-114.

# НАНОПОРИСТЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО КРАСИТЕЛЯ - МАЛАХИТОВОГО ЗЕЛЕНОГО

**Мкртчян Э. С., Курносов Д. А., Буракова И. В., Бураков А. Е., Бабкин А. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Малахитовый зеленый (МЗ) (C23H25N2)-синтетический диаминотрифенилметановый краситель [1], широко используемый в различных целях в виду своей невысокой стоимости.

В процессе активного использования синтетического красителя МЗ в полиграфии, живописи, а также текстильной промышленности [2], возрастает риск попадания его в водные среды (реки, озера, моря) вместе с промышленными выбросами, а, следовательно, и в организмы рыб, ракообразных и моллюсков [3]. Помимо пагубного влияния на организм рыб, МЗ также разлагается на молекулы, которые хорошо растворяются в жирах и сохраняются в тканях организма до нескольких месяцев [3]. МЗ является опасным не только для водных существ, но и для человека. При употреблении зараженной рыбы может проявится раздражение пищеварительной системы. В случае прямого контакта с МЗ у человека возникает раздражение кожных покровов.

Вследствие своего пагубного влияния, данный краситель имеет 2 класс опасности-высокоопасное вещество.

Авторами статьи были проведены исследования по очистке водных сред, загрязненных МЗ. Для этого был изучен сорбент нового типа – нанопористый углерод (НПУ), а в качестве материала сравнения использовали активированный уголь (АУ), углеродные нанотрубки серии Таунит-М (УНТ).

В ходе проведения кинетических исследований в статическом режиме был использован раствор МЗ концентрацией 1500 мг/л, масса навески адсорбентов составляла 0,1 г-АУ, 0,03 г-Таунит-М и НПУ, объем раствора в пробирке 30 мл. Исследуемые пробы подвергались встряхиванию с помощью ротаторов (Multi-bio RS-24) в диапазоне от 5 до 240 мин. По истечении времени раствор фильтровали (фильтры «Красная лента») и отделяли супернатант, а затем проводили измерение оптической плотности на спектрофотометре (ПЭ-5400ви, Люмекс, Санкт-Петербург).

Для определения величины адсорбции использовали уравнение Гиббса:

$$Q_e = \frac{V(C_0 - C)}{m}, \quad (1)$$

Qe – Гиббсовская адсорбция, мг/г; V – объем системы, мл; C0– исходная концентрация адсорбата, мг/л; C – концентрация адсорбата в объеме, мг/л; m – масса сорбента, г.

В результате исследований сорбции МЗ на АУ, УНТ и НПУ были построены кинетические зависимости (рис.1-3).

Анализируя полученные результаты исследований, было определено время достижения равновесного состояния для сорбентов АУ, УНТ «Таунит-М», НПУ, а также их максимальная адсорбционная емкость. Данные результаты представлены в таблице 1.

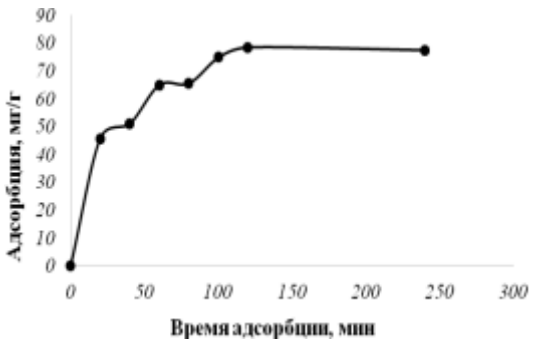



Рис. 1. Кинетика адсорбции малахитового зеленого на сорбенте АУ.

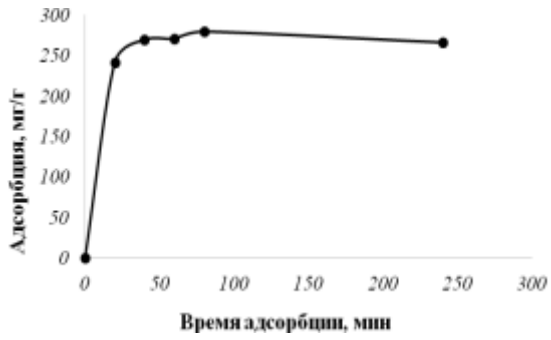



Рис. 2. Кинетика адсорбции малахитового зеленого на сорбенте УНТ «Таунит-М».

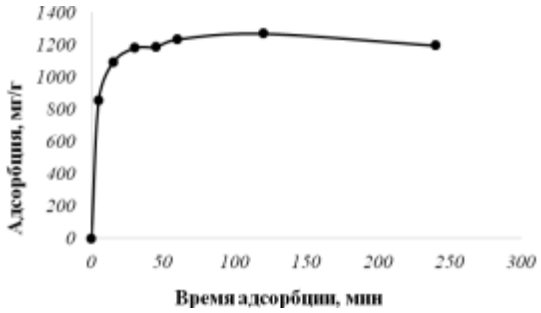



Рис. 3. Кинетика адсорбции малахитового зеленого на сорбенте НПУ.

Таблица 1.

Результаты кинетических исследований (время достижения равновесного состояния, максимальная адсорбционная емкость).

| Название материала | Время достижения равновесного состояния, мин | Максимальная адсорбционная емкость, мг/г |
|---|---|---|
| АУ | 120 | 78,5 |
| УНТ «Таунит-М» | 40 | 278,99 |
| НПУ | 30 | 1269,2 |

В результате проведения кинетических исследований в статическом режиме была определена адсорбционная ёмкость и время достижения равновесного состояния углеродных сорбентов по красителю МЗ: АУ – 78,5 мг/г за 120 мин, УНТ «Таунит-М» - 278,99 мг/г за 40 мин, НПУ – 1269,2 мг/г за 30 мин.

Список используемых источников.

1. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Малахитовый_зелёный. – Малахитовый зеленый. – (Дата обращения: 28.09.2018).

2. Preparation, characterization and evaluation of bio-based magnetic activated carbon for effective adsorption of malachite green from aqueous solution / E. Altintig [и др.] // Materials Chemistry and Physics. – 2018. – V. 220. – P. 313-321.

3. Stylab since 1997 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.stylab.ru/directory/antimicrobials/malachite-green/. – Малахитовый зеленый. – (Дата обращения: 28.09.2018).

# ПРИМЕНЕНИЕ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**Кисель Ю. Е., Лысенко А. Н.**
***Брянский государственный аграрный университет, Брянск***

Проблема восстановления и повышения долговечности деталей машин особую актуальность приобрела в начале 70-х годов 20 века. Тогда Правительство СССР поставило актуальную задачу перевода системы ремонта деталей машин с восстановлением 80% доремонтного ресурса. Обобщение теоретических и практических исследований и данных позволило сделать заключение, что ремонт с повторным использованием элементов и деталей с заменой их на новые, не может восстановить более 60% доременттного ресурса.

В настоящее время в Российской Федерации доля зарубежной техники является очень высокой. При этом особую актуальность приобретает проблема разработки и внедрения импортозамещающих технологий ремонта деталей и устранения дефектов, обеспечивающих 100% послеремонтного ресурса. Решение данной проблемы позволит снизить затраты на поддержание работоспособности импортной техники, уменьшить себестоимость выполняемых работ.

Это может быть достигнуто путем применения композиционных электрохимических покрытий, что происходит следующим образом. На новую деталь наносится композиционное электрохимическое покрытие, затем она устанавливается на машину. В процессе работы машины контролируется величина износа покрытия, при достижении её минимального значения процедура применения композиционных электрохимических покрытий повторяется до достижения деталью предела усталостной прочности.

Композиционные электрохимические покрытия – это металлические покрытия, полученные известными гальваническими методами, где вместо обычных гомофазных электролитов применяются электролиты-суспензии (или эмульсии), в которых дисперсной фазой являются твердые (иногда жидкие) частицы с размерами микрометрового порядка (часто 0,1-3 мкм). [1, с. 65]

Чистое железо в России получили Б.С. Якоби и Е.И. Клейн. Эти ученее изучали свойства железа, которое получили из раствора сернокислого электролита. Следует отметить, что Б.С. Якоби и Е.И. Клейн использовали раствор сернокислого электролита при нанесении электролитического железного покрытия на печатные доски, чем повысили их износостойкость и сок службы.

Проведенные исследования положили основу получению нового метода восстановления деталей машин при помощи осаждения железа без нагрева и при малых плотностях тока. Основным требованием к восстановленным деталям является повышение показателей устойчивости и износостойкости в агрессивных средах. Эту проблему можно решить с помощью применения различных легирующих добавок в раствор электролита. Данный метод позволяет также получить материалы с новыми физическими, механическими и химическими свойствами [2, с. 316].

Следует отметить, что образовать электролитические сплавы могут из водных растворов не все элементы. Наиболее распространены из них Cu, Zn, Ti, W, C, Ge, V, Ta, P, Mo, Cr, Sn, Re, Mn, S, Co, Ni, Pb, Ag, Au, Cd, Pd. Однако, в ремонтном производстве лишь некоторые из них получили широкое распространение, что связано их стоимостью, сложностью процесса получения сплавов и т.д.

Многие детали машин производятся из высоколегированных сталей и сплавов, при этом на опыте они часто лимитируют безремонтный срок службы машины. Это происходит по причине того, что легирующие компоненты сталей и литейных сплавов, получаемых металлургическим способом, распространяются неравномерно. Происходит износ при условиях трения без смазки и граничного трения, который характерен для большинства современных машин [3, с. 36].

Следует отметить, что распространение и распределение легирующих элементов в электролитическом сплаве будет равномернее металлургического по причине того, что на катоде мельчайшие частицы, входящие в сплав, осаждаются перпендикулярно основе. Это подтверждает эффективность метода повышения прочности, износостойкости получаемого покрытия по сравнению металлургическим сплавом.

Исследования подтверждают, что одним из лучших элементов для получения упрочняющих сплавов, является кобальт.

Преимуществом кобальта является то, что он не только повышает износостойкость деталей машин, но и не проявляет склонности к схватыванию, а также легко образует разрушающие окисные пленки. Следует отметить, что кобальт в чистом виде имеет износостойкость в 100 раз превышающую данный показатель хрома, при этом у кобальта самый низкий коэффициент трения, равный 0,06.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование кобальта в сплаве с железом значительно упрочняет основу сплава и способствует повышению его физических и механических свойств, таких как износостойкость, твердость, прочность, устойчивость к коррозионному разрушению и т.д.

Список используемых источников.

1. Композиционные электрохимические покрытия и материалы. / Л. И. Антропов, Ю. Н. Лебединский. – Киев: Техника. 1986. – 200 с.

2. Повышение износостойкости деталей машин электрохимическими сплавами на основе железа. / Ю. Е. Кисель, Г. В. Гурьянов, А. Н. Лысенко // Научно-технический прогресс в АПК: проблемы и перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф. в рамках XVIII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2016». – 2016. – С. 313-319.

3. Повышение износостойкости электрохимических покрытий / Ю. Е. Кисель, А. Н. Лысенко, С. П. Симохин // Сельский механизатор. – 2016. – № 10. – С. 36-37.

# ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА С ЗАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ДИСКОВ

**Кузнецова Н. В.[1], Селезнев А. Д.[1], Езерский В. А.[2]**
*[1]Тамбовский государственный технический университет, Тамбов*
*nata-kus@mail.ru*
*[2]Белостокский технический университет, Белосток, Польша*
*wiz75micz@rambler.ru*

Рациональное и экономически целесообразное использование природных ресурсов неизменно является актуальной проблемой в различных сферах производственной деятельности человечества. В значительной степени вопрос ресурсосбережения касается такой ресурсоемкой отрасли, как производство строительных материалов, приоритетным направлением развития которой является уменьшение потребления первичного сырья и увеличение объемов использования вторичного. Добиться этого можно при внедрении малоотходных и безотходных технологий, снижением ресурсоемкости продукции, повышением качества переработки отходов промышленности.

Необходимо принять во внимание тот факт, что производство строительных материалов открывает широкие возможности для утилизации техногенных отходов. Существует значительное количество исследовательских работ на тему утилизации отходов промышленности в производстве мелкозернистого бетона. Необходимо принять во внимание, что практическое использование тех или иных заполнителей и добавок в бетонах ограничивается показателями опасности отходов, их стоимостью, доступностью, введением в технологический процесс дополнительных подготовительных этапов, например, измельчения, смешения, условий твердения и т.п.

Техногенные отходы в виде утилизируемых оптических дисков согласно классификатору отходов относятся к V классу опасности, то есть, отвечают требованиям, предъявляемым к материалам, окружающим человека, что позволяет их использовать в качестве инертного заполнителя в мелкозернистом бетоне. Темпы производства оптических дисков ежегодно снижаются, однако на данный момент времени существует значительное их количество, подлежащее утилизации [1]. Вовлечение данного вида отходов в технологический процесс производства мелкозернистого бетона не требует дополнительных трудоемких операций, за исключением измельчения. Данная проблема решается путем использования ножевых или шредерных дробилок и измельчителей пластмассы и древесины [2].

В данной работе выполнено планирование экспериментальных исследований физико-механических характеристик мелкозернистого бетона с заполнителем из измельченных оптических дисков.

Планируется провести экспериментальные исследования 28-дневной прочности на центральное сжатие и изгиб, а также плотности и водопоглощения цементных образцов с заполнителем из измельченных оптических дисков. В качестве целевых функций выбраны: прочность на сжатие y1, прочность на изгиб y2, плотность y3 и водопоглощение y4. Для них предполагается построить математические зависимости от следующего ряда факторов:

– доля измельченных оптических дисков от массы заполнителя x1;

– пластификатор ПФМ x2, %, от массы цемента;

– водоцементное отношение x3.

Интервалы варьирования факторов x1 и x2 приняты согласно накопленному опыту практической реализации подобных экспериментов. Водоцементное отношение (x3) уточняется с учетом дисперсности компонентов смеси и обеспечения нормальной формуемости образцов (табл. 1).

План эксперимента (таблица 1) предусматривает определенный порядок проведения измерений и построения математической модели в виде неполного полинома третей степени для переменных x1, x2, x3:

$$Y_i = a + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2.$$

Таблица 1.

План эксперимента и принимаемые значения факторов.

| № опыта | x1 | x2 | x3 | x1 | x2 | x3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0,45 |
| 2 | +1 | -1 | -1 | 0,5 | 0 | 0,45 |
| 3 | -1 | +1 | -1 | 0 | 1,5 | 0,45 |
| 4 | +1 | +1 | -1 | 0,5 | 1,5 | 0,45 |
| 5 | -1 | -1 | +1 | 0 | 0 | 0,65 |
| 6 | +1 | -1 | +1 | 0,5 | 0 | 0,65 |
| 7 | -1 | +1 | +1 | 0 | 1,5 | 0,65 |
| 8 | +1 | +1 | +1 | 0,5 | 1,5 | 0,65 |
| 9 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0,75 | 0,55 |
| 10 | +1 | 0 | 0 | 0,5 | 0,75 | 0,55 |
| 11 | 0 | -1 | 0 | 0,25 | 0 | 0,55 |
| 12 | 0 | +1 | 0 | 0,25 | 1,5 | 0,55 |
| 13 | 0 | 0 | -1 | 0,25 | 0,75 | 0,45 |
| 14 | 0 | 0 | +1 | 0,25 | 0,75 | 0,65 |

На основе данных, полученных в результате испытаний образцов, будут разработаны математические модели зависимости физико-механических свойств образцов мелкозернистого бетона от указанных выше факторов. Одним из важных результатов реализации эксперимента является возможность подбора наиболее оптимальных значений технологических факторов x1, x2, x3.

Для подобранных технологических параметров планируется исследование зависимостей «состав-свойство»: механических характеристик (y1, y2, y3, y4) от состава и соотношения компонентов. Эксперимент будет выполнен

в соответствии с симплексным планом [3] для трех переменных, характеризующих удельный вес в смеси следующих компонентов: отходы средней крупности (фактор z1), мелкодисперсные отходы (фактор z2) и песок (фактор z3), при этом z1 + z2 + z3 = 1.

Уровни изменения данных факторов представлены в таблице 2.

В качестве стабилизированных факторов в данном эксперименте принимаются следующие: расход цемента, расход воды, количество вводимых добавок, гранулометрический состав измельченных оптических дисков. Данные об оптимальном водоцементном отношении и количестве вводимых добавок принимаются исходя из результатов предыдущего эксперимента.

Таблица 2.

План эксперимента «состав-свойство».

| № точки | z1 | z2 | z3 |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 1 |
| 4 | 0,5 | 0,5 | 0 |
| 5 | 0,5 | 0 | 0,5 |
| 6 | 0 | 0,5 | 0,5 |
| 7 | 0,333 | 0,333 | 0,333 |

Таким образом, на основе полученных графических представлений зависимостей физико-механических характеристик мелкозернистого бетона с заполнителем в виде измельченных оптических дисков от различных факторов можно будет произвести оптимизацию состава смеси, например, по следующим параметрам:

– максимальная доля утилизируемых дисков;

– максимальная прочность;

– минимальная стоимость изделия.

Накопленные экспериментальные данные дадут возможность определения области практического использования данного материала и выполнять его проектирование с заранее заданными свойствами.

Список используемых источников.

1. Kuznetsova, N. V. Utilization of optical discs in fine-grained concrete / N. V. Kuznetsova, A. D. Seleznev // The world of science without borders. – 2018. – pp. 235-237.

2. Seleznev, A. D. Granulometric composition of fine-grained concrete with the addition of crushed optical disks / A. D. Seleznev, N. V. Kuznetsova // Colloquium-journal. – 2018. – Т. 1. № 8 (19). – pp. 47-50.

3. Планирование эксперимента / Г. И. Красовский, Г. Ф. Филаретов. – Мн.: Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.

# КОМПЬТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЯНУС-ПОДОБНЫХ НАНОНАСТИЦ Cu-Au В МЕТОДЕ ГАЗОФАЗНОГО СИНТЕЗА

**Байдышев В. С.**
***Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова, Абакан***
**bayd_vs@mail.ru**

Биметаллические наночастицы, в настоящее время, являются предметом многочисленных исследований благодаря широким перспективам использования в современных нанотехнологиях. По сравнению с монометаллическими наночастицами они обладают дополнительными параметрами, такими как, мольный состав, морфология, что позволяет более тонко регулировать, например, магнитные, оптические или каталитические свойства [1]. Среди множества металлических наночастиц используемых в гетерогенных каталитических реакциях довольно успешно используются катализаторы на основе меди и золота. Очевидно, что производство медных нанокатализаторов является более выгодным, по сравнению с материалами из золота, однако, они имеют существенный недостаток, связанный с процессами окисления, что приводит к уменьшению каталитической активности материала. Один из путей решений этой проблемы, использование в качестве легирующей добавки стабилизирующего металла, такого как золото, который устойчив к коррозии и окислению [2]. Технологически, такие гетероструктурированные наночастицы обычно получают реакциями, в которых стабильные кристаллических или аморфные ядра одного компонента используются в качестве зародышей в процессе осаждения второго компонента, например, в среде коллоидного раствора, либо с использованием процессов химического осаждения из паровой фазы (CVD). Однако в этих подходах контролируемый рост является сложной задачей, а остаточное загрязнение как на границе раздела между компонентами, так и на поверхности наночастицы способствует потери функциональных свойств катализатора. Хорошей альтернативой данным методам являются методы использующие физического осаждение из газовой фазы. Более того, наноструктуры синтезированные физическими методами являются предпочтительными для наноэлектронных устройств, для которых требуется контролируемый и свободный от загрязнения синтез. В настоящее время успехи в газофазной конденсации связанны с методом магнетронного распыления. Контроль параметров осаждения, таких как мощность магнетрона, длина зоны агрегации и давление инертного газа, в сочетании с использованием массовых фильтров, позволило с большой точностью получать наночастицы, заданного размера и состава [3]. С другой стороны изучение процессов происходящих при конденсации из газовой фазы поддаются непосредственному компьютерному моделированию. Таким образом, целью работы является изучение методом компьютерного моделирования процесса формирования нанодисперсных порошков сплава CuAu, образующихся при конденсации из высокотемпературной газовой фазы в атмо-

сфере инертного газа, а также, определение условий способствующих формированию наночастиц имеющих янус-подобное строение.

В качестве метода моделирования был выбран метод молекулярной динамики. Данный подход довольно успешно использовался в работах по компьютерному моделированию процессов конденсации из газовой фазы как чистых металлов, так и сплавов [4]. Взаимодействие между атомами металлов описывалось полуэмперическими потенциалами на основе метода погруженного атома (EAM – потенциалы) [5]. Рассматриваемая модель имела форму куба, к которой были применены периодические граничные условия и содержала 80000 атомов сплава. В начальный момент времени атомы случайным образом распределялись по всему модельному объему.

Одним из центральных моментов моделирования процессов конденсации является механизм отвода скрытой теплоты выделяющейся в процессе образования кластеров из атомов пара. Наиболее физически адекватен подход, согласно которому скрытая теплота «отнимается» непосредственно с поверхности кластера посредством столкновения с атомами инертного (буферного) газа, температура которого поддерживается постоянной. В связи с этим в систему был добавлен аргон при температуре T=300 K. Количество атомов буферного газа соответствовало общему количеству атомов сплава. Так, как буферный газ инертен и не вступает в химическую связь, то его взаимодействие с атомами металлов вполне корректно описывалось парным потенциалом типа Леннарда-Джонса (с параметрами $\varepsilon$ = 0,0123 эВ, $\sigma$ = 3,76 А). Для проведения моделирования был использован пакет для молекулярно-динамического моделирования LAMMPS.

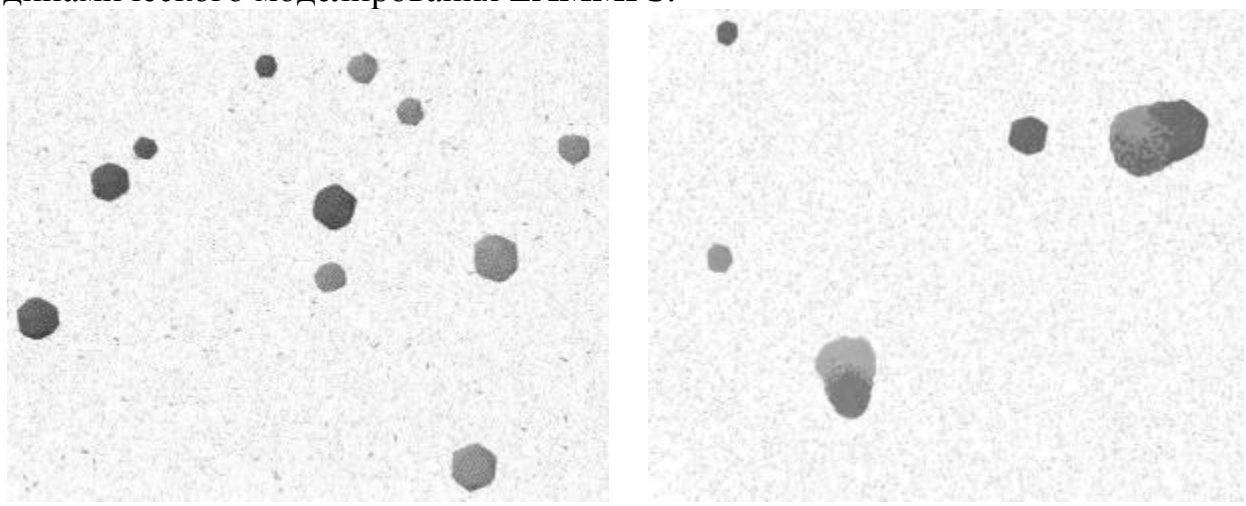


Рис. 1. Модель формирования янус-частиц Cu-Au.
Начальное состояние системы (левый рисунок), состояние системы через t=10 нс моделирования (правый рисунок).
Темный цвет соответствует атомам Cu, светлый – атомам Au.

В начальный момент отношение количества атомов Cu и Au составляло 3:1. Результаты моделирования показали, что в процессе конденсации формируются только наночастицы неупорядоченного сплава. При увеличении числа атомов в наночастице процентное отношении атомов Cu к атомам Au

стремится к начальному значению (3:1), однако, для малых кластеров содержащих N < 500 атомов данное условие не выполняется.

Формирования янус-подобных частиц возможно, только в случае, столкновения предварительно сформированных наночастиц Cu и Au. На рис. 1 показано начальное состояние такой системы (слева) и конечное состояния с янус-частицами (справа). По результатам моделирование, можно сделать вывод, что наиболее оптимальным температурным интервалом для формирования подобных янус-частиц, является интервал T=(450 – 350) K.

Список используемых источников

1. Najafishirtari, S. et al. Dumbbell-like Au0.5Cu0.5@Fe3O4 Nanocrystals: Synthesis, Characterization, and Catalytic Activity in CO Oxidation // ACS Applied Materials & Interfaces. – 2016. – Т. 8. – №. 42. – С. 28624-28632.

2. Mierczynski, P. et al. The effect of gold on modern bimetallic Au–Cu/MWCNT catalysts for the oxy-steam reforming of methanol // Catalysis Science & Technology. – 2016. – Т. 6. – №. 12. – С. 4168-4183.

3. Controlled Deposition of Size-Selected Silver Nanoclusters / K. Bromann, C. Felix, H. Brune, W. Harbich, R. Monot, J. Buttet, K. Kern // Science. – 1996. – 274. – Pp. 956−958.

4. Taherkhani, F. Chemical ordering effect on melting temperature, surface energy of copper-gold bimetallic nanocluster / F. Taherkhani, H. Akbarzadeh, H. Rezania // Journal of Alloys and Compounds. – 2014. – V. 617. – P. 746-750.

5. Foiles, S. M. Embedded-atom-method function for the fcc metals Cu, Ag, Au, Ni, Pd, Pt and their alloys // Physical Review B. – 1986. – V. 33. – № 12. – P. 7983-7991.

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Балашов А. А., Чупрынина С. А.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
**balashovalexei@yandex.ru**

С целью исследования изменений значений температуры середины рабочего участка термограммы при совместном изменении тепловой активности материала и плотности теплового потока, был проведен регрессионный анализ с помощью нейронных сетей.

Исходные данные для регрессионного анализа, рассчитанные с помощью пакета численного моделирования ELCUT для физической модели, представлены в табл. 1. Здесь – температура середины рабочего участка; q – удельная поверхностная мощность нагревателя; ε – тепловая активность исследуемого изделия [1, 2].

Таблица 1.

Исходные данные для регрессионного анализа.

| $\overline{T}_p$, °C | $q$, Вт · м$^{-2}$ | ε, Вт · с$^{0,5}$ · м$^{-2}$ · К$^{-1}$ |
|---|---|---|
| 4,4 | 1000 | 1550 |
| 10,2 | 3000 | 1450 |
| 14,7 | 5000 | 1350 |
| 20 | 7000 | 1250 |
| 25 | 9000 | 1150 |
| 30 | 11000 | 1050 |
| 35 | 13000 | 950 |
| 40 | 15000 | 850 |
| 45 | 17000 | 750 |
| 50 | 19000 | 650 |
| 55 | 21000 | 550 |
| 60 | 23000 | 450 |
| 65 | 25000 | 350 |
| 70 | 27000 | 250 |
| 75 | 29000 | 150 |

Построим трехмерную диаграмму рассеяния, для того чтобы посмотреть, как эти данные распределены в пространстве (рис. 1).

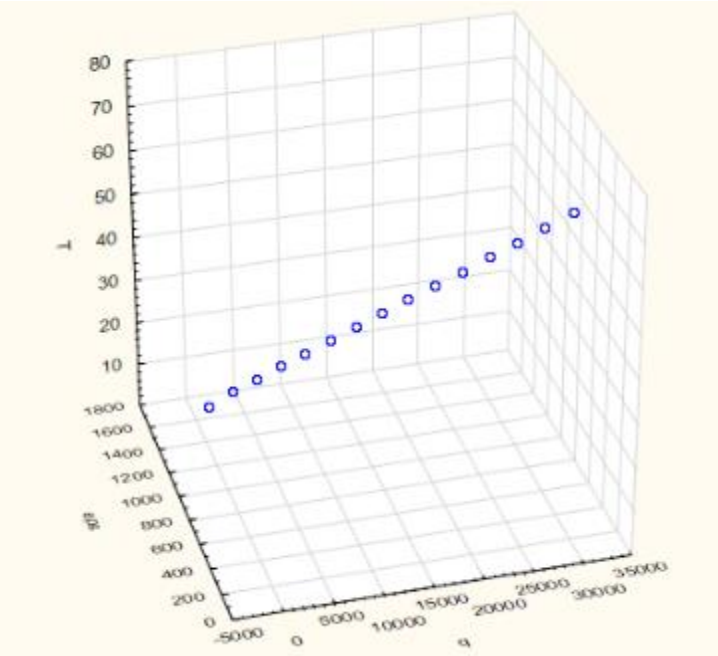



Рис. 1. Зависимость $\overline{T}_{\text{р}} = \mathbf{f}(q, \boldsymbol{\varepsilon})$

Из рис. 1 видим, что данные имеют линейную зависимость. Построим для них нейросетевые модели в пакете прикладных программ STATISTICA. Непрерывной целевой функцией является температура середины рабочего участка, а входными значениями – тепловая активность исследуемого изделия и удельная поверхностная мощность нагревателя.

Изобразим архитектуру этой нейронной сети (рис. 2).

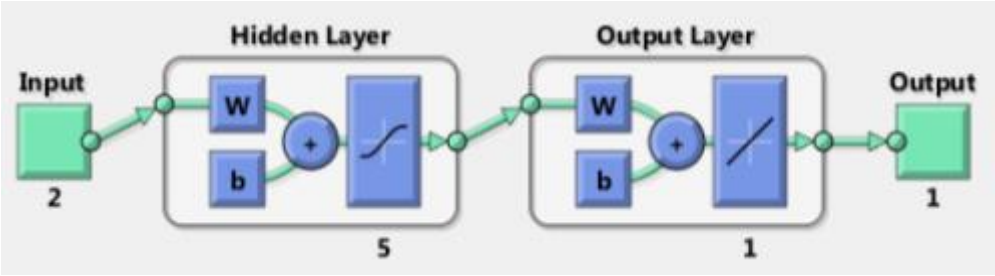



Рис. 2. Архитектура нейронной сети №10.

Даная нейронная сеть – многослойная персептроная сеть с двумя входами, имеет пять нейронов в каждом слое, и одним выходом.

Для обучения нейронной сети был использован алгоритм BFGS, и лучшее решение было найдено под номером тренировочного цикла 190 (BFGS 190). Нейронные сети являются нелинейными инструментами, которые обычно обучаются с использованием итерационных методов. Наиболее рекомендуемый метод обучения нейронных сетей является BFGS. Этот метод выполняются значительно лучше, чем традиционные алгоритмы, такие как градиентный спуск.

Выбираем наиболее производительную модель по производительности – нейронная сеть №10, и посмотрим качество этой модели на тестовой выборке (табл. 2).

Таблица 2.

Предсказанные значения для нейронной сети № 10.

| Номер наблю-дений | Целевая | Выход № 10 | Абс. Остатки № 10 | Погрешность |
|---|---|---|---|---|
| 6 | 30,00000 | 29,99026 | 0,009740 | 0,000324669147 |
| 14 | 70,00000 | 69,98413 | 0,015871 | 0,000226724162 |

Далее рассчитаем среднее значение погрешности наблюдений – 0,027 %.

Результирующие данные для регрессионного анализа, которые были получены из нейронной сети №10, представлены в табл. 3.

Таблица 3.

Результирующие данные, построенные с помощью нейронной сетью.

| $\overline{T}_p$ ,°С | $q$, Вт·м$^{-2}$ | ε, Вт·с$^{0,5}$·м$^{-2}$·К$^{-1}$ |
|---|---|---|
| 4,69715 | 1000 | 1550 |
| 9,77290 | 3000 | 1450 |
| 14,84022 | 5000 | 1350 |
| 19,89897 | 7000 | 1250 |
| 24,94903 | 9000 | 1150 |
| 29,99026 | 11000 | 1050 |
| 35,02252 | 13000 | 950 |
| 40,04565 | 15000 | 850 |
| 45,05952 | 17000 | 750 |
| 50,06396 | 19000 | 650 |
| 55,05880 | 21000 | 550 |
| 60,04390 | 23000 | 450 |
| 65,01906 | 25000 | 350 |
| 69,98413 | 27000 | 250 |
| 74,93891 | 29000 | 150 |

Таким образом, с помощью нейронной сети для регрессионного анализа, возможно предсказание значений температуры середины рабочего участка в заданных граничных условиях.

Список используемых источников.

1. Майникова, Н. Ф. Неразрушающий способ исследований релаксационных переходов в полимерных материалах / Н. Ф. Майникова, А. А. Балашов, С. В. Васильев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2014. – Т.20. № 1. – С. 34–41.

2. Метод неразрушающего контроля температурных характеристик структурных переходов в полимерах / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов, А. А. Балашов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2010. № 1-3 (28). – С. 253–259.

# О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ РОСТА ВАКАНСИОННОЙ ПОРЫ ПРИ РАДИАЦИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ МАТЕРИАЛА

**Липунов В. Н.[1], Липунова Д. А.[1], Маркидонов А. В.[1, 2]**
*[1]Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк*
*[2]Филиал Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева в г. Новокузнецке*
*markidonov_artem@mail.ru*

Известно, что при облучении металлов высокоэнергетическими частицами, образуется высокая концентрация точечных дефектов. Часть этих дефектов практически сразу аннигилирует, другая – стекает на естественные стоки, а третья часть дефектов образует различные комплексы. Дальнейший приток точечных дефектов к таким скоплениям приводит к изменению их размеров или структурной перестройке.

Считается, что дислокации и дислокационные петли сильнее взаимодействуют с межузельными атомами из-за их большей подвижности в кристаллической решетке. Несмотря на то, что это различие составляет всего 1–2% [1], в облученном материале возникает поток смещенных атомов к дислокациям. Из-за возникшего избытка, вакансии образуют различные скопления, в частности поры. Гомогенный рост поры начинается с образования малых вакансионных комплексов, например, тетравакансий. Дальнейшее разрастание поры может приводить к распуханию материала, что в некоторых случаях является крайне не желательным.

Для роста поры необходимо наличие достаточно высокого вакансионного пересыщения, подвижности вакансий и стабильности вакансионного скопления. Очевидно, что для выполнения последних двух условий, температура, при которой происходит рост поры, должна быть достаточной для дрейфа вакансий, но не должна вызывать разрушение вакансионного скопления.

Образование каскада атомных смещений при радиационном облучении материала может вызывать также образование ударных волн, получивших название послекаскадных [2]. Их возникновение обусловлено различием между временем термализации атомных колебаний в некоторой конечной области и временем отвода из нее тепла. В результате резкого расширения сильно разогретой области формируется почти сферическая ударная волна.

Цель настоящей работы заключается в исследовании влияния ударных послекаскадных волн на процессы зарождения и роста радиационной поры.

В связи с тем, что исследуемые процессы отличает высокая скорость протекания и малые размеры, наиболее рациональным видится использование методов компьютерного моделирования. Эксперимент проводился на расчетном блоке, имитирующем трехмерный кристалл чистого алюминия, состоящем из 30000 атомов. Взаимодействие между атомами описывалось с помощью парного потенциала Морзе. Температура расчетной ячейки задава-

лась через начальные скорости атомов в соответствии с распределением Максвелла. Направление скоростей задавалось случайно, но с условием, что суммарный импульс атомов равнялся нулю. Компьютерный эксперимент выполнялся по методу молекулярной динамики с использованием программы [3]. За пределами расчетный блок повторялся введением периодических граничных условий. Время одной итерации равнялось 10-14 с.

При конструировании расчетного блока, в зависимости от условия задачи, создавалась определенная конфигурация вакансий. При старте эксперимента группе атомов присваивалась одинаковая по величине начальная скорость вдоль плотноупакованного направления типа <110>. Таким образом в кристалле создавалась волна. Необходимо оговорить, что благодаря фокусировке атомных столкновений послекаскадные ударные волны трансформируются во фрагменты плоских волн [4], поэтому подобное приближение оправдано. В дальнейшем включалась процедура релаксации структуры, посредством разогрева возле 0 К. Через определенные интервалы времени фиксировалось изменение структуры кристалла, происходящее в процессе релаксации без диссипации энергии за пределы расчетного блока.

Для начала рассмотрим различные малые вакансионные комплексы. Необходимо оговорить, что однотипным дефектам в облученной кристаллической структуре, гораздо выгоднее образовывать комплексы, так как в данном случае вероятность их рекомбинации с дефектами противоположного знака значительно ниже, чем в случае хаотического распределения [5]. Кроме этого, объединение дефектов в различные конфигурации приводит к энергетическому выигрышу, обусловленному уменьшением суммарной поверхности, что обеспечивает устойчивость спаренной конфигурации дефектов. В работе [6] показано, что наиболее выгодной конфигурацией вакансионных комплексов в ГЦК-металлах являются тетраэдры дефектов упаковки. Грани таких тетраэдров ориентированы вдоль плоскостей типа {111} и являются дефектами упаковки, а ребра ориентированы вдоль направлений <110> и представляют собой вершинные дислокации. В этой же работе показано, что малые вакансионные комплексы, можно представить либо в виде элементарных тетраэдров дефектов упаковки, либо в виде нескольких тетраэдров.

Исследование, проведенное в настоящей работе, показало, что прохождении ударных волн через различные вакансионные скопления вызывает их трансформации, в результате которых образуются комплексы, представляющие собой несколько тетраэдров дефекта упаковки. Так, например, рассмотрим линейное скопление четырех вакансий, представляющее собой цепочку вдоль плотноупакованного кристаллографического направления типа <110>. При нагреве кристалла до 200 К данное скопление трансформируется в сдвоенный тетраэдр. Такая конфигурация дефектов является энергетически выгодной. Разность значений потенциальных энергий расчетного блока содержащего один из подобных комплексов показывает, что выигрыш энергии составляет около 0.003 %. Ударная волна, проходящая через линейное скопление вакансий, также вызывает его трансформацию в сдвоенный тетраэдр. Необходимо оговорить, что в модели кристалла, используемой для экспери-

ментов, полная энергия остается постоянной. Поэтому, при создании в расчетном блоке волны, температура кристалла повышается, и в дальнейшем остается постоянной. Тем не мене данной температуры было не достаточно для активации перестройки вакансионного скопления. Таким образом, ударная волна может вызывать трансформацию вакансионных комплексов даже при температурах недостаточных для начала диффузионных процессов. Перестройка вызывается тем, что во фронте ударной волны образуется область повышенного давления, куда и устремляются вакансии при приближении фронта к скоплению. Поэтому трансформации будут вызывать не любые волны, а только ударные. Так, например, волна, распространяющаяся в кристалле со скоростью 3000 м/с не вызывает никаких перестроек комплекса.

Последующие волны уже не вызывают трансформации комплексов, состоящих из нескольких тетраэдров. Таким образом, именно тетраэдр дефекта упаковки можно считать центром последующего вакансионного объединения перерастающего в пору.

Интересен также тот факт, что упругие волны практически не рассеиваются на тетраэдрах, в особенности кооперативные атомные смещения достаточно легко пересекают их вершины. Волны, проходя через тетраэдр дефекта упаковки, продолжают свое распространение в кристалле и притягивают к нему все новые вакансии. Возможно, именно такой механизм гомогенного образования вакансионных пор реализуется в условиях интенсивного радиационного облучения материалов.

Список используемых источников.

1. Калин, Б. А. Физическое материаловедение. Том 4. – М.: МИФИ, 2008. - 696 с.

2. Овчинников, В. В. Радиационно-динамические эффекты. Возможности формирования уникальных структурных состояний и свойств конденсированных сред // Успехи физических наук. – 2008. – Т. 178. – № 9. – С. 991–1001.

3. XMD – Molecular Dynamics for Metals and Ceramics // [Electronic resource]. Mode of Access: http://xmd.sourceforge.net/about.html.

4. Фокусировка атомных столкновений в кристаллах / Р. И. Гарбер, А. И. Федоренко // Успехи физических наук. – 1964. – Т. 83. – Вып. 3. – С. 385–432.

5. Радиационно-стимулированная агрегатизация дефектов Френкеля в твердых телах / В. Л. Винецкий, Ю. Х. Калнинь, Е. А. Котомин, А. А. Овчинников // Успехи физических наук. – 1990. – Т. 160. – Вып. 10. – С. 1-33.

6. Полетаев Г.М. Атомные механизмы структурно-энергетических превращений в объеме кристаллов и вблизи границ зерен наклона в ГЦК металлах / Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. д.ф.-м. н. Барнаул, 2008. 40 с.

# КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ОБРАЗЦАХ ИЗ РАЗНОИМЕННЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ NI ПРИ ИХ СВАРКЕ ДАВЛЕНИЕМ СО СДВИГОМ*

**Ахунова А. Х.[1, 2], Галиева Э. В.[1]**
*[1]Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа*
*[2]Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа*
**akhunova_a@mail.ru**

Совершенствование технологии изготовления роторных конструкций, предназначенных для газотурбинного двигателя (ГТД) нового 5-го поколения [1-4], является актуальной задачей. К данным конструкциям относятся позволяющие снизить вес двигателя биметаллические детали типа блиск, диск–диск, диск–вал из жаропрочных никелевых и титановых сплавов. В последнем случае особый интерес для двигателестроения представляет неразъёмный узел соединения диска с валом турбины. При создании таких узлов необходимо обеспечивать надежную связь свариваемых поверхностей, поскольку наличие дефектов в сварном шве таких конструкций может привести не только к разрушению детали, но и к разрушению всего двигателя. Для получения неразъемных соединений в подобных конструкциях перспективным является применение методов диффузионной сварки и сварка давлением (СД) [1-3]. Однако в ряде случаев СД может сопровождаться значительным порообразованием, что приводит к неоднородности сварного соединения, а, следовательно, к ухудшению качества сварки. В качестве метода, позволяющего избежать подобных недостатков, может быть использована комбинированная СД, в которой присутствует сдвиговая компонента деформации [4].

В данной работе рассматривается методы получения сварного соединения при СД, осуществляемой путем внедрения и/или вращения вала, находящегося в контакте с диском из гетерофазных жаропрочных никелевых сплавов ЭК79 и ЭП975, соответственно.

Конечно-элементное моделирование.

Компьютерное моделирование сварки давлением деталей типа вал и диск проводили с помощью пакета прикладных программ DEFORM-2D в осесимметричной постановке. Вал в общем виде (рис. 1, а) представлял собой цилиндр диаметром 12 мм и высотой 12 мм, сопряженный с усеченным конусом высотой 20 мм, в котором угол между нижним основанием и образующей составлял 0°, 0,5° и 5°. Отверстие в диске имело сужение с углом наклона на внутренней стенке, соответствующим конусности вала. Общая высота диска - 14 мм, а диаметр 28 мм.

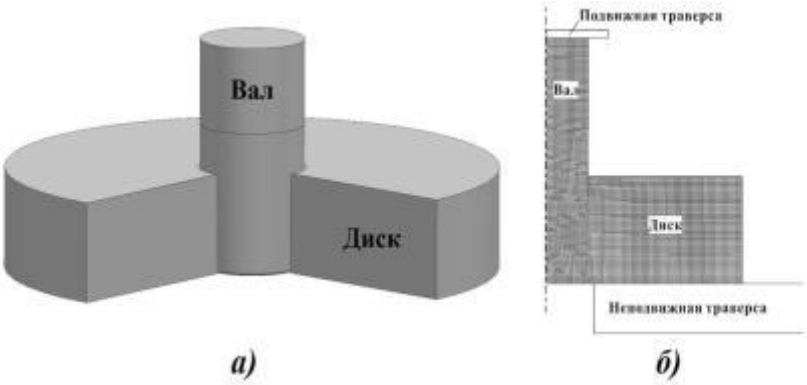



Рис. 1. Общий вид образцов, имитирующих детали газотурбинного двигателя диск и вал. Диск дан в разрезе.

Конечно-элементная модель приведена на рис. 1, б. Количество элементов диска – 2500, вала – 1700. При проведении компьютерного моделирования деформирующий инструмент (верхний боек, закрепленный на траверсе испытательной машины) имели свойства абсолютно жесткого тела, деформируемые тела (диск и вал) принимались упруго-пластичными. Диск устанавливался нижний боек, закрепленный на неподвижной траверсе, и в отверстие диска помещалась коническая часть вала. Величина коэффициента трения принималась равной 0.3. Сварка проводилась в изотермических условиях при температуре 1100°С [4].

Моделировалась деформация вала и диска в ходе СД, осуществляемой при внедрении и/или вращении вала, находящегося в контакте с диском. При этом были рассмотрены три схемы движения вала:

- схема 1 - внедрение вала в диск на 3 мм со скоростью деформации 10-3 с-1;
- схема 2 - вращение вала в диске со скоростью 3 об/мин;
- схема 3 – комбинация внедрения и вращения вала. Вал внедрялся в диск на 3 мм со скоростью деформации 10-3 с-1 и со скоростью вращения 3 об/мин.

При анализе результатов компьютерного моделирования рассматривалось распределение сдвиговых компонент деформации, поскольку нормальные компоненты деформации слабо влияют на качество сварного соединения. Моделирование показало, что при сварке по Схеме 1 или 2 превалирует одна компонента сдвиговой деформации - $\varepsilon_{rz}$ для внедрения вала и $\varepsilon_{r\Theta}$ для вращения вала. Таким образом, в этом случае можно говорить об однокомпонентном сдвиге. При сварке по Схеме 3 обе сдвиговые компоненты деформации $\varepsilon_{rz}$ и $\varepsilon_{r\Theta}$ становятся ненулевыми, поскольку в этом случае происходит двухкомпонентный сдвиг.

По эпюрам распределения $\varepsilon_{rz}$ в диске и валу при их сварке по Схеме 1, можно сказать, что сдвиговые деформации в зоне контакта с увеличением конусности вала распределяются более равномерно. При этом максимальные значения $\varepsilon_{rz}$ повышаются с ростом значения угла конусности на несколько порядков: в 10 раз для угла 0,5° и в 100 раз для угла 5°. При СД вала и диска по Схеме 2, максимальные значения сдвиговой деформации $\varepsilon_{r\Theta}$ заметно не меняются. При этом область максимальных деформаций сдвига уменьшается с увеличением конусности вала. Низкие значения $\varepsilon_{r\Theta}$ связаны с невысоким значением коэффициента трения, выбранного для данного расчета.

Картины распределения $\varepsilon_{rz}$, полученные при СД по Схеме 3, аналогичны картинам, полученным при СД по Схеме 1, т.е. с увеличением угла конусности максимальные значения $\varepsilon_{rz}$ в приконтактных зонах повышаются, и область их распределения становится более однородной. Картины распределения $\varepsilon_{r\Theta}$, полученные при Схеме 3, отличаются от картин, полученных при Схеме 2. С ростом значения угла конусности максимальные значения $\varepsilon_{r\Theta}$ также увеличиваются: в 10 раз для угла 0,5° и в 1000 раз для угла 5°. При этом область максимальных значений с ростом конусности вала распределяется более равномерно.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Для создания неразъёмного соединения диска и вала предпочтительно использовать сварку давлением, осуществляемую при комбинации внедрения и вращения вала. В этом случае обеспечивается двухкомпонентная сдвиговая деформация, что, как известно, улучшает качество сварного соединения.
2. Для повышения качества сварного соединения вала и диска при всех рассмотренных схемах СД достаточно небольшого угла конусности вала. При угле 0,5° формоизменение вала и диска не происходит, поскольку пластические деформации очень малы, увеличиваются максимальные сдвиговые деформации, и достигается более равномерное их распределение в зоне контактных поверхностей.

**Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-19-00685).*

Список используемых источников.

1. Mathematical modelling of the effect of the surface relief of specimens on the localisation of plastic deformation in the pressure welding zone / A. Kh. Akhunova, E. V. Valitova, S. V. Dmitriev, V. A. Valitov, R. Ya. Lutfullin // Welding International. – 2016. – T. 30. – № 6. – Pp. 488-491.

2. Effect of surface relief on solid phase joining of heat-resistant nickel superalloys / E. V. Galieva, R. Ya. Lutfullin, A. Kh. Akhunova, V. A. Valitov, S. V. Dmitriev // Science and Technology of Welding and Joining. – 2018. – Pp. 1-7.

3. Experimental and simulation modelling Nickel-based alloy pressure welding / E. V. Galieva, V. A. Valitov, R. Ya. Lutfullin, S. V. Dmitriev, A. Kh. Akhunova, M. Kh. Mukhametrakhimov // Materials Science Forum. – 2016. – T. 838-839. – Pp. 350-354.

4. Исследование напряженно-деформированного состояния и микроструктуры в зоне твердофазного соединения типа диск-вал из разноименных сплавов на основе никеля / В. А. Валитов, А. Х. Ахунова, Э. В. Галиева, С. В. Дмитриев, Р. Я. Лутфуллин, М. Ю. Жигалова // Письма о материалах. – 2017. – Т. 7. – № 2 (26). – С. 180-185.

# РАСЧЕТ КОНСТАНТ УПРУГОСТИ ФУЛЛЕРИТА РАЗНОГО СОСТАВА

**Клявлина А. И.[1], Рысаева Л. Х.[2]**
***[1]Башкирский государственный университет, Уфа,***
***[2]Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа***
***alsou1961@yandex.ru***

Объемные углеродные структуры структурным элементом которых являются молекулы фуллерена стали объектом исследования ученых с момента экспериментального обнаружения отдельных фуллеренов. Поскольку исследование отдельных фуллеренов ведется достаточно давно, в литературе представлены различные сведения об их свойствах и возможностях применения [1-4]. Конденсированные системы, состоящие из молекул фуллеренов, называются фуллеритами. Например, кластеры, состоящие из фуллеренов C60 представляют собой один из наиболее изученных видов фуллеритов. Молекулы фуллерена удерживаются в кластере силами ван-дер-Ваальса, что и определяет во многом их механические свойства. Уникальные упругие свойства фуллеритов, состоящих из фуллеренов C60, позволяют говорить о перспективах создания новых объемных углеродных материалов с особыми механическими свойствами. В данной работе были исследованы фуллериты различного состава и рассчитаны их константы податливости и жесткости.

Моделирование проводилось методом молекулярной динамики в свободно распространяемом пакете моделирования LAMMPS с встроенным межатомным потенциалом AIREBO, который хорошо воспроизводит свойства углеродных структур [4,5]. Все исследования проводились при нулевой температуре. Постоянство температур поддерживалось с помощью термостата Носе-Хувера.

В начальный момент структура релаксировала до достижения локального или глобального минимума потенциальной энергии. После чего, производились расчеты коэффициентов податливости sij и жесткости cij. Для расчета s11 и s12 к расчетной ячейке было приложено растягивающее напряжение вдоль оси x. Напряжение выбиралось таким образом, чтобы итоговая деформация не превышала 1%. Остальные компоненты напряжения изначально были нулевыми. После определялись ненулевые деформации (εxx, εyy) и по ним рассчитывались величины s11 и s12. Для определения s44 прикладывалось сдвиговое напряжение, а все остальные компоненты тензора напряжения были нулевыми. По найденному значению сдвиговой деформации рассчитывалась величина s44. Постоянные жесткости c11, c12 и c44 определялись из формул:

$$c_{44} = s_{44}^{-1},\ c_{11} - c_{12} = \left(s_{11} - s_{12}\right)^{-1},$$
$$c_{11} + 2c_{12} = \left(s_{11} + 2s_{12}\right)^{-1}$$

На рис.1. показаны примеры структуры исследованных фуллеритов C20, C60, C80, C180 и C240 с простой кубической (пк) укладкой. ПК укладка является устойчивой для фуллерита C60 и C70, полученных экспериментально. Ячейка моделирования включает 5 структурных единиц (на рис. 1 пока-

зан участок из двух структурных единиц) соответственно вдоль направлений x, y и z. Ввиду высокой симметрии молекул фуллерена можно считать, что данный материал является кристаллическим телом и обладает трансляционной симметрией. В расчетах использовались периодические граничные условия вдоль направлений x, y и z, поэтому кристаллы фуллерита можно считать бесконечной средой.

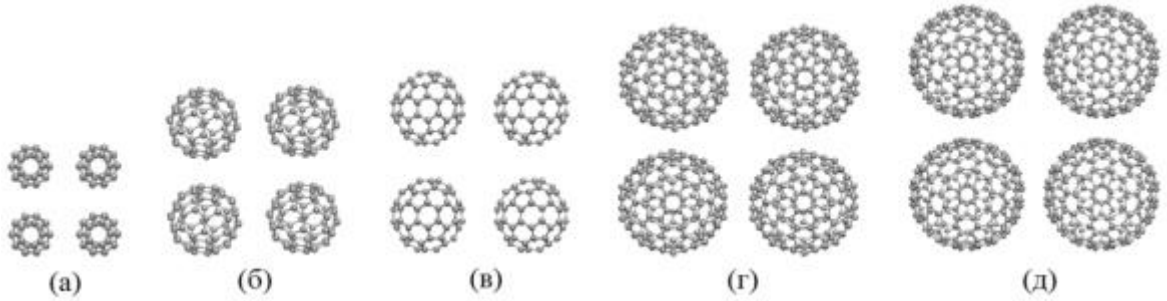



Рис. 1. Фуллериты с пк укладкой в проекции на плоскость xy (а) C20, (б) C60, (в) C80, (г) C180 и (д) C240.

Константы жесткости и податливости пяти фуллеритов с кубической анизотропией представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Константы жесткости и податливости фуллерита.

| | $s_{11}$, ГПа-1 | $s_{12}$, ГПа-1 | $s_{44}$, ГПа-1 | c11, ГПа | c12, ГПа | c44, ГПа |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C20 | 0.147 | -0.0676 | 0.0867 | 31.4 | 26.7 | 11.5 |
| C60 | 0.196 | -0.09 | 0.099 | 25.1 | 21.6 | 10.07 |
| C80 | 0.0859 | -0.035 | 0.332 | 26.06 | 17.77 | 3.007 |
| C180 | 0.015 | -0.0036 | 0.032 | 78.2 | 24.5 | 31.43 |
| C240 | 0.0112 | -0.00313 | 0.0274 | 114.1 | 44.3 | 36.43 |

Методом молекулярной динамики были получены значения констант жесткости и податливости фуллеритов различного состава. На основе полученных данных был также сделан вывод об устойчивости фуллеритов по отношению к внешним нагрузкам.

Список используемых источников.

1. Исследование углеродных наноструктур с использованием потенциала Терцоффа / М. Д. Старостенков, И. В. Лощина, Б. Ф. Демьянов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2005. – № 1. – С. 62-67.

2. Слоистые структуры на основе фуллеренов / Л. Х. Рысаева, Ю. А. Баимова // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2015. – № 4. – С. 439-443.

3. Механические свойства объемных углеродных наноматериалов / Ю. А. Баимова, Р. Т. Мурзаев, С. В. Дмитриев // Физика твердого тела. – 2015. – Т. 56. – № 10. – С. 1946-1952.

4. Крылова, К. А. Расчет структуры углеродных кластеров на основе фуллереноподобных молекул C24 и C48 // Физика твердого тела. – 2016. – Т. 58. – № 2. – С. 384-391.

5. Folding and crumpling of graphene under biaxial compression / Ju. A. Baimova, Bo Liu, K. Zhou // Letters on Materials. – 2014. – Т. 4. – № 2. – Pp. 96-99.

# МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

**Турсунов Ш. С.**
***Каршинский инженерного-экономический институт, Карши, Узбекистан***
**shavkat066@inbox.ru**

Материалы теплоэнергеческих установок работают в экстремальных условиях – под действием агрессивных корродирующих сред – газов, паров воды, высокой температуры и др. Поэтому к этим материалам предявляются особые требования, к числу которых относится, например, коррозионная стойкость в среди топочных газов, жаропрочность и др.

В последние годы в технике, особенно в теплоэнергетике, широко применяют повышенные температуры, высокие давления и напряжения. Так, в 20 х годах XX го века в котельных установках при температуре пара 350 °С и давлении 175 ат для получения [1].

1 кВт.ч электроэнергии приходилось сжигать 0,7 кг угля, в 40-х годах температура пара в котельных установках была повышена до 400 °С, а давление до 80...100 ат, и для получения того же количества энергии потребовалось сжигать 0,5 кг угля. Наконец, в современных котлах, производящих пар высоких параметров, температура пара достигает 560 °С, давление 240 ат, а расход условного топлива для производства 1 кВт-ч электроэнергии снизился до 0,38 кг (Таллимарджанская ГРЭС). [1]

Естественно, что при таких условиях материалы теплоэнергеческих установок по жаропрочности должны отвечать повышенным требованиям.

Большиство газов и газовых сред, применяемых в теплоэнергетике, взаимодействует с металлами и сплавами при высоких температурах, понижая их механические и технологические свойства [1].

Жаропрочные стали и сплавы предназначены для изготовления деталей котлов, газовых турбин и др., работающих при высоких температурах. Повышение температуры сильно понижает механические свойства сплавов. Следует иметь ввиду, что если при высокой температуре нагрузить металл постоянно-действующим напряжением, и оставить его под нагрузкой длительное время (большинство деталей теплоустановок работают в этих условиях), то металл в течение всего времени действия температуры и нагрузки будет деформироваться с определенной скоростью (ползучесть). Развитие ползучести может привести к разрушению металла.

Сопротивление в области высоких температур при длительном действии нагрузки называют жаропрочностью.

Жаропрочные сплавы для работы при высоких температурах (700...950 °С) создаются на основе железа, никеля и кобальта, а для работы при ещё более высоких температурах (до 1500°С) - на основе хрома, молибдена и других тугоплавки металлов.[2]

Рабочие температуры жаропрочных сталей составляют 500.....750 °С. Эти стали делят на три класса: перлитного, мартенситно – перлитного и ауетенитного [2].

Стали перлитного класса, при отпуске которых протекает процесс старения, используют для изготовления малонагруженных деталей и узлов энергетических установок, работающих при температурах не выше 500....580 °С. Эти стали чувствительны к температуре нормализации, которая не должна превышать 900….1000 °С, а температура отпуска должна быть в пределах 720…..730

°С. Эти стали содержат не менее 1 % хрома, молибдена и ванадия. Эти элементы повышают жаропрочность стали. Кроме того, образование на поверхности металлов и сплавов тугоплавких плотнопристающих к металлу окисных плёнок, которые препятствуют двухсторонной диффузии металлических и кислородных атомов, способствует повышению окалиностойкости сплава. Для изготовления деталей котельных установок, работающих при 510 °С и давлении 1000 ... 1100 МПа, применяют сталь 15ХМ или болес жаропрочную 12Х1МФ. Сталь 12ХМ1Ф удовлетворительно обрабатывается давлением и сваривается. По теплопроводности и тепловому расширению они близки к обычным конструкционным сталям. Малоуглеродистые стали (0,12….0,15 % С) используют в паросиловых установках для изготовления труб пароперегревателей, паропроводов и других деталей, температура эксплуатации которых не превышает 570….580 °С).

Детали и узлы газовых турбин и паросиловых установок изготавливают из мартенситных сложнолегированных сталей 18Х12ВМБФР и 15Х12ВНМФ, в состав которых входят Mo,W,V,Nв, В. Эти элементы повышают температуру рекристаллизации феррита, они образуют карбиды типа М23С8, М7С3,М2С, МС и соединение Fe2Mo, в результате повышается жаропрочность стали до 600…620 °С.[3]

Для изготовления деталей, работающих при 500…750 °С, используют стали аустенитного класса. Для получения структуры аустенита эти стали должны содержать большое количество хрома, никеля и марганца. Для достижения высокой жаропрочности их дополнительно легируют Mo, W, V, Nв и В. Аустенитные стали пластичны и хорошо свариваются, однако обработка их резанием затруднена.

К широко применяющимся жаропрочным сплавам можно отнести стали марок 09Х14Н16Б, 09Х14Н18В2БР (структурой твердых растворов), стали марок 45Х14Н14В2М, 40Х12Н8Г8МФБ и 40Х15Н7Г7Ф2МС. Длительная прочность этой стали составляет 400 МПа.

В качестве примера стали с интерметаллидным упрочнением можно привести сталь 10Х11Н2Г3Р, из которой изготавливают сварные конструкции, работающие при температурах 550…750 °С.

Кроме того, на практике в качество жаропрочных сплавов применяют сплавы на основе никеля (нимоники) для изготовления деталей с длительным сроком службы при 650…850 °С, сплавы на основе тугоплавких металлов (Nв, Mo, Ta, W) для изготовления деталей энергетических установок, работающих при температурах до 1500…2000°С (атомные реакторы).

Следует учесть, что кроме высокой длительной прочности и сопротивления ползучести жаропрочные материалы должны во многих случаях хорошо противостоять механической усталости, а в условиях службы при переменных температурах – и термической усталости. Температурный уровень жаропрочности в основном определяется прочностью межатомного сцепления и температурой плавления материала. Поэтому для успешной долговременной работы теплоустановок грамотный выбор материала для изготовления их деталей и узлов является немаловажным, а может быть решающим, фактором.

Список используемых источников.

1. Материаловедение. / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1980.

2. Материаловедение. Под общей редакцией Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986.

3. Конструкционные материалы. Под ред. А. Туманова. – М. 1983.

# ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОВОДЯЩИХ ГЕТЕРОСТРУКТУР

**Хачатурова Т. А.[1], Онищенко И. Д.[2]**
*[1]Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина, Донецк*
khachaturovat@mail.ru
*[2]Донецкий национальный технический университет*

Как показали детальные исследования, проведенные авторами работы [1], металлооксидные сверхпроводники в нормальном состоянии можно считать полуметаллами. Основная особенность, которая отличает полуметаллы от металлов – это сравнительно малая величина энергии Ферми, что делает возможным подачу на туннельный переход напряжений больших, чем энергия Ферми полуметаллического электрода. В настоящей работе мы проведем проверку правильности этих утверждений. В частности проведем расчеты указанных авторов в модели ВКБ– приближении.

Рассмотрим туннельный барьер перехода полуметалл-диэлектрик-металл с точки зрения стандартного однозонного приближения. В этом случае высотой потенциального барьера $\varphi$ считается расстояние между уровнем Ферми начального электрода и дном зоны проводимости диэлектрического слоя. Более сложное, двухзонное приближение диэлектрического слоя рассмотрено в работе [2]. Полагаем, что металлический электрод обладает большой (от четырех до десяти электрон-вольт) энергией Ферми $E_{F_R}$, в то время как энергия Ферми $E_{F_L}$ полуметаллического электрода не превышает одного электрон-вольта. Расчет плотности туннельного тока $J(V)$ при подаче напряжения смещения на полуметаллический электрод можно выполнить, используя формулу, полученную в работе [3]:

$$J(V) = K\left\{ eV \int_{0}^{E_{F_L}-eV} P(E_z,V)dE_z + \int_{E_{F_L}-eV}^{E_{F_L}} \Theta\left(E_{F_L} - E_z\right) P(E_z,V)dE_z \right\}, \quad (1)$$

где $K = 4\pi me/h^3$, m - масса электрона, которая для простоты полагаем равной массе свободного электрона в обоих электродах и в изоляторе, $\Theta(x)$ - ступенчатая функция Хевисайда. Появление ее во втором интеграле в формуле (1) отражает тот факт, что при напряжениях смещения, превышающих энергию Ферми левого полуметаллического электрода, все электроны соответствующей зоны проводимости уже участвуют в туннельном процессе, и дальнейший рост напряжения оставляет неизменным число частиц, способных принять участие в туннельном процессе. Отметим, что прозрачность туннельного барьера P(Ez,V) зависит лишь от двух переменных: приложенного напряжения V и компоненты кинетической энергии Ez, перпендикулярной плоскости туннельного барьера. Формула (1) получена в предположении, что температура равна нулю, что весьма удобно с расчетной точки зрения и

вполне оправдано при решении данной задачи, поскольку нас интересуют эффекты, возникающие при больших напряжениях V > kBT

При обратной полярности напряжения радиус поверхности Ферми исходного электрода больше соответствующей величины в конечном электроде, и, как было показано в работах [4, 5], требование условия зеркальности туннельного прохождения меняет формулу для туннельного тока на следующую:

$$J(V) = K\left\{ eV \int_{E_{F_R}-E_{F_L}-eV}^{E_{F_R}-eV} P(E_z,V)dE_z + \int_{E_{F_R}-eV}^{E_{F_R}} \left(E_{F_L} - E_z\right) P(E_z,V)dE_z \right\}. \quad (2)$$

Дифференцируя соотношения (1) и (2) по V получаем зависимости дифференциальной туннельной проводимости от напряжения смещения на гетеропереходе (рис.1).

В квазиклассическом приближении Вентцеля, Крамерса, Бриллюэна (ВКБ), которое применимо в случае плавного перехода от одного электрода к другому, прозрачность барьера [6]:

$$P_{WKB}(E,V) = \exp(-2\int_{z_a}^{z_b} |k_z(E,z,V)| dz), \quad (3)$$

где $z_a$ и $z_b$ –точки поворота, z – координата, перпендикулярная плоскости барьера.

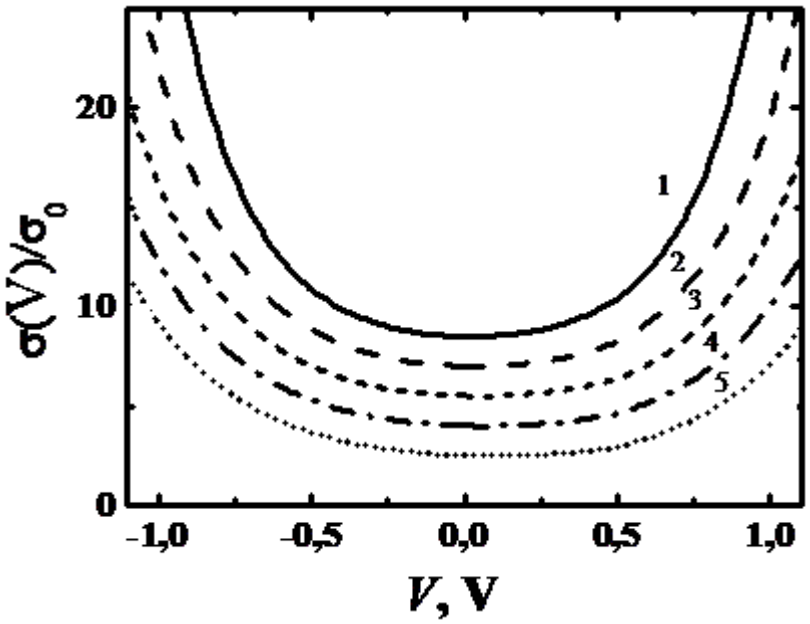



Рис. 1. Дифференциальная проводимость туннельного контакта полуметалл – диэлектрик – металл, рассчитанная в ВКБ–приближении.

Переменным параметром является высота потенциального барьера $\varphi$:
1 – 2.0 эВ; 2 – 2.4 эВ; 3 – 2.6 эВ; 4 – 3.0 эВ; 5 –3.2 эВ.
Энергии Ферми полуметаллического и металлического электродов равны $E_{F_L} = 0.5$ эВ и $E_{F_R} = 10$ эВ, толщина барьера $d = 2$ нм.
Кривые 1-5 сдвинуты друг относительно друга для удобства.

Как показано автором работы [7] выражение для дифференциальной туннельной проводимости $\sigma(V)$ при $eV < E_{F_L}$ состоит из трех слагаемых, а при $eV > E_{F_L}$ – из двух. Это означает, что при $eV = E_{F_L}$ мы могли бы ожидать появления в кривой σ(V) скачка, однако, выполненные нами расчеты с использованием ВКБ-приближения для $P(E_z, V)$ фактора дают только монотонные U–образные зависимости (рис. 1). Следует отметить, что ВКБ-подход является всего лишь приближением, поскольку внутри барьера для описания затухания волновой функции они используют квазиклассическое приближение. Точные значения вероятности туннельного прохождения электрона через, например, трапецеидальный барьер могут быть получены при использовании метода матриц переноса.

Список используемых источников.

1. Свистунов, В. М. Туннелирование в нормальное состояние металлооксидных сверхпроводников / В. М. Свистунов, А. И. Хачатуров, М. А. Белоголовский, О. И. Черняк // Физика низких температур. – 1996. – Т. 22. – № 6. – С. 605–608.

2. Khachaturova, T. A. Volt-Ampere Characteristics of Tunnel Junctions from Ferromagnetic Materials // Advanced materials & Technologies. – 2017. – № 3. – P. 47-50.

3. Floyd, R. B. Conductanc Tunneling e of clean and doped Al–I–Pb junctions / R. B. Floyd, D. G. Walmsley // Journal of Physics C: Solid State Physics. – 1978. – Vol. 11. – P. 4601–4614.

4. Хачатуров, А. И. Качественный анализ спин–зависимого туннелирования в контактах ферромагнитный металл – изолятор – ферромагнитный металл // Письма в ЖЭТФ. – 2005. – Т. 82. – № 10. –С. 728–733.

5. Хачатурова, Т. А. Отрицательная дифференциальная проводимость туннельных структур металл-диэлектрик-металл / Т. А. Хачатурова, А. И. Хачатуров // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2008. – Т. 134. – № 5. – С. 1006-1012.

6. Хачатурова, Т. А. Влияние давления на дифференциальную проводимость туннельных контактов с ферромагнитным электродом / Т. А. Хачатурова, А. Ю. Власенко // Физика и техника высоких давлений. – 2018. – Т. 28. – № 3. – С. 24-30.

7. Давыдов, А. С. Квантовая механика. – Москва: Наука, 1973. – 703 с.

# ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНЫХ АЭРОГЕЛЕЙ

**Клявлина А. И.[1], Рысаева Л. Х.[2], Баимова Ю. А.[1, 2]**
***[1]Башкирский государственный университет, Уфа***
***[2]Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа***
***lesya813rys@gmail.com***

Недавние успехи исследователей в создании новых углеродных структур различной морфологии и размерности открывают широкие перспективы разработки углеродных материалов с качественно новыми структурой и свойствами. Подобными перспективными материалами являются ячеистые структуры (аэрогели), которые обладают высокой деформируемостью, хорошими сорбционными свойствами, высокой проводимостью.

Механические свойства углеродных аэрогелей, например, необычная деформируемость, открывают широкие перспективы их применения для создания наномеханических устройств. Высокая химическая активность графеновых нанолент представляет интерес с точки зрения создания структур для транспортировки и хранения водорода. Важным аспектом является то, что некоторые ячеистые структуры уже научились производить экспериментально, что обеспечивает и дальнейшие возможности их исследования.

Моделирование проводилось методом молекулярной динамики. Для численных экспериментов был использован свободно распространяемый пакет МД моделирования LAMMPS с встроенным межатомным потенциалом AIREBO, который хорошо воспроизводит свойства углеродных структур [1-3].

На рис.1. показан пример ячеистой структуры. При построении ячейки моделирования использовались следующие параметры, предложенные в работе [4], где исследуются материалы-ауксетики (т.е. материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона). Данная конфигурация была выбрана для того, чтобы исследовать ауксетичность таких ячеистых структур на основе реального материала – графеновых нанолент. Как видно из рисунка, можно выделить несколько основных параметров структуры – длину боковой стенки l, длину нижних и верхних стенок h (вытянут вдоль направления x), угол наклона между ними θ, ширину структуры a (вдоль направления y), которая в значительной мере может повлиять на результаты моделирования.

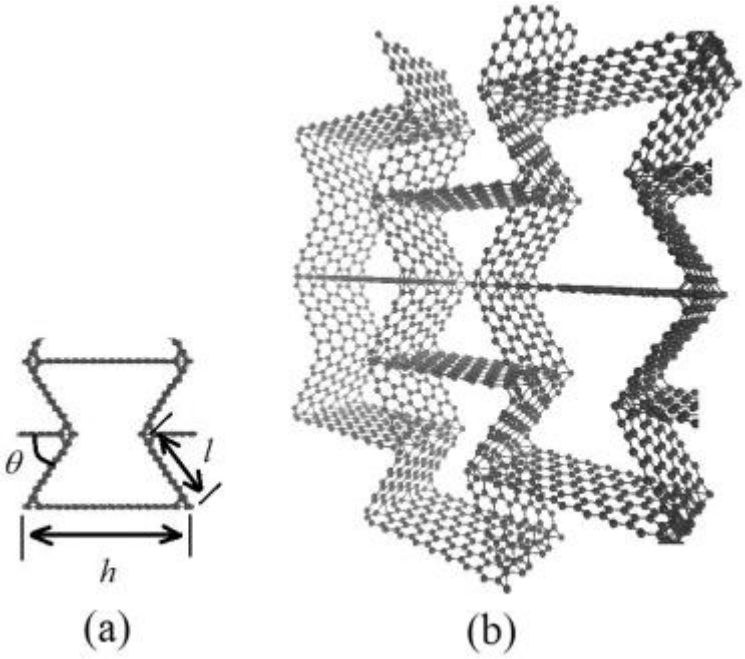
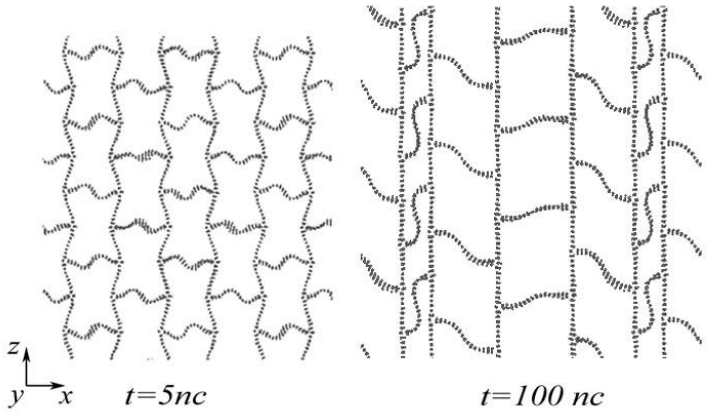



Рис. 1. Пример ячеистой структуры: (а) элементарная ячейка в проекции на плоскость xz и в перспективе, (б) изображение структуры в проекции.

На рис. 2. показано изменение структуры при четырех скоростях деформирования в проекции на плоскость xz.




а) б)

Рис. 2. Структурное состояние ячеистой структуры при двух скоростях деформации а) $\dot{\sigma}_z = 100$ МПа/пс, б) $\dot{\sigma}_z = 5$ МПа/пс.

При одноосном растяжении углеродного аэрогеля в направлении оси z в зависимости от времени моделирования наблюдалось следующее поведение структуры:

(1) при высоких скоростях деформации ($\dot{\sigma}_z = 100$ МПа/пс, t = 5пс) структура растягивается равномерно, что в результате приводит к короблению стенок ячеек;

(2) при медленных скоростях ($\dot{\sigma}_z = 5$ МПа/пс, t = 100 пс), деформация происходит неравномерно в каждом слое, что приводит к трансформации структуры, при которой наблюдается раскрытие одних ячеек и схлопывание других.

Уменьшение скорости деформирования приводит к тому, что структуры успевают релаксировать в процессе растяжения, поскольку атомы в более медленном режиме успевают взаимодействовать с соседями и происходит учет ковалентного и ван-дер-ваальсова взаимодействия. При этом ускоренное растяжение при высоких скоростях деформирования приводит к изменению геометрии ячеек как континуальной среды. Была установлена критическая скорость деформирования 20 МПа/пс: при бОльших значениях происходит равномерное изменение ячеек, при меньших – неравномерное.

Данная работа показывает, что ячеистые углеродные материалы могут демонстрировать необычное деформационное поведение. Более углубленное исследование механических свойств покажет являются ли они ауксетиками и могут ли при различном сочетании структурных параметров быть упруго деформированы.

Список используемых источников.

1. Механические свойства объемных углеродных наноматериалов / Ю. А. Баимова, Р. Т. Мурзаев, С. В. Дмитриев // Физика твердого тела. – 2015. – Т.56, № 10. – С. 1946-1952.

2. Крылова, К. А. Расчет структуры углеродных кластеров на основе фуллереноподобных молекул C24 и C48 // Физика твердого тела. – 2016. – Т. 58. – № 2. – С. 384-391.

3. Folding and crumpling of graphene under biaxial compression / Ju. A. Baimova, Bo. Liu, K. Zhou // Letters on Materials. – 2014. – Т.4. – № 2. – Pp. 96-99.

4. Л. Х. Рысаева и др. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2018. – Т. 15. – № 2. – С. 238-243.

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛИМОРФОВ УГЛЕРОДА С НАНОЧАСТИЦАМИ НИКЕЛЯ

**Сафина Л. Р.[1], Баимова Ю. А.[1, 2]**
***[1]Башкирский государственный университет, Уфа***
***[2]Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа***
***saflia@mail.ru***

В последние два десятилетия наноматериалы привлекли значительное внимание, благодаря их уникальным электронным, оптическим, механическим и химическим свойствам. Они считаются идеальным материалом для будущих высокопроизводительных электронных устройств, транзисторов, солнечных элементов и т.д. Например, соединение графена с наночастицами металла образует гибридную систему углеродный материал-наночастицы, показывающую ряд дополнительных уникальных физико-химических свойств.

На сегодняшний день в связи развитием нанотехнологий экспериментально создаются и исследуются системы с малым числом частиц. Одним из эффективных методов анализа свойств считается метод молекулярной динамики. Чтобы описать и исследовать эти системы необходимо задавать потенциалы межатомного взаимодействия для всех частиц системы. Например, потенциал Морса широко используется в моделировании различных материалов. Основной причиной выбора этого потенциала послужило то, что он быстро убывает с ростом расстояния, что позволяет уменьшить ошибки вычисления, связанные с введением в модель радиуса обрезания. Кроме того, данный потенциал достаточно хорошо описывает взаимодействие атомов металлов и его параметры для многих элементов известны. Модель с потенциалом Морса позволяет получать реалистичные (наблюдаемые в эксперименте) равновесные формы однородных наночастиц.

Потенциал Морса записывается в следующем виде:

$$UNi\text{-}C(r) = De\,[(1 - e\text{-}\beta(r\text{-}Re))2 - 1], \qquad (1)$$

где r - расстояния между атомами, D - энергия разрыва связи, Re – равновесная длина связи, α характеризует ширину потенциальной ямы (жесткость связи). В настоящее время в литературе представлено большое количество статей, описывающих возможность использования потенциала Морса для исследования взаимодействия графен-никель и никель-никель при изучении подобных гибридных материалов [1,2]. В данной работе были использованы параметры потенциала, представленные в [1] и полученные методом ab-initio.

Численные эксперименты проводились в свободно распространяемом пакете МД моделирования LAMMPS. Для описания взаимодействия атомов наночастицы Ni используется потенциал Морса, при этом полученные результаты сравниваются с результатами, полученными другими, эмпирическими, потенциалами. Для взаимодействия никель-никель и никель-углерод используется межатомный потенциал AIREBO, который был разработан для

изучения углеродных систем с различными типами ковалентных связей в рамках пакета моделирования LAMMPS. Этот потенциал был широко использован в моделировании углеродных наноматериалов и процессов в них [3-5].

На рис. 1 показаны начальные структуры, исследованные в данной работе: графен, нанотрубка и фуллерен, взаимодействующие с наночастицей никеля. Наночастица помещалась в центр листа графена, в центре нанотрубки и фуллерена, при этом были исследованы разные размеры фуллеренов, нанотрубок и самих наночастиц. В данном примере показан фуллерен C540, нанотрубка кресло (21,21) и лист графена длиной 6 нм. Частица никеля представляет собой нанокластер 382 атомов Ni. Во всех трех случаях происходит сильное взаимодействие между углеродной структурой и наночастицей металла. В случае графена со свободными краями лист графена обволакивает частицу, стремясь к полному заворачиванию вокруг нее. Наночастица, помещенная в нанотрубку или фуллерен, притягивается к внутренним стенкам. Если взять нанотрубку очень большого радиуса движение наночастицы занимает длительное время, однако частица все равно оказывается прикрепленной к стенке нанотрубки. При этом происходит искажение кристаллической структуры нанотрубки и фуллерена.

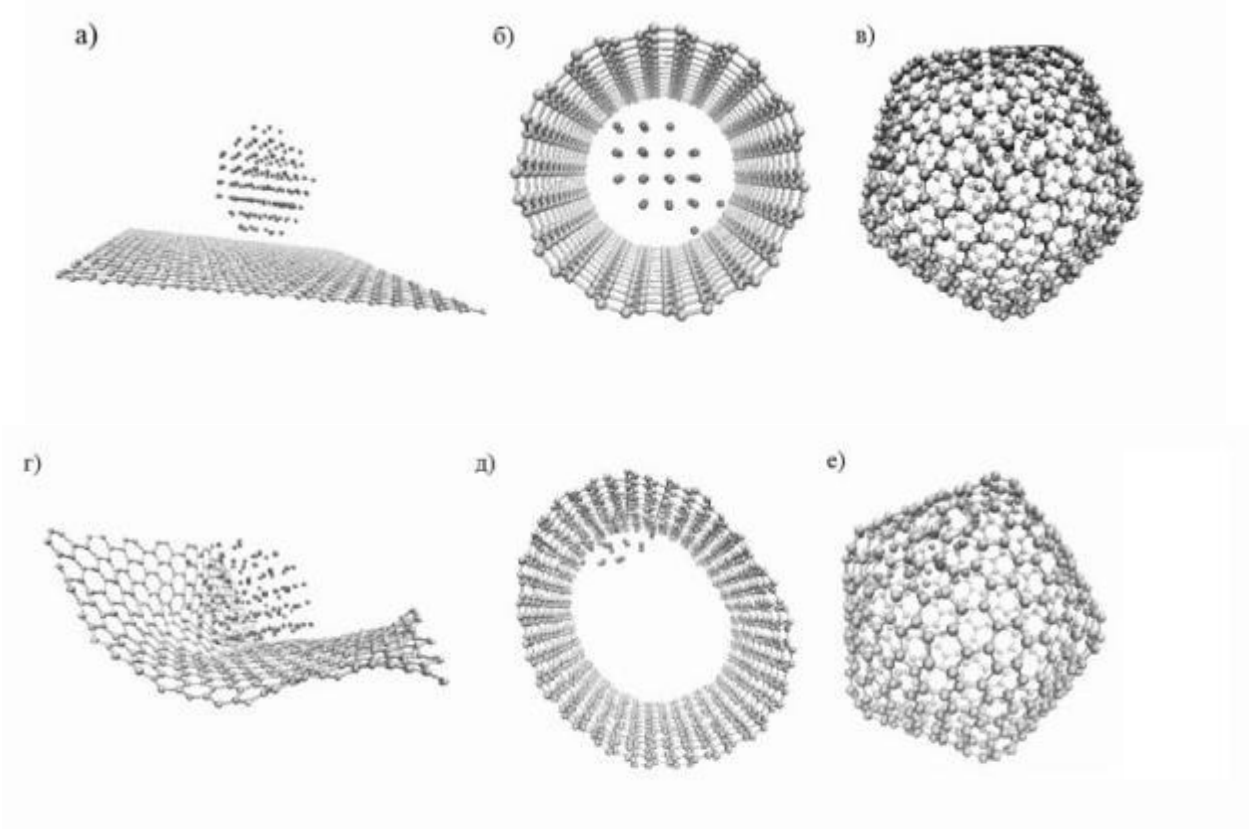



Рис. 1. Начальное (а-в) и конечное (г-е) состояние наночастиц Ni (а,г) на поверхности графена; (б,д) внутри нанотрубки; (в,е) внутри фуллерена.

В работе было показано, что результаты, полученные с использованием потенциала Морса, находятся в согласии с результатами, полученными с использованием реалистичных межатомных потенциалов на основе метода по-

груженного атома. Показано, что углеродные наноматериалы интенсивно контактируют с металлической наночастицей, а именно: наночастица никеля притягивается к поверхности любого полиморфа углерода, что свидетельствует о высокой активности металлических наночастиц. В случае, когда наночастица Ni притягивается к оболочке углеродной нанотрубки или фуллерена происходит деформация стенок. В случае взаимодействия листа графена и наночастицы никеля происходит оборачивание наночастицы.

Список используемых источников.

1. Molecular dynamics simulation of nickel-coated graphene bending / K. P. Katin, V. S. Prudkovskiy, M. M. Maslov // Micro and Nano Letters. – 2018. – V. 13. – P. 160.

2. J. Xu, Molecular dynamics simulation of Ni nanoparticles sintering process in Ni/YSZ multi-nanoparticle system / J. Xu, R. Sakanoi, Y. Higuchi, et al. // J. Phys. Chem. C. – 2013. – V. 117. – P. 9663−9672.

3. Механические свойства объемных углеродных наноматериалов / Ю. А. Баимова, Р. Т. Мурзаев, С. В. Дмитриев // Физика твердого тела. – 2015. – Т. 56. – № 10. – С. 1946-1952.

4. Folding and crumpling of graphene under biaxial compression / J. A. Baimova, Bo. Liu, K. Zhou // Letters on Materials. – 2014. – Т. 4. – № 2. – P. 96-99.

5. Murzaev R.T., Localized vibrational modes in diamond / R. T. Murzaev, D. V. Bachurin, E. A. Korznikova, S. V. Dmitriev // Physics Letters A. – 2017. – V. 381. – №11. – P. 1003-1008.

# АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА КОНВЕКТИВНОЙ ВАКУУМ-ИМПУЛЬСНОЙ СУШИЛКИ

**Иванова Э. С., Зорин А. С.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***Elvira-ivanova14@mail.ru, zorin619@bk.ru***

Развитие АПК требуется создание инновационного оборудования для переработки растительного сырья.

Наличие влаги в растительном материале во время их хранения приводит к росту бактерий. Помимо активных ингредиентов, все свежие сельскохозяйственные продукты, такие как фрукты, овощи и листья, в основном содержат высокий процент как связанной, так и несвязанной воды. Если сельскохозяйственный продукт высушивается без ущерба для активных питательных веществ и с максимально удаленной влажностью, его можно безопасно сохранить в течение длительного времени. Высокое содержание влаги в растительном сырье необходимо быстро снизить до остаточного приемлемого процентного содержания, чтобы предотвратить любую ферментативную реакцию и окисление [1]. Листья обычно теряют до 85% своего веса при сушке [2].

Применение комбинированной конвективно вакуумно-импульсной сушилки (КВИС) имеет ряд преимуществ перед другими видами сушки [3,4]. Применение КВИС исключает образование агломератов растительного материала в первом периоде сушки и позволяет сохранять питательные вещества во втором периоде щадящей конвективно вакуум-импульсной сушки. В тоже время основным недостатком КВИС является неравномерность удаления влаги из материала по лоткам в вакуумном шкафу. Для исследования равномерности нагрева материала в вакуумном шкафу были проведены экспериментальные исследования.

Для исследования распределения температурного поля внутри сушильного шкафа использован бесконтактный метод измерения температуры. При проведении исследований использовался тепловизор Testo 871-1.

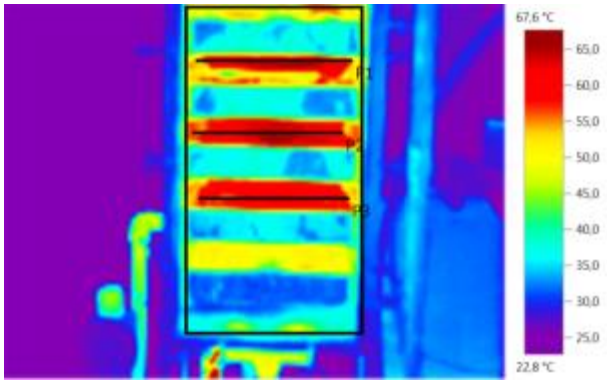



Рис. 1. Термограмма сушильного шкафа.

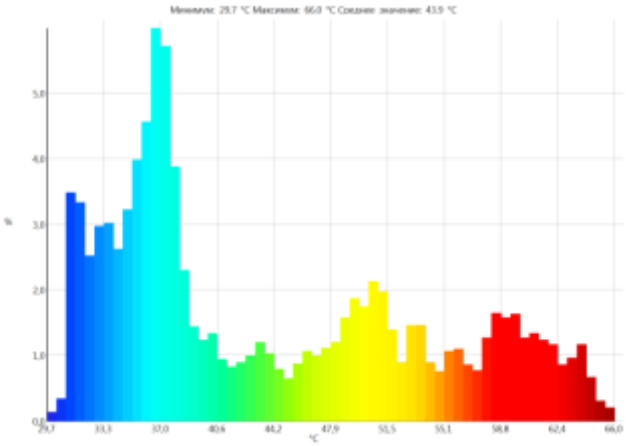


Рис. 2. Гистограмма распределения температуры.

Для анализа равномерности распеределния температур использована гистограмма распределения температуры (рис. 2). Из данных гистограммы следует, что в процентном соотношение привалирует режим с температурой 36 -38 С. Максимальная температура доходит до значения 66 С, а минимальная 29,7. Макимально нагревается средняя часть сушильного шкафа, в тоже время нижняя часть работает в наименьшей температурой. Увеличение температуры теплоносителя в данном

случае является не желательным, так как это приведет к увеличению тепловых потерь и перегреву сырья на верхних полках.

Технологическим решением повышения эффективности температурного режима является применение устройств обеспечивающих накопление тепловой энергии с последующей отдачей в режиме сушки. Такие устройства назыааются тепловыми аккумуляторами. Коструктивное исполнение для сушильных шкафов представленов в работе [4]. К дополнительным вариантам повышения энергетичсекой эфективности сушильных установок моежт быть применение солнечных энергетичсеких установок [5]. В работах [6-8] представлено возможно повышение эффективности тепловых аккумуляторов и конструктивное оформление. Применение в качестве материалов для ТА – материалов с фазовым переходом значительно повышает тепловую емкость ТА. Для улучшения теплопроводности используются углеродные наноструктуры [6,7].

Таким образом проведенный температурный анализ КВИС показывает наличие неравномерности температруного режима сушки. Наиболее низкая температура наблюдается в нижней секции шкафа при увеличенном температурном режиме в верхней секции шкафа. Техническое решение, которое позволит выравненять температурный режим в сушильном шкафу является применение децентрализованно распределенных тепловых аккумуляторов.

Список используемых источников.

1. Effect of drying technologies on quality of green tea. / Lin Xiangyang, Zhang Lijing, Lei Hanwu, Zhang Hong, Cheng Yanling, Zhu Rongbi, et al. // Int Agric Eng J. – 2010. – 19 (3).

2. Drying of herbal medicines and tea. Handbook of industrial drying. Third edition / Chen Guohua, Mujumdar Arun S.– LLC: CRC Press; 2006.

3. Повышение качества сушеной растительной продукции при двухступенчатой конвективно вакуум-импульсной сушке / Ю.В. Родионов [и др.] // Кооперация науки, образования, производства и бизнеса: новые идеи и перспективы безопасного развития в ближайшем будущем: III-я Всерос. науч.-практ. кластерная заоч. электронная конф. – Тамбов, 2011. – С. 295-296.

4. Щегольков, А. В. Повышение энергоэффективности двухступенчатой КВИС растительного сырья /А. В. Щегольков, А. С.Зорин, Ю. В. Родионов, А. Б. Гриднев // Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства: сб. науч. трудов Междунар. науч.-технич. семинара, посвященного 75-летию со дня рождения К.А. Тимирязева, 2018. – С. 181-184.

5. Щегольков, А. В. Применение наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов для солнечных энергетических установок./ А. В. Щегольков, И. О. Плотницкий // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – Т. 4. –№ 40. – С. 46-52.

6. Исследование термической устойчивости наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов / А. В. Щегольков, А. В. Щегольков // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: сб. матер. IX Междунар. науч.-инновац. молодёжной конф., 2017, – С. 189-191.

7. Термоустойчивые наномодифицированные теплоаккумулирующие материалы / А. В. Щегольков, М. Н. Краснянский, А. Г. Ткачев // Графен и родственные структуры: синтез, производство и применение: сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф., 2017, – С. 394-396.

8. Shchegolkov, A. V. Regenerative heat exchanger based on graphene-modified paraffin for portable respiratory devices Nano Hybrids and Composites. – 2017. – Т. 13. – P. 69.

# СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ТОПЛИВА И СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Турсунов Ш. С.**
***Каршинский инжернерного-экономический институт, Карши, Узбекистан***
***shavkat066@inbox.ru***

Структуры автомобильного парка Республики Узбекистан и индустриально развитых стран существенно различаются. В структуре нашего автомобильного парка доля грузовых автомобилей и автобусов в несколько раз больше по сравнению со структурой в США. Поэтому повышение топливной экономичности в первую очередь имеет большое значение для грузовых автомобилей, удельный вес которых в энергетическом балансе отрасли и доля потребляемого ими топлива составляет значительную величину.

Автомобильный транспорт относится к одной из наиболее энергоемких отраслей народного хозяйства. На его долю приходится 7,2% энергоресурсов страны или 24,6% жидкого топлива нефтяного происхождения, а в ближайшей перспективе относительное потребление нефтепродуктов на автомобильном транспорте еще более возрастет.

В 1972 г. потребление жидкого топлива в этой стране составляло 17,8% от общего потребления (из которого на бензиновые двигатели приходилось 11,5, а на дизельные - 6,3%); в 1980 г. эта цифра уменьшилась до 11,6…13,0%, причем доля потребления бензина составила 7,2…8,1%, а дизельного топлива 4,4…4,9%. Использование топлива бензиновыми двигателями в 1985 г. уменьшилось до 6,3…7,5%, а дизелями - до 3,8…1,5%.

Автомобиль должен работать с наибольшей загрузкой без холостых переездов. Прогрессивно использование прицепов и автопоездов: расход бензина на 1 т·км снижается на 25….30 %. Значительно повышается эффективность использования машин при бестарной перевозке грузов (мука, зерно, удобрения, ядохимикаты и.т.д.) специализированным автотранспортом. Большое значение имеют выбор машин, их подготовка для перевозки тех или иных материалов, составление схемы движения, обеспечение согласованной работы с комбайнами, проведение своевременного технического обслуживания, широкое распространение опыта передовых водителей.

Если в топливе содержатся абразивные механические примеси, то резко увеличивается расход бензина, а срок службы топливоподающей аппаратуры в зависимости от загрязненности сокращается в 2...3 раза. Механические примеси проникают в зазоры между поршневыми кольцами и гильзой цилиндра, вызывая их повышенный износ. Увеличение интенсивности изнашивания ведет к падению мощности, ухудшению экономичности, преждевременному выходу двигателя из строя.

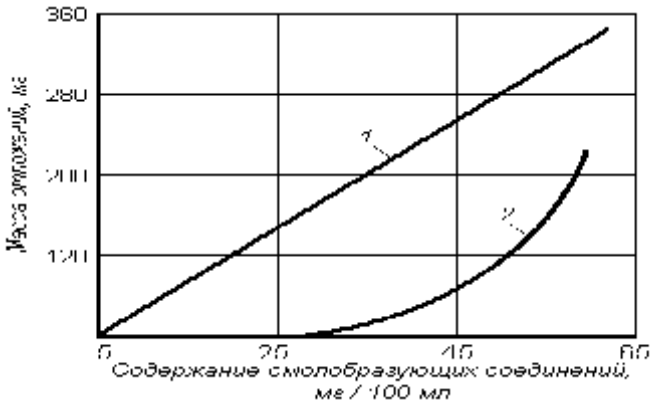



Рис. 1. Влияние содержания смол на интенсивность накопления отложений: 1 - во впускном трубопроводе; 2 - на всасывающем клапане.

Смолообразующие соединения представляют собой различные нестойкие соединения, например непредельные углеводороды, которые с течением времени, от повышенных температуры, количества кислорода в воздухе и от других факторов окисляются, полимеризуются, конденсируются и переходят в смолы. Их количество зависит от химического состава сырья, способов его переработки и качества очистки. Недостаточной стабильностью обладают бензины, в состав которых входит большое количество продуктов крекинга с высоким содержанием непредельных углеводородов. Чем хуже условия транспортирования и хранения бензина, тем больше образуется смол. При увеличении содержания смол и смолообразующих веществ ухудшается полнота сгорания бензина, снижается его детонационная стойкость. Накапливающиеся вместе со смолами кислоты повышают коррозионную способность топлива.

Основное влияние на накопление смол оказывает температура хранения (табл. 1.). Кроме того, существенное значение имеет степень заполнения емкости. Так, у автомобильного бензина, хранившегося 6 месяцев в полной (заполнение 93 %) бочке, содержание фактических смол возросло в 4 раза, а при заполнении 50 % - в 12 раз. Наличие в емкостях старых продуктов окисления, воды, механических примесей, окалины интенсифицирует процессы окисления и накопления смол.

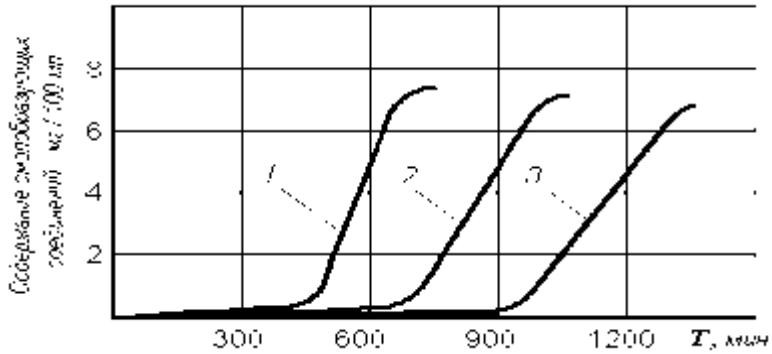



Рис. 2. Влияние продолжительности индукционного периода на содержание смолообразующих соединений в зависимости от октанового числа бензина: 1 – низкооктановый (А-72); 2 – высокооктановый (Аи-93); 3 – Premium.

В ряде случаев для повышения стабильности в топливо вводят очень небольшое количество (тысячные, сотые доли процента) стабилизаторов (антиокислителей): древесно-смоляной, оксидифениламин и др., которые тормозят процесс окисления, увеличивая тем самым индукционный период.

Наиболее сильное корродирующее действие оказывают активные сернистые соединения, минеральные кислоты и щелочи, а также вода. Наличие всех этих веществ в бензине не допускается. Присутствие активных сернистых соединений определяют испытанием на медную пластинку, а водорастворимых кислот и щелочей - проверкой реакции водной вытяжки, которая должна быть нейтральной.

Таблица 1.

Изменение содержания смол (мг/100 мл) в бензине при его хранении.

| Бензины | Начальное содержание смол | После месячного хранения при температуре, °С | | После 10 месяцев хранения при температуре 15…20 °С | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 15...20 | 40…45 | в темноте | на свету |
| Автомобильный прямой перегонки | 4,0 | 6,0 | 396,0 | 16,0 | 44,0 |
| Автомобильный каталитического крекинга | 7,5 | 14,0 | 558,0 | 53,4 | 76,0 |
| Авиационный | 2,0 | 2,0 | 54,0 | 14,0 | 38,8 |

Дизельное топливо - это сложная смесь парафиновых (10...40 %), нафтеновых (20...60 %) и ароматических (14...30 %) углеводородов и их производных средней молекулярной массы 110...230, выкипающих в пределах 170...380 °С Температура вспышки составляет 35...80 °С, застывания - ниже - 5 °С. Растворимость воды в топливе примерно 9·10-5 кг/кг, кислорода - (3,3...3,5)·10-6 м3/кг.

- Коэффициент рефракции дизтоплива - 1,37...1,58;
- относительная диэлектрическая проницаемость - 1,80...2,10;
- удельное сопротивление - (2...3)·1010 Ом·м;
- удельная теплоемкость - 1,90...2,60 кДж/(кг·0С);
- теплопроводность - 0,14 Дж/(м·с 0С) (при 100 0С);
- теплота испарения - 234...270 кДж/кг.

Список используемых источников.

1. Самигулина, З.И. Интеллектуальная система оценки производственных рисков промышленного предприятия // Информатика: проблемы, методология, технологии: труды XIV Междунар. конф. – Воронеж, 2014.

2. Машинный анализ связи химической структуры и биологической активности. / Э. Стьюпер, У. Брюггер, П. Джурс. – М.: Мир, 1982.

3. Теоретическое конструирование структуры барбитуратов с повышенной биологической эффективностью на основе нейросетевого анализа / С. И. Ольбик, С. И. Барцев, Ю. П. Ланкин и др. // Нейроинформатика, ее приложения и анализ данных: труды XVI Всеросс. семинара. – Красноярск.

# ВЫБОР КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Мокрозуб В. Г., Карева О. Х., Соловьева Т. И.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
**mokrozubv@yandex.ru**

В химической промышленности используется более десяти тысяч наименований агрессивных сред и огромное количество конструкционных материалов. Выбираемый конструкционный материал должен быть наиболее выгоден по экономическим характеристикам и обладать наилучшими эксплуатационными показателями (коррозионная стойкость, прочностные характеристики и др.)

Задача выбора конструкционного материала заключается в следующем – для заданного типа химического оборудования и химической среды необходимо определить оптимальный конструкционный материал. Оптимальным конструкционным материалом является материал с самой низкой ценой и с самыми минимальными коррозионными потерями материала.

Таким образом, формулировка задачи выглядит следующим образом.

Для заданных: агрессивной среды, рабочего давления и температуры найти такой материал изготовления элементов химического оборудования $m^* \in M,\ M = \{m_j\},\ j = \overline{1, N}$, при котором:

$$KC(m^*) \to \min_{m_j} KC(m_j), \quad (1)$$

$$KP(m^*) \to \min_{m_j} KP(m_j), \quad (2)$$

где $KC(m_j)$ – себестоимость конструкционного материала на единицу площади, $KP(m_j)$ – коррозионные потери конструкционного материала в течение его эксплуатации на единицу площади.

Поставленная задача является многокритериальной. Критерии (1) и (2) взаимопротиворечащие, и не позволяют определить оптимальный материал $m_{cm}{}^* \in M$ по основным оптимизационным параметрам, который удовлетворял бы одновременно условиям (1) и (2). Для решения задачи произведем свертку критериев (1) и (2) в виде:

$$KCP(m_j) = k1 * KCN(m_j) + k2 * KPN(m_j),$$

где $m_j \in M$, k1,k2 – весовые коэффициенты,

$$KCN(m_j) = \frac{KC(m_j) - KC_{\min}}{KC_{\max} - KC_{\min}}$$ – нормированная стоимость стали,

$KPN = \dfrac{KP(m_j) - KP_{\min}}{KP_{\max} - KP_{\min}}$ – нормированные коррозионные потери,

$v(m_j) < [v]$, $v(m_j)$ – скорость коррозии материала, $[v]$ – допускаемое значение скорости коррозии химического оборудования,

$$KC(m_j) = C(m_j) * s(m_j) * \rho(m_j),$$

$C(m_j)$ – стоимость 1 кг стали,

$\rho(m_j)$ – плотность стали,

$s(m_j)$ – толщина стенки химического оборудования, является функцией температуры, давления и характеристики конструкционного материала,

$$s(m_j) = s([\sigma(m_j)], P_p, C_k),$$

$[\sigma(m_j)]$ – допускаемое напряжение стали при рабочей температуре,

$P_p$ – рабочее давление,

$C_k$ – прибавка на коррозию,

$C_k = v * n$, где

$v$ – скорость коррозии,

$n$ – количество лет эксплуатации,

$$KC_{\max} = \max_{m_j} KC(m_j),$$

$$KC_{\min} = \min_{m_j} KC(m_j).$$

Представленная постановка задачи используется авторами при создании виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» [1-3].

Список используемых источников.

1. Мокрозуб, В. Создание виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» в тамбовском государственном техническом университете // САПР и графика. – 2015. – № 1 (219). – С. 38 – 39.

2. Мокрозуб, В. Г. О подходе к интеллектуализации информационной поддержки принятия решений при конструировании химического оборудования / В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2015. – № 7. – С. 31-34.

3. Егоров, С. Я. Автоматизированная информационная система поддержки проектных решений по компоновке промышленных объектов. Часть 2. Структура и функционирование системы (часть 1 см. в ИТПП № 4, 2009 г.) / С. Я. Егоров, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов, М. С. Громов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2010. – № 1. – С. 33-39.

# ПЛАВЛЕНИЕ НАНОКЛАСТЕРА НИКЕЛЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ГРАФЕНА

**Сафина Л. Р.**
***Башкирский государственный университет, Уфа***
**saflia@mail.ru**

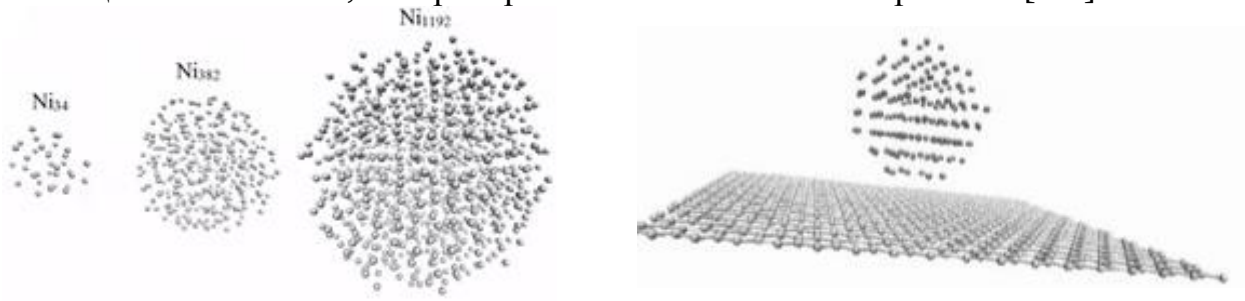
В последние годы значительное внимание было уделено разработке однородных наночастиц никеля нанометрового размера из-за их уникальных свойств и потенциальных применений в различных областях, включая электронику, магнетизм, энергетические технологии или биомедицину. Наночастицы никеля нашли специфическое применение в выращивании углеродных нанотрубок, а также в области катализа. Кроме того, хорошо известен способ осаждения графена на никелиевой подложке, что также объясняет важность изучения взаимодействия наночастиц никеля и углеродных структур. На основе наночастиц металлов и различных полиморфов углерода могут быть созданы композитные материалы, обладающие новыми уникальными свойствами. Изучение взаимодействия наночастиц никеля и углеродных структур методами моделирования вызывает большой интерес научного сообщества [1, 2].

Общепризнано, что свойства наночастиц могут кардинально отличаться от свойств кристаллов того же элементного состава, но имеющих макроскопческие размеры. В данной работе для проверки влияния размера нанокластера на его температуру плавления рассматривались три различных нанокластера (Ni34 диаметром 7.5 Å, Ni382 диаметром 20 Å и Ni1192 диаметром 26 Å), показанные на рис. 1а. Кроме того также было изучено взаимодействие с листом графена нанокластера Ni382 в процессе его плавления. Моделирование проводилось в свободно распространяемом пакете молекулярно-динамического моделирования LAMMPS.

Потенциал Морса записывается в следующем виде:

$$U_{Ni\text{-}C}(r) = D_e\,[(1 - e^{-\beta(r-R_e)})^2 - 1], \qquad (1)$$

где r - расстояния между атомами, D - энергия разрыва связи, Re – равновесная длина связи, α характеризует ширину потенциальной ямы (жесткость связи). В данной работе были использованы параметры потенциала, представленные в [1] и полученные методом ab-initio. Взаимодействие атомов Ni с атомами Ni и C описывается потенциалом Морса с параметрами De = 0.4205 eV, β = 1.4199 1/Å и Re = 2.78 Å для Ni-Ni, и De = 0.433 eV, β = 3.244 1/Å и Re = 2.316 Å для Ni-C [1]. Взаимодействие атомов углерода в графене описывалось хорошо известным потенциалом AIREBO, который ранее был использован в работах [3-5].




а) б)

Рис. 1. (а) Нанокластеры Ni из 34, 382 и 1192 атомов.
(б) Нанокластер Ni382 на поверхности графена. Исходная структура.

Было выявлено, что температура плавления мелких металлических наночастиц ниже, чем объемных материалов. В настоящей работе температура плавления Ni34 оказывается равной ~ 1360 К. Температура плавления более крупных наночастиц составила около 2000 К, что хорошо согласуется с данными, представленными в литературе. Кроме того было проведено сравнение с другими многочастичными потенциалами межатомного взаимодействия, которое показало хорошее согласие с результатами, полученными простым потенциалом Морса.

На рис. 2 представлена структура наночастицы Ni382, расплавленной по поверхности графена. Как видно, плавление наночастицы приводит к равномерному распределению атомов Ni по листу графена. В то же время соединение атомов Ni с поверхностью графена приводит к возникновению поверхностного натяжения и изгибу графена, о котором также упоминалось в работе [1].

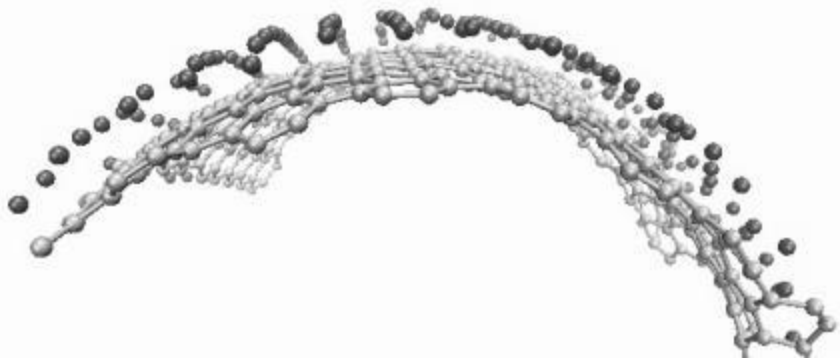


Рис. 2. Распространение наночастицы Ni382 на поверхности графена.

В данной работе методом молекулярно-динамического моделирования была изучена зависимость температуры плавления нанокластеров никеля от их размера, а также процесс расплавления нанокластера никеля по поверхности листа графена. Благодаря высокой активности наночастиц Ni, было показано, что при плавлении нанокластера атомы никеля равномерно распределяются по поверхности графена и закрепляются на ней. Наличие наночастиц Ni приводит к деформации оболочки графена. Подобные явления могут быть использованы, например, для изготовления Ni-углеродных нанокомпозитов.

Список используемых источников.

1. Katin K.P., Prudkovskiy V.S., Maslov M.M. Molecular dynamics simulation of nickel-coated graphene bending // Micro and Nano Letters. – 2018. – V. 13. – P. 160.

2. J. Xu, Molecular dynamics simulation of Ni nanoparticles sintering process in Ni/YSZ multi-nanoparticle system / J. Xu, R. Sakanoi, Y. Higuchi, et al. // J. Phys. Chem. C. – 2013. – V. 117. – P. 9663−9672.

3. Баимова Ю.А., Мурзаев Р.Т., Дмитриев С.В. Механические свойства объемных углеродных наноматериалов // Физика твердого тела. – 2015. – Т.56. – № 10. – С. 1946-1952.

4. К.А. Крылова, Расчет структуры углеродных кластеров на основе фуллереноподобных молекул С24 и С48 / Крылова К.А. и др. // Физика твердого тела. – 2016. – Т.58. – № 2. – С. 384-391.

5. Baimova Ju.A., Liu Bo., Zhou K. Folding and crumpling of graphene under biaxial compression // Letters on Materials. – 2014. – Т. 4. – № 2. – С. 96-99.

# РАЗРАБОТКА ОКУЛЯРНОЙ КАМЕРЫ

**Мордасов М. Д., Мордасов Д. М.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***mit@mail.nnn.tstu.ru***

Основное назначение цифровой окулярной камеры – выводить получаемое изображение микроструктуры на монитор. Российский рынок аксессуаров для микроскопии предлагает множество окулярных камер с различными особенностями и характеристиками.

Окулярные камеры для микроскопов по сложности их конструкции и качеству получаемого изображения делятся на две основные группы: камеры без оптического элемента и камеры с оптическими адаптерами. Окулярные камеры устанавливают либо вместо окуляра, либо на окуляр микроскопа.

Основной задачей, решаемой при проектировании окулярных камер, является обеспечение захвата изображения с большим рабочим полем CMOS-матрицей (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Данная задача решается путем использования в современных окулярных камерах оптического элемента – объектива, устанавливаемого перед матрицей.

На рис. 1, а показан ход лучей в микроскопе без окулярной камеры.

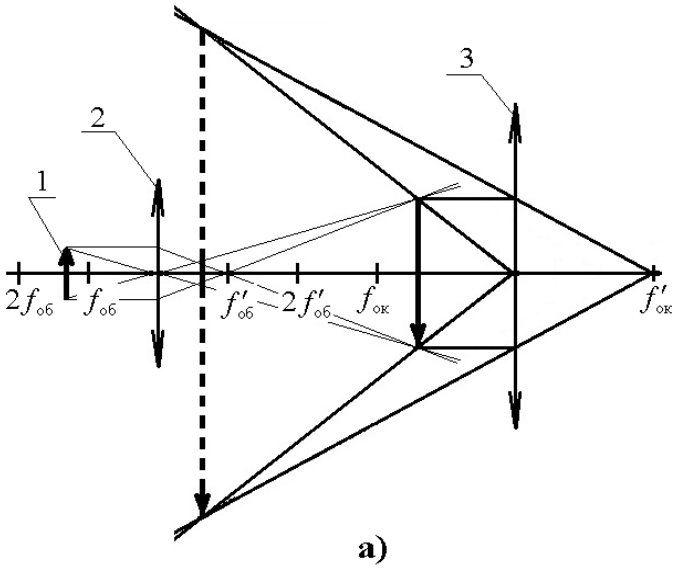
Исследуемый объект 1 находится между фокусом $f_{об}$ объектива 2 и его двойным фокусом. Формируемое объективом 2 изображение объекта 1 находится между окуляром 3 и его фокусом $f_{ок}$.

Окуляр 3 создает мнимое перевернутое увеличенное изображение объекта 1, которое, проходя через объектив камеры 4, уменьшается и переворачивается (рис. 1, б), что необходимо для его правильного восприятия CMOS-матрицей.

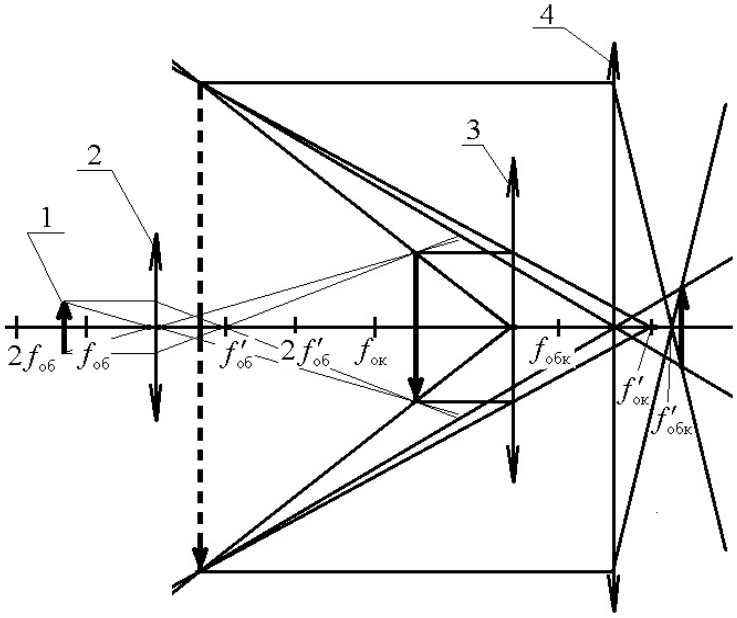
Оптическая система микроскопа и объектив камеры имеют более сложную конструкцию, отличающуюся от представленной на рис. 1. В связи с этим, с целью определения оптимального расположения камеры относительно окуляра микроскопа, определим фокусное расстояние сформированной оптической системы.

В качестве исходных данных при расчете примем следующие: фокусное расстояние объектива $f_{об}$ = 33,1 мм; фокусное расстояние окуляра $f_{ок}$ = 12,5 мм; расстояние между линзами 2 и 3 d1 = 160 мм; расстояние между линзой 4 и CMOS-матрицей - 1,5 мм. Расстояние d2 между линзами 3 и 4 - подбирается для получения наилучшего изображения.

Для изготовления окулярной камеры выберем серийно выпускаемую веб-камеру Logitech C310. Характеристики камеры (тип матрицы – CMOS, число мегапикселей матрицы - 1.3 Мп, разрешение - 1280x720, интерполированное разрешение - 2560x2048, фокусировка - фиксированный фокус) позволяют использовать ее в качестве окулярной камеры.




**а)**




**б)**

Рис. 1. Ход лучей в микроскопе без окулярной камеры (а), с окулярной камерой (б): 1 – исследуемый объект; 2 – объектив микроскопа ( $f_{об}$ и $f'_{об}$ - передний и задний фокусы объектива); 3 – окуляр микроскопа ( $f_{ок}$ и $f'_{ок}$ - передний и задний фокусы окуляра); 4 – объектив камеры ( $f_{обк}$ и $f'_{обк}$ - передний и задний фокусы объектива камеры).

Определим фокусное расстояние объектива камеры.

Фокусное расстояние $f_{обк}$ связано с размером матрицы hCMOS, дальностью наблюдения D и размером поля зрения H формулой

$$f_{обк} = \frac{h_{CMOS} \cdot D}{H}.$$

Размеры матриц стандартизованы. В выбранной камере Logitech C310 установлена матрица с диагональю 1/4″, ее высота и ширина составляют 3,8 мм и 5,1 мм, соответственно.

Отношение D/H определим экспериментально, установив камеру на расстоянии 1,0 м от экрана с горизонтальной линейкой. Размер поля зрения при этом составил 0,85 м.

Таким образом, с учетом числовых значений hCMOS, D и H, получим $f_{\text{обк}}$ = 4,47 мм.

Фокусные расстояния объективов выпускаемых камер стандартизованы и соответствуют ряду значений: 2,8 – 3,6 – 4,3 – 6,0 – 8,0 – 12,0 – 17,0 – 25,0 мм.

Выберем наиболее близкое значение $f_{\text{обк}}$ = 4,3 мм, которое будем использовать в дальнейших расчетах.

При последовательном расположении двух собирающих линз, их фокусные расстояния f1 и f2 складываются в соответствии с формулой

$$f_{\text{общ}} = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 - d},$$

где d – расстояние между главными плоскостями линз.

В нашем случае для системы из трех линз получим:

$$f_{\text{общ}} = \frac{f_{\text{об}} \cdot f_{\text{ок}} \cdot f_{\text{обк}}}{f_{\text{об}} \cdot f_{\text{ок}} + \left(f_{\text{обк}} - d_2\right) \cdot \left(f_{\text{об}} + \cdot f_{\text{ок}} - d_1\right)}.$$

Определим расстояние, на котором необходимо расположить объектив камеры относительно окуляра микроскопа, чтобы матрица камеры воспринимала резкое изображение, т.е. находилась в фокусе fобщ = 1,5 мм:

$$d_2 = f_{\text{обк}} - \frac{f_{\text{об}} \cdot f_{\text{ок}} \cdot \left(f_{\text{обк}} - f_{\text{общ}}\right)}{f_{\text{общ}} \cdot \left(f_{\text{об}} + \cdot f_{\text{ок}} - d_1\right)} = 11 \ мм.$$

Таким образом, в результате проведенного расчета оптической системы установлено, что для построения окулярной камеры микроскопа на основе веб-камеры Logitech C310, необходимо расположить ее так, чтобы обеспечить расстояние между окуляром микроскопа и объективом камеры, равное 11 мм.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ДВУХСЛОЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ

**Никулин С. С., Кузнецов А. В., Левин А. Г.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
**teplotehnika@nnn.tstu.ru**

Целью данной работы является исследование температурных полей в методе неразрушающего теплового контроля двухслойных изделий [1, 2].

Для проведения имитационного исследования метода используется численное моделирование температурных полей методом конечных элементов с помощью пакета программ ELCUT Student.

Выбранный программный пакет представляет собой интегрированную диалоговую систему, предназначенную для моделирования методом конечных элементов двумерных электромагнитных, тепловых и других полей. Метод конечных элементов является одним из наиболее широко используемых численных методов для решения уравнений математической физики в частных производных. Программный пакет ELCUT имеет хорошо развитый и простой в освоении интерфейс. С помощью редактора ELCUT пользователь может достаточно быстро описать задачу, ее геометрию, свойства сред, источники поля, граничные и другие условия, решить ее с высокой точностью. Пакет ELCUT обладает высоким быстродействием [3].

Рассматривается полимерное покрытие из политетрафторэтилена на металлической пластине из сплава алюминия. На покрытие от круглого плоского нагревателя оказывается тепловое воздействие постоянной мощности. Для снижения теплопотерь зона теплового воздействия закрывается теплоизолирующим материалом.

Выбраны следующие условия моделирования. Тепловой поток 10000 Вт/м2. Шаг по времени 1 с. Время нагрева 300 с. Размеры объекта исследования: толщина покрытия 0,5 мм, толщина металлического основания 1,5 мм. Нагреватель радиусом 4 мм, высотой 2 мм. Размер теплоизоляции: высота 20 мм, радиус 20 мм. Размеры теплоизоляции подобраны так, что можно пренебречь утечками тепла. Теплофизические свойства материалов, используемых при моделировании объекта исследования, приведены в таблице 1.

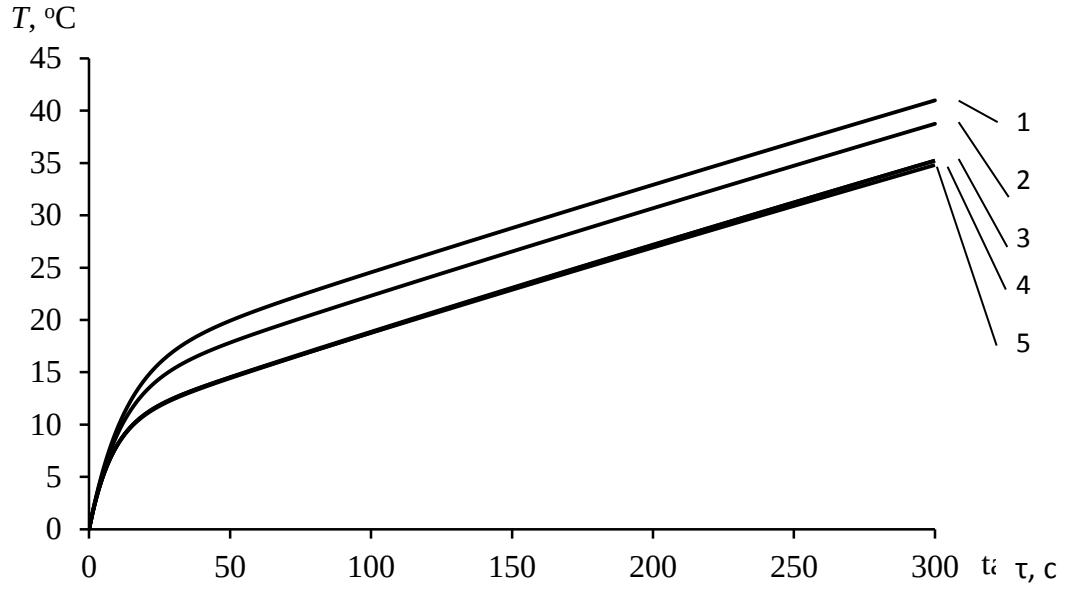
Таблица 1.

Теплофизические свойства объектов.

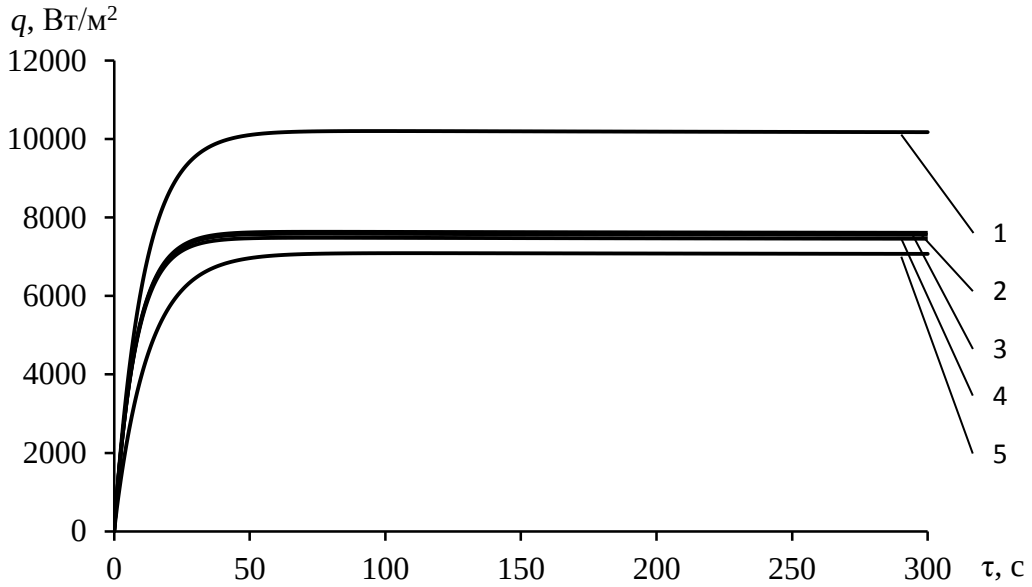
| Объект | Материал | Теплопроводность $\lambda_1$, Вт/(м·К) | Теплоемкость с, Дж/(кг·К) | Плотность ρ, кг/м3 |
|---|---|---|---|---|
| Покрытие | Политетрафторэтилен | 0,25 | 1040 | 2200 |
| Нагреватель | Медь | 400 | 385 | 8500 |
| Теплоизоляция | Рипор | 0,028 | 1270 | 50 |
| Металл | Сплав алюминия | 220 | 840 | 2600 |

В ходе исследования в точках на поверхности полимерного покрытия регистрируются термограммы и плотности тепловых потоков.

На рисунке 1 представлены термограммы (а) и плотности тепловых потоков (б), зарегистрированные при численном исследовании моделируемых двухслойных систем с включениями частицы металла в слое покрытия. Значения температуры и теплового потока фиксировались в покрытии на оси нагревателя вблизи границы покрытие – нагреватель.




а)




б)

Рис. 1. Термограммы (а) и плотности тепловых потоков (б):
(1) – модель без дефекта;
(2 – 5) – с дефектом в виде включения металла диаметром
dвк = 4; 8; 16; 32 мм и толщиной hвк = 0,20 мм.

Результаты имитационного исследования метода показали, что метод позволяет зарегистрировать наличие включений в полимерном покрытии на металлическом основании, если теплопроводность материала включения сильно отличается от теплопроводности полимерного покрытия. Однако метод не позволяет определить размеры этого включения.

Список используемых источников.

1. Майникова, Н. Ф. Моделирование теплопереноса в методе неразрушающего теплофизического контроля. Часть I. Стадия нагрева / Н. Ф. Майникова, Н. П. Жуков, А. С. Чех, С. С. Никулин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2007. – Т. 13. – № 1. – С. 39-45.

2. Жуков, Н. П. Математическая модель распространения тепла в системе двух полуограниченных тел на стадии остывания / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов, С. С. Никулин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21. – № 3. – С. 388-392.

3. Майникова, Н. Ф. Определение условий адекватности модели распределения тепла в плоском полупространстве реальному процессу при теплофизическом контроле / Н. Ф. Майникова, Н. П. Жуков, А. А. Балашов, С. С. Никулин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2006. – Т. 12. – № 3-1. – С. 610-616.

# ПРИМЕНЕНИЕ ВСПЕНЕННОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ДЛЯ УТЕПЛЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

**Тарасов Д. С., Тимофеев Н. А.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***teplotehnika@nnn.tstu.ru***

Решение задач экономии энергетических ресурсов требует улучшения теплоизоляции зданий, что приводит к увеличению толщины ограждающих конструкций [1]. В результате возрастает стоимость здания.

Современные высокоэффективные изоляционные материалы могут заметно повысить теплозащитные свойства ограждающих конструкций и обеспечить любые нормативные требования по теплозащите зданий.

Одним из современных направлений энергосбережения является использование вспененного полиэтилена толщиной до 15 мм, покрытого с одной или двух сторон алюминиевой фольгой. Такая изоляция оказывает комплексное воздействие на теплопроводность, конвекцию и излучение. Поверхность полированной алюминиевой фольги способна эффективно отражать инфракрасное излучение. Это свойство послужило основой для создания отражающей изоляции. В зависимости от различных условий, общая эффективность такой изоляции повышается на 20…70 %. Повышение эффек-

тивности термоизоляции влечет за собой сокращение расходования энергоносителей на отопление и позволяет применять утеплители меньшей толщины, что позволяет использовать их в узких местах.

Фольгированная поверхность является хорошей защитой от проникновения влаги и водяных паров, что позволяет обойтись без дополнительного гидроизоляционного слоя. Фольга является хорошей защитой от проникновения мельчайших частиц материалов ограждающей конструкции в пространство помещения, что улучшает экологические свойства. Кроме того, фольгированные утеплители являются хорошими шумоизоляторами.

Пенополиэтилен способен противодействовать сжимающим и растягивающим усилиям и выдерживать температуру до +85 °С. Поэтому отражающая изоляция на основе пенополиэтилена может применяться в помещениях с повышенными температурами. Добавление в состав антипиренов повышает устойчивость пенополиэтилена к высоким температурам и препятствует воспламенению.

Монтаж пенополиэтилена не требует особых профессиональных навыков. При необходимости он может быть легко демонтирован и использован повторно. Пенополиэтилен обладает высокой упругостью и эластичностью, что позволяет использовать его в самых сложных участках. При монтаже отражающую изоляцию необходимо располагать слоем фольги в более теплую сторону. Швы между полотнами пенополиэтилена заклеиваются фольгированным скотчем. Утеплитель можно крепить к ограждающей конструкции любым способом, но без нарушения целостности материала.

Для эффективного действия изоляции необходимо организовать воздушный зазор между поверхностью фольги и ближайшей поверхностью финишной отделки. Он способствует проветриванию алюминиевого покрытия и снижает вероятность возникновения конденсата. Отсутствие конденсата на поверхности фольги заметно снижает коррозионные процессы и увеличивает эксплуатационный срок материала. По своим теплоизоляционным свойствам отражающая изоляция эффективней традиционных теплоизоляционных материалов: пенополистирола в 4 – 8 раз, минераловатных плит в 4 – 12 раз и пенобетонов в 12 – 24 раз [2, 3].

Список используемых источников.

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) от 23.11.2009.

2. Энергосбережение и отражающая изоляция пенофол [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.regent-stroy.ru/statii/energosberezhenie-i-otrazhayushaya-izolyatsiya-penofol/.

3. Рогов, И. В. Исследование температурных полей в ограждающих конструкциях в системе COMSOL / И. В. Рогов, Д. Г. Бородавкин, С. С. Никулин // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах: тезисы докладов 2-ой Международной конференции с элементами научной школы. – 2015. – С. 235-237.

# ОНТОЛОГИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Мокрозуб В. Г., Попов А. В, Мокрозуб В. А.**
***Тамбовский государственный технический университет***
***mokrozubv@yandex.ru***

Основными этапами конструирования технологического оборудования являются:

– структурный синтез. Определение структуры проектируемого объекта на основании ИМ для определения структуры. Результат – перечень элементов, из которых состоит конструируемый объект, и связи между элементами;

– параметрический синтез. Определение характеристик (свойств) элементов, конструируемого объекта.

В основе структурного синтеза содержится И–ИЛИ дерево, обработка которого позволяет получить структуру проектируемого объекта (рисунок 1).

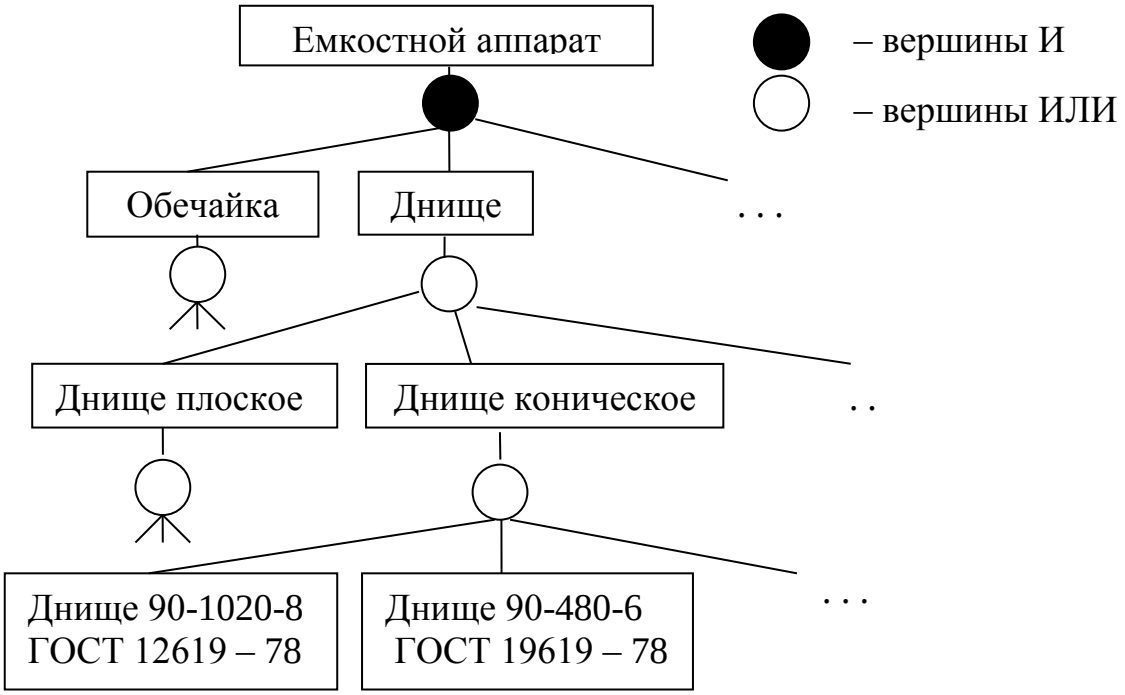



Рис. 1. Фрагмент И–ИЛИ дерева емкостного аппаратов.

Обработка дерева может осуществляется, с помощью правил вида «Если … то …». Например: «Если расположение емкостного аппарата «между этажами», то опоры – «лапы»;

Части «то» правил представляют вершины И–ИЛИ дерева. Части «если» – таксономия (дерево) функций и условий эксплуатации оборудования. Таким образом, множество правила выбора элементов представляет собой неориентированный ультраграф, ребра которого включают вершины И–ИЛИ дерева (вершины приемники) и вершины дерева функций и условий эксплуатации оборудования (вершины источники).

Обозначим $O=(OV,OR)$ – И–ИЛИ дерево оборудования, $OV=\{ov_i, i=0..I\}$ – множество элементов оборудования, $OR=\{or_{km}, k\in 0..I, m\in 0..I, k\neq m\}$ – связи типа класс–подкласс, например, «опора – опора лапа».

$U=(UV,UR)$ – таксономия функций и условий эксплуатации оборудования, $UV=\{ov_j, j=0..J\}$ – множество функций и условий эксплуатации оборудования, например, функция – «перемешать», условия эксплуатации – «среда в аппарате склонна к образованию осадка», $UR=\{ur_{km}, k\in 0..J, m\in 0..J, k\neq m,\}$ – связи типа класс–подкласс, например «перемешивание – интенсивное перемешивание».

$G=(GV,GR)$ – ультраграф связей вершин И–ИЛИ дерева элементов $OV=\{ov_i, i=0..I\}$ и вершин дерева функций и условий эксплуатации $UV=\{uv_j, j=0..J\}$, $GV=OV\cup UV$ – множество вершин ультраграфа.

$GR=\{gr_k, k=1..K\}$ – множество ребер ультраграфа, $gr_k(Y_k)$ – $k$-тое ребро гиперграфа, $Y_k$ – множество вершин инцидентных $k$-му ребру, $Y_k\subset GV, Y_k=\{ov_l, UV1\}, ov_l\in OV$ – вершина – элемент оборудования, $UV1\subset UV$ – множество вершин из таксономии функций и условий эксплуатации оборудования, $UV1=\{uv_c, c\in J1\subset J\}$.

Таким образом, ребро ультраграфа, представляющее правило (продукцию) вида «Если …, то», формально запишется как $\exists \bigcap_{c\in J1\subset J} uv_c \Rightarrow ov_l$.

Представленная онтология используется авторами при разработке системы автоматизированного проектирования многоассортиментных химических производств [1–3].

Список используемых источников.

1. Мокрозуб, В. Г. Постановка задачи разработки математического и информационного обеспечения процесса проектирования многоассортиментных химических производств / В. Г.Мокрозуб, Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 2. – С. 252-254.

2. Мокрозуб, В. Г. Системный анализ процессов принятия решений при разработке технологического оборудования / В. Г. Мокрозуб, Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // Вестник Тамбовского государственного технического университета – 2017. – Т. 23. – № 3. – С. 364-373.

3. Мокрозуб, В. Г. Программное обеспечение автоматизированных систем размещения объектов в пространстве, инвариантное к предметной области / В. Г. Мокрозуб, К. В. Немтинов, К. А. Шаронин // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. – 2012. – № 3. – С. 11 – 20.

# ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГОТОВКИ ПРИ РАВНОКАНАЛЬНО-УГЛОВОМ ПРЕССОВАНИИ*

**Ахунова А. Х.[1], Валеева А. Х.[1, 2], Валеев И. Ш.[1, 2]**
[1]*Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа*
[2]*Башкирский государственный университет, Уфа*
akhunova_a@mail.ru

В настоящее время для получения ультрамелкозернистой структуры в металлах и сплавах при обработке металлов давлением широкое применение нашел метод равноканально-углового прессования (РКУП). Данный процесс характеризуется сложным напряженно-деформированным состоянием (НДС) материала, на которое влияет целый ряд факторов, таких как трение на контактных поверхностях заготовки и матрицы, угол сопряжения каналов матрицы, количество переходов, геометрия матрицы и т.д. В процессе РКУП достигаются значительные пластические деформации, что может вызвать разрушение заготовки. Одним из методов, позволяющих избежать этого, является использование при РКУП противодавления. Приложение противодавления позволяет более качественно заполнять каналы матрицы, при этом сохраняя исходную форму заготовки и уменьшая трещинообразование на поверхности материала. Достоверное представление о распределении НДС материала при нагружении помогает не только понять особенности протекания процесса, но и оценить вероятность разрушения заготовки. При решении этой задачи значительную помощь может оказать конечно-элементное моделирование.

Данная работа посвящена определению влияния скорости противодавления при моделировании процесса РКУП в программном продукте DEFORM-2D, на прогнозирование разрушения заготовки.

Методика компьютерного моделирования

Возможность разрушения прутка оценивали с помощью встроенного в программу DEFORM-2D критерия разрушения Кокрофта-Лэтэма, который является показателем предельной деформируемости материала, и рассчитывается по формуле:

$$D = \int_0^{\bar{\varepsilon}} \frac{\sigma^*}{\bar{\sigma}} d\bar{\varepsilon},$$

где $\bar{\varepsilon}$- накопленная пластическая деформация, $d\bar{\varepsilon}$- приращение накопленной деформации, $\sigma^*$- максимальное главное растягивающее напряжение, $\bar{\sigma}$- интенсивность напряжений. Разрушение материала наступает в момент, когда показатель поврежденности $D$ достигает предельного значения $D_{\text{пр}}$.

Деформации подвергали пруток квадратного поперечного сечения 9,7x9,7 мм, длиной 60,0 мм. В качестве материала прутка рассматривали баббит Б83 с размером частиц -фазы 250 мкм [1]. Прессование осуществляли при комнатной температуре со скоростью давления $v_1 = 1$ мм/мин и скоростью противодавления $v_2$ в диапазоне от 0,12 до 0,24 мм/мин. Пруток деформировали за один проход. Оснастка для РКУП представляла собой матрицу с вертикальным и горизонтальным каналами, пересекающимися под углом 90°.

При решении задачи деформируемый материал (пруток) считали упруго-пластическим. Матрицу и пуансоны считали абсолютно жестким телом. Показатель трения по Зибелю принимали равным 0,2. При проведения моделирования процесса РКУП варьировали предельные значения критерия $D_{\text{пр}}$ в интервале от 0,1 до 0,7.

Результаты моделирования

В работах [2-3] с использованием компьютерного моделирования было установлено, что баббит Б83 при РКУП со скоростью прессования 1 мм/мин без противодавления, разрушается для всех рассмотренных предельных значений критерия $D_{\text{пр}}$. Результаты моделирования при варьировании скорости противодавления v2 показали, что для скоростей противодавления, больших 0,12 мм/мин, прутки при деформировании не разрушаются. При $v_2 = 0{,}12$ мм/мин прутки разрушаются независимо от величины $D_{\text{пр}}$.

На рис.1. представлены результаты моделирования для $D_{\text{пр}} = 0{,}7$ и трех значений скоростей противодавления $v_2$.

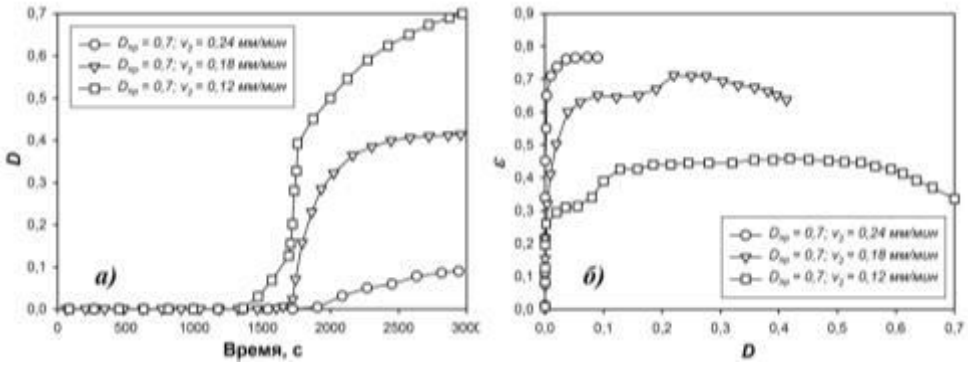



Рис. 1. Результаты моделирования РКУП для значения $D_{\text{пр}} = 0{,}7$ и различных значениях $v_2$: а) показатель критерия разрушения $D$ как функция от времени; б) значения степени деформации как функции от $D$. Данные взяты в середине прутка.

Отметим, что для всех рассмотренных значений $D_{\text{пр}}$ в поведении полученных зависимостей «время – $D$» сохраняются следующие тенденции: 1) чем меньше скорость противодавления, тем выше значения критерия разрушения в процессе деформации; 2) зависимости, полученные при $v_2 > 0{,}12$, не превышают предельного значения критерия независимо от принятой при моделировании величины $D_{\text{пр}}$ (рис. 1, а).

По зависимостям «$\varepsilon - D$» (рис. 1, б) можно сделать вывод, что чем выше скорость противодавления, тем больше степень деформации, достигаемая в процессе РКУП, и меньше значение критерия разрушения $D$. Данная тенденция также сохраняется для всех значений $D_{\text{пр}}$.

РКУП с противодавлением обеспечивает более равномерное распределение деформаций. По эпюрам распределения сдвиговых деформаций (рис. 2), полученным при $D_{\text{пр}} = 0{,}7$ и различных скоростях противодавления, видно, что неравномерность распределения деформации сдвига увеличивается с уменьшением скорости противодавления, что в конечном итоге приводит к разрушению прутка при скорости противодавления, равной 0,12 мм/мин для всех $D_{\text{пр}}$.

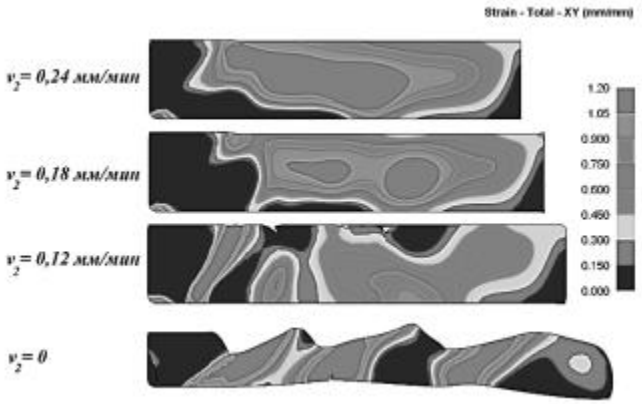



Рис. 2. Эпюры распределения сдвиговых деформаций
в прутках после РКУП, полученных при значениях $D_{\text{пр}} = 0{,}7$
и различных скоростях противодавления $v_2$.

Выводы:

Моделирование процесса РКУП заготовки из баббита Б83 позволяет сделать следующие заключения:

- наличие противодавления со скоростью выше 0,12 мм/мин значительно снижает неоднородность пластической деформации в поперечном сечении заготовки;
- для получения заготовки с низкой степенью поврежденности необходимо использовать противодавление со скоростью не ниже 0,12 мм/мин.

**Работа выполнена в рамках государственного задания ИПСМ РАН (Рег.No АААА-А17-117041310218-5) / The present work was accomplished according to the state assignment of IMSP RAS (Reg.No АААА-А17-117041310218-5).*

Список используемых источников.

1. Механические свойства баббита Б83 с различной структурой при осадке. / А. Х. Валеева, И. Ш. Валеев, А. Х. Ахунова // Письма о материалах. – 2017. – Т. 7. – № 3. – С.292-295.

2. Прогнозирование разрушения баббита Б83 при равноканальном угловом прессовании методом компьютерного моделирования. / А. Х. Валеева, И. Ш. Валеев, А. Х. Ахунова // Письма о материалах. – 2018. – Т.8. – № 2. – С.165-168.

3. Расчет параметра поврежденности при равноканальном угловом прессовании баббита Б83 с использованием компьютерного моделирования / А. Х. Ахунова, А. Х. Валеева, И. Ш. Валеев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2017. – Т. 14. – № 3. – С. 322-326.

# РАВНОВЕСИЕ РАБОЧИХ ТЕЛ В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

**Сыромясов А. О.[1], Попов А. И.[2], Головенко М. В.[1]**
***[1]Национально-исследовательский***
***Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, Саранск***
***[2]Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Востребованность современным промышленным производством различных типов наноструктурированных материалов и их относительно высокая стоимость обуславливают поиск новых технических и технологических решений их получения. С учетом перспектив использования углеродных наноматериалов представляет практический интерес их получение путем механического измельчения и активации в шаровых мельницах. Поиск оптимальных конструктивных и режимных параметров детерминирует необходимость математического моделирования протекающих в мельницах процессов [1, 2]. Решение подобных задач является развитием творческих олимпиадных задач [3, 4].

Рабочие тела (цилиндры радиуса r и массы m) прокатываются по внутренней поверхности мельницы, которая представляет собой цилиндр радиуса R с осью (центром) O. Далее через γ будем обозначать половину угла O1OO2, где O1 и O2–центры роликов.

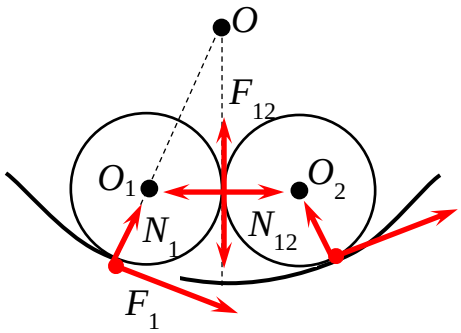



Рис. 1. Схема расположения тел в шаровой мельнице.

В произвольный момент времени на цилиндр с центром O1 действуют сила тяжести G1, приложенная к его центру, силы нормальной реакции мельницы N1 и трения о ее поверхность F1, а также реакция второго цилиндра N21 и трения о него F21 (не подписаны на рисунке). Аналогично, на ролик с центром O2 действуют силы тяжести G2, нормальной реакции N2и трения F2 (не подписаны), реакции первого цилиндра N12 = N21и трения о него F12 = F21. Коэффициенты трения роликов об обечайку и друг о друга одинаковы и равны f0, ускорение свободного падения g направлено вертикально вниз.

До изучения динамики рабочих тел внутри мельницы целесообразно выяснить, какой тип равновесия – предельное или непредельное – наблюдается перед началом движения. Первый характеризуется равенствами:

$$F1 = f0N1,\ F2 = f0N2, F21 = f0N21, \qquad (1)$$

а второй – соответственно, неравенствами

$$F1 < f0N1,\ F2 < f0N2,\ F21 < f0N21. \qquad (2)$$

Выпишем уравнения равновесия роликов в проекции на касательную к поверхности мельницы и нормаль к ней. Кроме того, приравняем к нулю суммы моментов сил, действующих на тела, относительно точек O1 и O2:

$$\begin{cases} F_1 - N_{21}\cos\gamma + F_{21}\sin\gamma = -mg\sin\gamma, \\ N_1 - N_{21}\sin\gamma - F_{21}\cos\gamma = mg\cos\gamma, \\ F_1 r - F_{21} r = 0, \\ F_2 + N_{12}\cos\gamma - F_{12}\sin\gamma = mg\sin\gamma, \\ N_2 - N_{12}\sin\gamma + F_{12}\cos\gamma = mg\cos\gamma, \\ F_2 r - F_{12} r = 0. \end{cases} \qquad 3)$$

С учетом того, что N12 = N21 и F12 = F21, решение системы (3) имеет вид:

$$F_1 = F_2 = 0, \qquad F_{21} = 0, \qquad N_1 = N_2 = \frac{mg}{\sin\gamma}, \qquad N_{21} = mg\,\mathrm{tg}\,\gamma.$$

Как и следовало ожидать, распределение сил симметрично относительно биссектрисы угла O1OO2. Кроме того, система (1), в отличие от системы (2), оказывается не выполненной, а значит, в начальный момент времени система находится в состоянии непредельного равновесия. Отсюда следует, что еще некоторое время после начала движения сила трения не будет достигать своего предельного значения, а ролики будут перемещаться, не проскальзывая по поверхности мельницы и друг по другу.

Рассмотренные аспекты состояния рабочих тел в шаровой мельнице будут использованы для моделирования различных вариантов движения при различном количестве роликов, что позволит повысить интенсивность измельчения графита.

Список используемых источников.

1. Сыромясов, А. О. Исследование плоского движения одиночного шарика внутри шаровой мельницы / А. О. Сыромясов, А. И. Попов, В. Ф. Першин // Журнал Средневолжского математического общества. – 2017. – Том 19. – № 2. – С. 117-125.

2. Жумагалиева, Г. Б. Движение стержней в поперечном сечении гладкого вращающегося барабана / Г. Б. Жумагалиева, В. Ф. Першин, А. М. Воробьев // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: матер. межд. научно-практ. конф. – СП-б., 2018. – С. 82-84.

3. Попов, А. И. Теоретическая механика. Сборник задач для творческого саморазвития личности студента: учебное пособие / А. И. Попов. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 188 с.

4. Попов, А. И. Творческие задачи динамики: учебное пособие / А. И. Попов. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 80 с.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕНЧУРНОГО КАПИТАЛА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

**Попова И. Ю., Дмитриева Е. Л.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Сегодня перспективы развития любой страны напрямую зависят от научно-технического сектора её экономики. Это правило целиком справедливо и по отношению к России. Её переход из статуса «ресурсозависимого» государства к Hi-Tech экономике стал возможным благодаря модернизации рыночного потенциала и развитию передовых технологий.

В настоящее время в России ощущается острая нехватка инвестиций, необходимых для реконструкции ряда отраслей промышленности и большей части ее инфраструктуры на новой, высокотехнологичной основе. Первостепенное значение в решении указанной проблемы отводится венчурному капиталу, вкладываемому преимущественно в высокотехнологические инвестиционные проекты.

Венчурные инвестиции заполняют пустоту между такими источниками средств для инноваций, как корпорации и государственные органы с одной стороны, и частные инвесторы с другой.

Можно сказать, что венчурное инвестирование в Россию было привнесено извне. Его возникновению способствовали не исторически сложившиеся процессы, а продуманные политико-административные решения, которые позволили реализоваться частной инициативе бизнесменов. Этот шаг был сделан государством для того, чтобы привлечь столь необходимые инвестиции, без которых трансформация экономики России протекала бы слишком медленно и неэффективно. [1]

Весьма быстрое развитие системы венчурного инвестирования, в том числе в высокотехнологичные проекты, обусловлено весьма высокой экономической эффективностью деятельности венчурных фондов.

На сегодняшний день используется значительное количество моделей, схем и методов венчурного инвестирования наукоемкого предпринимательства. [2]

Существуют частные, частно-государственные и корпоративные фонды (инвестируют в интересах корпораций-учредителей). [3]

По итогам 2017 года суммарная капитализация российских венчурных и private equity (инвестирующих в проекты на поздних стадиях) фондов увеличилась впервые с 2013-го, составив $21,2 млрд против $19,9 млрд в 2016-м. Такие данные приводит Российская ассоциация венчурного инвестирования (РАВИ). До показателя 2013 года, впрочем, еще далеко — тогда он составлял

$26,3 млрд. Из общей суммы на венчурные фонды (их уже почти две сотни) приходится $4,07 млрд ($3,78 млрд в 2016-м).

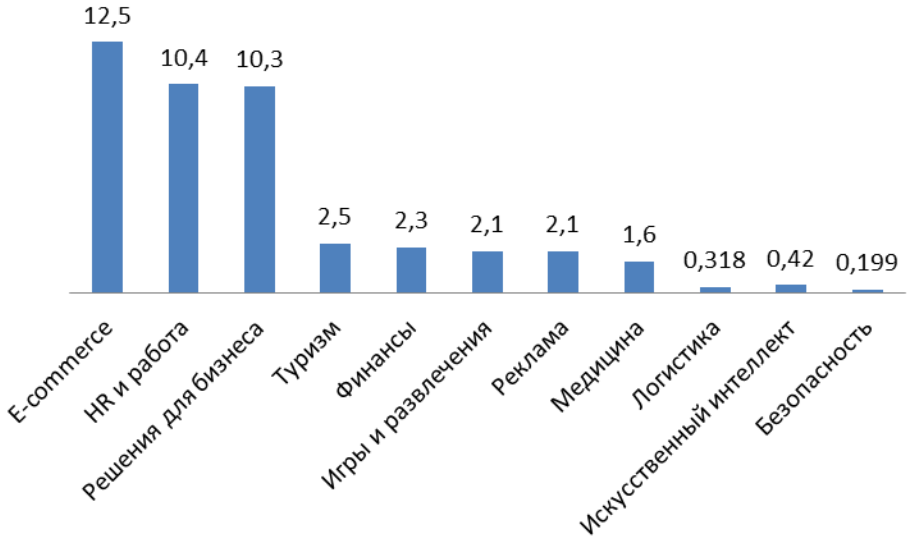



Рис. 1. Структура рынка венчурных инвестиций.

Суммарный объем инвестиций за год увеличился на 62%, до $1,31 млрд, при этом 58% вложений обеспечил государственный Российский фонд прямых инвестиций. Венчурные инвестиции составили всего $125 млн (как и в 2016-м, на пике в 2012 году было $376 млн). По числу вложений лидирует Фонд развития интернет-инициатив, осуществивший 43% сделок на рынке. Наметилось изменение структуры инвестиций — в ИТ-проекты было направлено 58% вложений всех венчурных фондов (77% в 2016-м), доля проектов в сфере промышленных технологий выросла с 8% до 22%.

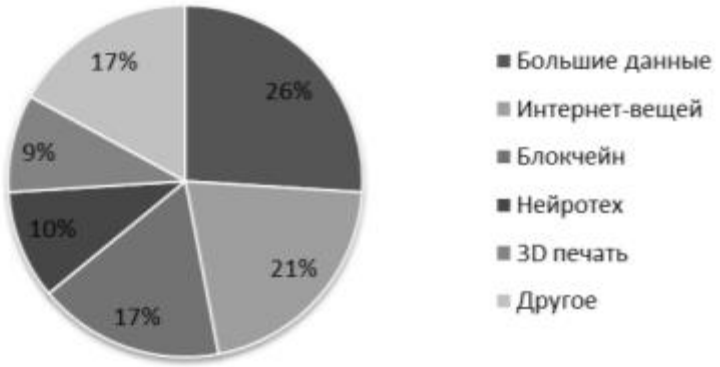



Рис. 2. Наиболее популярные направления венчурного инвестирования.

Инвестиции частных венчурных фондов за год, напротив, снизились со $101 млн до $87 млн (капитал таких фондов вырос с $2,89 млрд до $3,18 млрд, их число – со 124 до 140). 73% частных фондов по-прежнему инвестируют только в ИТ и лишь 8% ориентированы на реальный сектор (среди фондов с госучастием таких 25%).

Основными тенденциями венчурных фондов стал рост числа новых фондов и активных фондов. Растет интерес корпораций к венчурному рынку, компании создают собственные акселераторы и заключают партнерства. За-

рубежные инвесторы проявляют интерес к российским стартапам в основном через акселераторы. Отмечается смещение локальных фондов на посевную стадию как в сделках, так и в капитале, и рост ангельского сегмента, в котором было заключено 177 сделок.

В России пока нет системных мер по стимулированию коммерциализации инноваций, а ее показатели, включая доли экспорта технологий и венчурных инвестиций в ВВП и средний чек венчурной сделки, растут крайне скромными темпами.

Одна из ключевых проблем — ограниченное число привлекательных для инвестирования проектов, причем их качество снижается. Возможности для выходов инвесторов из проектов ограничены, а стратегические инвесторы в РФ пассивны на рынке венчурных инвестиций. Проблемой стало и отсутствие наработанной практики правоприменения и регулирования различных аспектов венчурного бизнеса.

Чтобы переломить ситуацию, эксперты предлагают комплекс мер: в частности, внедрить в инвестиционную практику компаний с госучастием покупку долей высокотехнологичных компаний и снять ограничения по привлечению в отрасль средств пенсионных фондов, страховых компаний и банков. Также рекомендуются налоговые льготы для акселераторов и бизнес-ангелов и преференции для бизнеса при условии финансирования научно-технологических проектов.

Список используемых источников.

1. https://equity.today/venchurnye-fondy-v-rossii.html - Equity.today Портал о мировых финансовых рынках.

2. Плотников Д.А. Инвестирование инновационной деятельности наукоемких высокотехнологичных предприятий: монография. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 289 с.

3. http://www.tadviser.ru/index.php.

# НЕОБХОДИМОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

**Коробова О. В., Швецова Д. А.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Для инвестора, принимающего инвестиционное решение, важно определить, в какой отрасли с наибольшей эффективностью может быть осуществлен конкретный инновационный проект, какие направления инноваций будут иметь наилучшие перспективы, и обеспечат высокий доход на вложенный капитал.

Выбор инвестором места расположения конкретного объекта зависит от множества факторов. Их правильная и объективная оценка предопределяет эффективность реализации и эксплуатации проекта на всех стадиях его жизненного цикла.

Инвестиционная привлекательность предприятия – это совокупность характеристик, которые показывают, насколько эффективно вкладывать денежные средства в дальнейшее развитие хозяйствующего субъекта. Преимущественным показателем есть фактор получения стабильного дохода на протяжении длительного периода.

Используются следующие методы для оценки инвестиционной привлекательноси предприятия:

1) метод дисконтирования денежных потоков. Плюс: можно определить потенциал предприятия, но минусом считается тот фактор, что полученным результатом можно воспользоваться лишь в ближайшее время, так как постоянно меняется специфика спроса на рынке, его конъюнктура, законодательство, растут цены;

2) нормативно-правовой метод. Если говорить о нашей стране, то этот недостаточно используется. В основном данный метод используется в случае банкротства организации, поэтому метод не помогает точно определить инвестиционную привлекательность;

3) метод анализа на основе внешних и внутренних факторов. Положительным моментом считается анализ инвестиционной привлекательности организации на основе внутренних и внешних факторов, то есть можно посмотреть на предприятие с разных ракурсов. Метод имеет также недостатки, так как второй, т.е. базируется на основе экспертизы, анкетирования и опросов, что в свою очередь дает не точную оценку.

Таким образом, исследование методов оценки инвестиционной привлекательности предприятия приводит к следующему выводу. Все разработанные в отечественной науке и практике методы не лишены недостатков и могут привести к неодинаковым результатам. Однако именно разнородность выявленных недостатков при использовании методик в комплексе и взаимосвязи обеспечивает комплексную оценку инвестиционной привлекательности предприятия.

Список используемых источников.

1. Катасонов, В. Ю. Инвестиционный потенциал хозяйственной деятельности. Макроэкономический и финансово - кредитный аспекты. – М.: МГИМО (У) МИД России, 2012. – 320 с.

2. Орлова, Е. Н. Инвестиционные процессы в России / Е. Н. Орлова. – М.: КомКнига, 2016. – 184 с.

# ПРИНЦИПЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

**Ворожейкин В. С.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Необходимость инновационного обновления, усиленная последствиями экономического кризиса, сложной внешнеполитической ситуацией и реализацией стратегии импортозамещения, предопределяет изменения в механизме управления предприятиями реального сектора экономики. Дотационный характер региона и высокий уровень риска для доминирующего в области агропромышленного комплекса детерминируют повышенное внимание к развитию машиностроительного кластера, и, прежде всего, его составляющей, обеспечивающей формирование шестого технологического уклада на основе нанотехнологий и биотехнологий. Становление наноиндустрии стимулирует создание и производство новых технических объектов и систем, обеспечивающих выпуск наноструктурированных материалов в промышленном масштабе и с приемлемым качеством для использования; это в свою очередь может дать импульс различным отраслях народного хозяйства – от строительства до химических производств [1]. Повышение эффективности деятельности предприятий машиностроения (как базы для выпуска реакторов и функционализирующих систем в наноиндустрии) возможно на основе выявления проблемных моментов и достижения необходимой степени адаптивности используемых систем управления [2, 3].

На основе выполненного анализа деятельности предприятий химического машиностроения Тамбовской области выявлены специфические особенности управления, влияющие на протекающие инновационные процессы и темпы выпуска продукции для наноиндустрии:

- интеграционная направленность управления инновационной деятельностью в рамках системы научно-исследовательская организация – промышленное предприятие – учреждения образования, позволяющая решать все проблемы создания и использования на благо общества оборудования (от прикладных научных исследований по синтезу углеродных наноструктурированных материалов и их функционализации, опережающей подготовки кадров и обновления основных производственных фондов предприятий до выпуска промышленных технологических линий и организации производства новых материалов);
- согласование инновационной политики с системой подготовки кадров и общественными институтами, способствующими преодолению психологической инерции у потенциальных покупателей;
- совмещение в деятельности научных организаций-партнеров прикладных исследований по совершенствованию продукции для конкретных

проектов и заказчиков, с фундаментальными работами в области нанотехнологий;

- монопольных характер производства продукции вследствие её уникальности, основанной на передовых научных исследованиях организаций-партнеров машиностроительного предприятия;

- потребность в гармоничном сочетании инновационных и стационарных технологических процессов, которые не только обеспечивают финансовую стабильность предприятия, но и способствуют снятию социального напряжения в обществе вследствие стабильного дохода работников предприятия;

- возможность диверсификации производства, выход и закрепление на новых сегментах рынка, не характерных в настоящее время для предприятий химического машиностроения;

- развитие инжиниринговой составляющей в деятельности машиностроительного предприятия, распределение работ и заказов по региональным представительствам;

- высокая степень риска при прогнозировании достижений в области нанотехнологий, что приводит к значительной степени неопределенности в управлении современными разработками; необходимость финансового управления качеством [4];

- потребность в расширении инвестиций в сферы деятельности, определяющие шестой технологический уклад, и ограниченная возможность (и желание) финансово-кредитных организаций участвовать в качестве инвесторов при реализации нанотехнологических инновационных проектов.

Для повышения результативности и оперативности деятельности машиностроительных предприятий, связанных с наноиндустрией, необходимо развивать единое информационное пространство планирования и управления машиностроительным предприятием. Данное пространство включает в себя научную, производственную, общественно-экономическую среды, организационную и социальную среды машиностроительного предприятия, а также внутреннюю среду каждого работника данной сферы и процессы их взаимодействия.

Наибольшее значение в контексте повышения эффективности производства продукции для нанотехнологий имеет организационная среда, сложившаяся на данном предприятии, правила делового этикета и используемые технологии документооборота, принятия и реализации управленческих решений, сопровождения всех технологических процессов. В процессе выработки корректирующих мероприятий по системе управления необходимо особое внимание уделить проявлению эго-идентичности каждого человека и неосознанное влияния группой идентичности.

На основе использования цифровых технологий осуществляется разработка единого информационного пространства планирования и управления деятельностью машиностроительного предприятия, которая включает стадии:

- определение структуры научных, исследовательских, конструкторских и технологических документов, механизмов их взаимодействия и корректировки, маршрутов движения, влияние личности, коллектива и общества на скорость и результативность процессов управления;

- определение оптимального (и с позиций функций, и в контексте оплаты труда) программного обеспечения, позволяющего учесть специфику продукции для наноиндустрии и этапы её жизненного цикла, а также использовать найденные ранее технические решения в других областях;

- проектирование организационной системы и обеспечение методического сопровождения повышения квалификации персонала и его саморазвития и информального образования;

- проектирование и разработку информационно-аналитической системы и процедур повышения скорости обмена информацией при разработке инновационной политики [5].

Построение системы управления высокотехнологичным машиностроительным предприятием позволит снизить себестоимость нанотехнологической продукции и повысить её маркетинговую привлекательность, оперативно удовлетворять динамично меняющиеся потребности общества в новых материалах и способах физического действия, а также познавательные потребности и нацеленность на самовыражение.

Список используемых источников.

1. Панина, Т. И. Эффективность применения комплексной наномодифицирующей добавки на основе цеолитов в строительных материалах / Т. И. Панина, Ю. Н. Толчков, А. Г. Ткачев, З. А. Михалева, Е. В. Галунинин, Н. Р. Меметов, А. И. Попов // Нанотехнологии в строительстве. – 2016. – Том 8. – № 5. – С.116-132.

2. Романенко, А. В. Постановка задачи оптимизации деятельности предприятия машиностроительного кластера / А. В. Романенко, В. Л. Пархоменко, А. И. Попов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2014. – № 3. – С. 168-171.

3. Кузнецова, Т. С. Проблемы и перспективы инновационного развития предприятий машиностроительного кластера / Т. С. Кузнецова, А. И. Попов, В. А. Батуров // Актуальные вопросы экономики, менеджмента и инноваций: материалы Междунар. научно-практич конф. – Нижний Новгород, 2014. – С. 343-345.

4. Романенко, А. В. Особенности построения затратной модели управления качеством в наноиндустрии / А. В. Романенко, А. И. Попов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2012. – № 4. – С. 136-139.

5. Романенко, А. В. Об информационных основах принятия решений при управлении хозяйствующим субъектом / А. В. Романенко, А. И. Попов, В. Л. Пархоменко // Наука и бизнес: пути развития. – 2013. – № 8. – С. 134-136.

# ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ В СФЕРЕ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Калюжная Е. С.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***

Инновационный менеджмент представляет собой систему управления инновациями, инновационным процессом и отношениями, которые возникают и происходят в процессе внедрения инноваций.

Управление инновациями (инновационный менеджмент) – это новое направление управленческой деятельности в таких сферах деятельности как: научно-техническая, производственно-технологическая и сфера высоких технологий .

Инновационный менеджмент базируется на следующих основополагающих моментах (рис. 1):

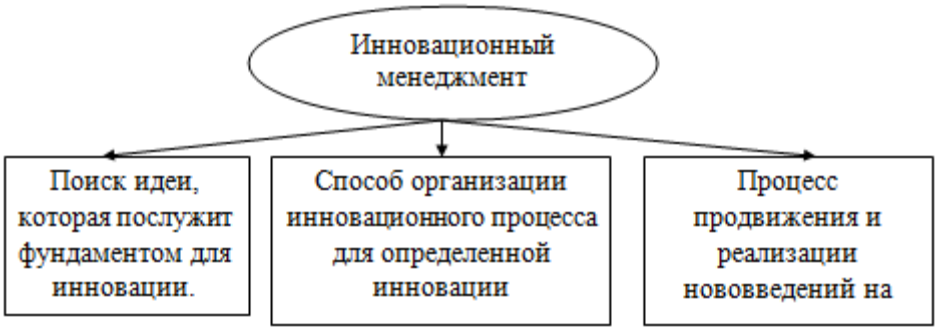



Рис. 1. Основополагающие моменты инновационного менеджмента.

Инновационный менеджмент содержит в себе стратегию и тактику управления:

Стратегия позволяет выбрать направление и метод применения средств, что бы достигнуть поставленной цели. После достижения поставленной цели стратегия прекращает свое существование, на ее смену приходит тактика.

Тактика представляет собой определенные методы либо приемы для претворения в жизнь намеченной цели уже в определенных конкретных условиях. Задачей тактики инновационного менеджмента можно назвать искусство выбора оптимального решения и приемов достижения этого решения, наиболее выгодных в данной ситуации.

В современной экономике знаний существенно растет роль менеджмента высоких технологий.

Термин «высокие технологии» крайне относителен и в настоящее время часто употребим для принципиально новых технологий. Высокие технологии представляют собой самые прогрессивные и наукоемкие новые разработки современного мира. К таким технологиям относят любое производство, которое задействует большой объем сложных материальных ресурсов и наукоемкой информации. На сегодняшний день высокие технологии охватывают большинство областей экономики мирового уровня.

Инновационный менеджмент должен обеспечивать практическую реализацию достижений науки, техники и технологий. В связи с чем перед ним стоят следующие основные задачи:

- исследование рынка для нового продукта и услуги;

- прогноз длительности стадий жизненного цикла нового продукта;
- определение способов продажи нового продукта;
- исследование разнообразия рынка ресурсов;
- поиск контрагентов по проекту создания нового продукта;
- анализ патентной «чистоты» нового продукта, способов ее обеспечения, а так же защита нового продукта;
- комплексный анализ затрат, цены, объема выпуска и сбыта планируемой к производству новой продукции;
- оценка эффективности проекта и его инвестиционной привлекательности;
- оценка рисков, которые связаны с проектом.

Решение перечисленных выше задач в инновационном менеджменте выполняется в процессе осуществления им своих функций:

- Разработка инновационной стратегии предприятия - определение перспективных направлений развития для предприятия в плане создания новых продуктов, технологий и нововведений.
- Разработка стратегий формирования инвестиционных ресурсов - определение потребности предприятия в ресурсах для создания высоких технологий, так как это требует значительных вложений.
- Поиск идей и отбор инновационных проектов для реализации.
- Формирование и оптимизация портфеля инновационных проектов.
- Планирование и управление реализацией инновационных программ.
- Обеспечение защиты интеллектуальной собственности и научно-технической кооперации.

Инновации требуют инновационных подходов к управлению. Сегодня это значит использовать все возможные новаторские идеи окружающей среды и способность, осуществляя их, привести свой бизнес к успеху. Открытые инновации признают новой эрой создания, продвижения и внедрения нововведений в условиях глобального мира[0].

Список используемых источников.

1. Инновационный и проектный менеджмент: учебное пособие / И. С. Богомолова, С. В. Гриненко, Е. С. Едалова, Е. К. Задорожняя, Ю. В. Развадовская, Т. В. Седова, А. Ю. Федотова, А. В. Ханина, И. К. Шевченко. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2017. – 181 с.

2. Инновационный менеджмент: учебное пособие / В. П. Вооробьев, В. В. Платонов, Е. М. Рогова, Н. Н. Тихомиров. – СПб: Изд-во ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет экономики и финансов», 2016. – 281 с.

3. Кутеева, М. В., Проблемы инновационного менеджмента в России на переходном этапе [Электронный ресурс]: – Загл. с экрана. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-innovatsionnogo-menedzhmenta-v-rossii-na-perehodnom-etape

4. Олейник-Гарбуз, Ю. А. Эволюция принципов инновационного менеджмента [Электронный ресурс]: – Загл. с экрана. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-printsipov-innovatsionnogo-menedzhmenta

# ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ДОМОВ

**Ермолаева А. М., Парамонова Н. В., Хробак А. В.**
***Тамбовский государственный технический университет, Тамбов***
***eam201195mail.ru***

Развитие сферы ЖКХ идет в направление создания энергоэффективных домов с минимальным потреблением тепловой и электрической энергии. Дополнительным преимуществом энергоэффективности является повышение экологичности, так как снижается нагрузка на теплогенерирующие объекты. При этом повышение энергоэффективности является сложной задачей – решение, которой связано с применением новых инновационных материалов. К такому типу материалов следует отнести материалы для энергоэффективных домов с нулевым потреблением. Это теплоаккумулирующие материалы (ТМ). Теплофизический принцип работы ТМ – высокое потребление тепловой энергии при переходе из одного агрегатного состояния в другое, т.е. при нагреве ТМ на один градус, чтобы перейти из одного состояния в другое, требуется до восьми раз больше энергии, чем для нагрева без фазового перехода. ТМ можно использовать: в компьютерах, одежде, бытовых приборах, электротехнических изделиях. ТМ работает, как следящая система за суточными колебаниями температуры. В здании, где внутренняя отделка выполнена с применением ТМ температурные колебания смягчаются за счет поглощения избытков тепла с последующим тепловыделение в процессе охлаждения.

ТМ в гранулированном виде, с фирменным название Micronal, основаны на воске. Данную продукцию производит BASF. Аналогичный продукт Energian - производит фирма DuPont .

С добавлением Micronal выпускают газобетонные блоки, потолочные панели, отделочные панели под искусственный камень, а также Knauf PCM Smartboard – гипсокартон содержащий ТМ гранулы. «Температура плавления» гранул - 23 и 26 °С, устанавливает условную ось амплитуды температурных колебаний. Применяется для отделки стен и потолков. В помещении, где используется представленный материал, температурные колебания могут снижаются на 30%. Однако, материалы указанных производителей имеют высокую стоимость порядка 150$ за один лист гипсокартона. В этом отношение важное значение приобретает разработка нового поколения отечественных теплоаккумулирующих материалов [1-4].

В статье [5] описано практическое применение ТМ в системе регенеративного теплообмена. Применение ТМ в виде гранул нанесенных на спанбонд с разделением слоев бипланарной сеткой позволило в 2 раза увеличить

эффективность теплообменника по сравнению с металлическим регенеративным элементом, что позволило снизить температуру на вдохе до 40 °С.

Для основы разрабатываемой технологии энергосбережения могут быть использованы достижения нанотехнологий в сфере разработки инновационных материалов. Применяя эффективные подходы наномодификации возможно получить термоустойчивый фазопереходный материал в основе, которого будет парафин марки П2 с фторопластом, который предварительно диспергируется и переводится в форму эмульсии. Для модификации указанного композита будет использованы углеродные нанотрубки (УНТ) (серии «Таунит», ООО «НаноТехЦентр»). УНТ позволяют повысить термоустойчивость и увеличить теплопроводность композита, что будет способствовать увеличению скорости заряда/разряда тепловой энергией, а также более эффективному хранению. Полученный ТМ имеет широкий спектр применения в различных типах технологического оборудования с периодическим действием. Это в первую очередь варочные емкости, вакуумные сушильные установки, выпарные аппараты. Особое место ТМ могут занять в технологиях создания строительных материалов, используемых для внутренней отделки.

С точки зрения экономической рентабельности применение парафина, как базового материала позволяет сделать себестоимость не высокой, так как стоимость парафина находится на уровне 40-50 руб/кг. При этом фторопласт составляет 10% по массе парафина и УНТ 0,5% по массе всего парафин-фторопалстового композита. Для производства наномодифицированного парафин-фторопластового композита требуется лопастные смесители с возможностью поддержания нужного температурного режима и гранулятор. В этом отношение с учетом не дорогого сырья и возможности применения стандартного оборудования себестоимость ТМ не превысит 300 руб/кг и стандартный лист с ТА должен стоить с учетом введения нового материала на уровне 1500-2000 руб., что значительно дешевле зарубежного аналога(для которого стоимость равна 150$ за лист). Экономическая рентабельность производства готовых изделий с применением ТМ находится на уровне 115%.

Таким образом установлено, что существует рынок теплоаккумулиующих материалов на котором в основном присутствуют западные производители BASF, DuPont, Knauf, с высокой стоимостью продукции, что делает такую продукцию не доступной для массового сектора отечественного потребления. В этом отношение производство отечественных ТМ является перспективным и рентабельным. Инновационная технология производства ТМ позволяет быстро найти свой рынок сбыта. К дополнительным преимуществам энергосберегающих технологий на основе наномодифицированных ТМ следует отнести высокую стоимость нематериальных активов.

Список используемых источников.

1. Повышение энергоэффективности двухступенчатой КВИС растительного сырья / А. В. Щегольков, А. С. Зорин, Ю. В. Родионов, А. Б. Гриднев // Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства: сборник

научных трудов Международного научно-технического семинара, посвященного 75-летию со дня рождения К.А. Тимирязева, 2018. – С. 181-184.

2. Применение наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов для солнечных энергетических установок / А. В. Щегольков, А. В. Щегольков, И. О. Плотницкий // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – Т. 4. – № 40. – С. 46-52.

3. Исследование термической устойчивости наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов / А. В. Щегольков, А.В. Щегольков // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы IX Международной научно-инновационной молодёжной конференции, 2017. – С. 189-191.

4. Термоустойчивые наномодифицированные теплоаккумулирующие материалы / А. В. Щегольков, М. Н. Краснянский, А. Г. Ткачев // Графен и родственные структуры: синтез, производство и применение: материалы II Международной научно-практической конференции, 2017. – С. 394-396.

5. Shchegolkov, A. V. Regenerative heat exchanger based on graphene-modified paraffin for portable respiratory devices // Nano Hybrids and Composites. – 2017. – Т. 13. – С. 69.

Научное издание

# «СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА И ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ»

*Материалы X Международной научно-инновационной молодежной конференции*
*24 - 26 октября 2018 г.*

---

**Издательство ИП Чеснокова А.В.**

**392020, г. Тамбов, ул. О. Кошевого 14. Тел. (4752) 53-60-84.**

Подписано в печать 30.10.2018 г. Формат 60x84 1/8.
Объем – 23,8 усл. печ. л. Тираж 200 экз. Заказ № 612.