

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ
ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ**

**Сборник научных трудов
по материалам II Всероссийской молодежной конференции**

Саратов, 23-24 мая 2023 г.

Саратов 2023

УДК 62-4, 615.46, 539.5, 666.3
ББК 30.3
П 26

П 26 Перспективные материалы и высокоэффективные процессы обработки: сб. материалов II Всерос. молодежной конф., Саратов, 23-24 мая 2023 г. / под. общ. ред. д-ра. техн. наук, доцента А.А. Фомина. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2023. 350 с.
ISBN 978-5-7433-3575-6

В сборнике представлены материалы II Всероссийской молодежной конференции «Перспективные материалы и высокоэффективные процессы обработки», проходившей 23-24 мая 2023 г. в Саратовском государственном техническом университете имени Гагарина Ю.А. в соответствии с приказом СГТУ № 88-П от 14.02.2023 г. Основной задачей конференции являлось представление и обсуждение новейших научных результатов фундаментальных исследований и практических достижений в области материаловедения, медицинской техники и процессов обработки материалов.

Сборник предназначен для широкой аудитории читателей, в частности студентов, аспирантов и молодых ученых, интересующихся современными проблемами науки.

Одобрено
редакционно-издательским советом
Саратовского государственного технического университета
имени Гагарина Ю.А.

Организационный комитет:

д.т.н., доцент Фомин А.А.; д.т.н., с.н.с. Пичхидзе С.Я.;
д.т.н., профессор Таран В.М.; к.т.н. Решетникова О.П.;
д.ф.-м.н., профессор Вениг С.Б.; д.т.н. Мельникова И.П.;
к.ф.-м.н. Захаревич А.М.; к.ф.-м.н., доцент Скапцов А.А.;
к.т.н. Кошуро В.А.; к.т.н. Шумилин А.И.; к.т.н. Маркелова О.А.

*Ответственность за содержание и достоверность сведений,
представленных в материалах конференции,
сохранение корпоративной и государственной тайн возлагается на авторов*

УДК 62-4, 615.46, 539.5, 666.3
ББК 30.3

ISBN 978-5-7433-3575-6

© Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А., 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ФУРФУРИЛИРОВАНИЯ НА ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ И УГОЛ КОНТАКТА БЕРЁЗОВОГО ШПОНА Алексеева А.Д., Валеева А.Р.....	10
ГРАФЕН И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ Баранов А.В.	13
УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ. ПРОИЗВОДСТВО В РОССИИ Баранов А.В.	15
ПЕРЕДВИЖНАЯ СТАНЦИЯ СВЯЗИ Оспанов Б.Т.	18
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ТРЕХТОЧЕЧНОМ ИЗГИБЕ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ОБРАЗЦОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА FDM/FFF Беляева А.Д.....	21
НОВОЕ МЕТАСТАБИЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ В СИСТЕМЕ $Bi_2O_3-GeO_2$ Бермешев Т.В., Залого А.Н., Соловьев Л.А., Бундин М.П., Хлыстов Д.В., Мазурова Е.В., Ворошилов Д.С.....	25
СИНТЕЗ $BiFeO_3$ МЕТОДОМ УСКОРЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РАСПЛАВА Бермешев Т.В., Бундин М.П., Залого А.Н., Хлыстов Д.В., Самойло А.С., Ворошилов Д.С.	28
СИНТЕЗ $Bi_{12}(Ge_xSi_{1-x})O_{20}$ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ Бермешев Т.В., Бундин М.П., Залого А.Н., Хлыстов Д.В., Самойло А.С., Ворошилов Д.С.	30
НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ Антипова И.А., Ваганова Е.С.	33
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ PEG В ПЕЧАТИ НА 3D-ПРИНТЕРЕ Теленкова М.А., Соловьёв С.С., Ваганова Е.С.....	36
ОБРАТИМОСТЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПРОТОНИРОВАННЫМ ПОЛИТИТАНАТОМ КАЛИЯ Максимова Л.А., Рудых В.Ю., Викулова М.А.	39
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ ПЛАВЛЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ БОРЬБЫ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ Войтов А.С., Неваев А.Е.....	42
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АСКОРБАТОИЗОЛЕЙЦИНАТА МЕДИ Гвозденко А.А., Кузнецов Е.С., Артюшин С.В., Голик А.Б., Колодкин М.А.....	44
РОБОТИЗИРОВАННОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ Гладков С.Д.	46
АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ АУСТЕНИТНОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ С ДОБАВЛЕНИЕМ СЕРЕБРА К БАКТЕРИЯМ <i>CLAVIBACTER</i> Горбенко А.Д., Каплан М.А.....	49
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО БОРИРОВАНИЯ НА ТОЛЩИНУ И МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 12X18H9T Кириллов Н.И., Барабанова Е.В.	52

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СОРБЦИИ ИЗ РАСТВОРОВ ИОНОВ МЕДИ (II) ГИДРАТИРОВАННЫМ ОКСИДОМ СУРЬМЫ (V) Губин Д.А., Коваленко Л.Ю.....	55
СПЕЦИФИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12X18H10T, РАЗНЫХ ГОДОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ С ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫМ СТЕКЛОМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕКЛЯННЫХ ТРУБ Гостев С.Д., Давыдова А.Р., Сидорова С.А.	58
ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ АВИАЦИОННЫХ СПЛАВОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ Дмитриева М.О.	61
ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОТОННЫХ ПУЧКОВ НА ЧАСТИЦЫ ОКСИДА ЦИНКА С РАЗЛИЧНОЙ MORFOЛОГИЕЙ В GEANT4 Дудин А.Н., Юрина В.Ю.	64
ПРОЦЕСС ФРИКЦИОННОГО НАНЕСЕНИЯ КАК ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИЙ ИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИ ВЫГОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ – СТАЛЬ 20 И АЛЮМИНИЙ МАРКИ ER 1100 Есипова А.Д., Михеев Р.С.....	67
ТЕРМОСТОЙКОЕ ПОКРЫТИЕ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ Залознов А.Е.	70
САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩЕЕСЯ ПОКРЫТИЕ КУЗОВА Залознов А.Е.	72
КОРРЕЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ТОРЦОВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ Захаров О.В., Сулейманова Ф.Д.....	74
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА Гошар П.А., Соколова А.С., Карцев Н.С., Индюхин А.Ф.....	78
МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ЭЭГ-ДИАГНОСТИКИ Карцев Н.С., Соколова А.С., Индюхин А.Ф.....	82
МОДЕЛЬ НЕЙРОКАРТИРОВАНИЯ УРОВНЕЙ СИНХРОНИЗАЦИИ Наумова А.А., Индюхин А.Ф.....	85
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ AL И ВХОДЯЩИХ ФАЗ НА ЗАЩИТНЫЙ ЭФФЕКТ ПОКРЫТИЙ $Ti_{1-x}Al_xN$ В 3% РАСТВОРЕ NaCl: ОБЗОР Бублик Н.В., Каменева Д.В.....	88
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АКТИВНОГО ТЕПЛОТВОДА НА СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПРИ УСТАНОВКЕ РЕМОНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ Ким В.С.	91
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ИСПЫТАНИИ НА РАСТЯЖЕНИЕ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ОБРАЗЦОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА FDM/FFF Князькова В.В.....	94
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИГУР ТИПА «КУБ», ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА FDM Кондрашов А.К.	97

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКИ В МЕДИЦИНСКИХ АВТОМОБИЛЯХ Крузе А.А., Лямов И.Н.	100
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ Лавринович Д.П.	104
СВОЙСТВА ПАРАФИНА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЛЬДЖ Лямов И.Н.	107
БИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ МОЛЕКУЛЫ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ НАНОЧАСТИЦ СИЛИКАТА ЦИНКА Маглакелидзе Д.Г., Блинова А.А, Тараванов М.А., Вакуленко М.В., Облогин Я.А.	109
ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПОВТОРНОГО НАНЕСЕНИЯ ПОРОШКА НА КОНСТРУКТИВНЫЕ СВОЙСТВА В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ Макашин Д.С.	112
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО Mn (II) В ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЕ Максимова Л.А., Дурнова Н.В., Антохина В.С., Саунина С.И., Васильева А.А.	115
РЕАЛИЗАЦИЯ АГРЕГАТНО- И ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОЙ СТРУКТУРЫ В КОМПОЗИТНОЙ КЕРАМИКЕ СИСТЕМЫ $Al_2O_3 - YSZ$ Малецкий А.В., Беличко Д.Р.	117
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ДИСЛОКАЦИОННЫХ СТРУКТУР В ОБЕДНЕННОЙ ЗОНЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДА Ni_3Al Липунов В.Н., Маркидонов А.В. ¹	120
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МАРГАНЕЦ-ЦИНКОВЫХ ФЕРРИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ДВУХСТАДИЙНОГО СИНТЕЗА Масс А.В., Хабиров Р.Р.	123
МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ В 10% СR СТАЛИ Матсинова А.Д.	126
ОСОБЕННОСТИ ПРОТОКОЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ MODBUS RTU И TCP В АСУ ТП Муратова А.М.	130
КОРРОЗИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ОКСИДИРОВАННОГО СПЛАВА АМГ6 Мурычев Г.А., Саркисян А.Э., Гоц И.Ю.	132
ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ Насыров Р.Р.	134
ВЛИЯНИЕ ГРАФЕНОВОЙ СМАЗКИ НА ТРЕНИЕ В ПАРАХ ГРАФЕН-ГРАФЕН И ГРАФЕН-МЕТАЛЛ Насыров Р.Р.	137
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ГЕТЕРОСТРУКТУРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА НЕТКАНЫХ НОСИТЕЛЯХ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИТИТАНАТОМ КАЛИЯ ДЛЯ БАКТЕРИЦИДНОГО ДЕЙСТВИЯ Галишникова Ю.О.	139
АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В МАШИНОСТРОЕНИИ Орлова А.И.	143

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ Орлова А.И.	145
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧЕТЫРЕХСТРОННИХ ПИРАМИД, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА FFF/FDM Петров С.С., Тимофеев М.Н. Научный руководитель: ассистент Тимофеев М.Н.	148
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК НАНОЧАСТИЦ ГЕКСАЦИАНОФЕРРАТА КОБАЛЬТА Пирогов М.А., Жуковский Д.А., Кузнецов Е.С., Леонтьев П.С., Эркинов Ф.Г.У.	151
ВЛИЯНИЕ СТЕХИОМЕТРИИ НА ХЕМОРЕЗИСТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАКСЕНОВЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР Ti_xV_yC Плугин И.А., Симоненко Н.П., Варежников А.С., Сысоев В.В.	153
МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ АКСИАЛЬНО- ПОРШНЕВОГО НАСОСА Пономарев О.И.	156
ПЛАСТИФИКАТОРЫ ПЛАСТМАСС Попова Е.Д.	159
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ, ДЛЯ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ Марахов Я.Н.	162
ИССЛЕДОВАНИЕ АГРЕГАТИВНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НАНОЧАСТИЦ СЕЛЕНА, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ TWEEN-80 Рехман З.А., Маглакелидзе Д.Г., Блинов А.В., Филиппов Д.Д., Яковенко А.А.	165
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ КОМПОЗИТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ТОНКОСТЕННОГО ЛЕЙНЕРА В ПРОЦЕССЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ НАМОТКИ БАЛЛОНА ДАВЛЕНИЯ Рыжкова Т.М.	167
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО ИОНАМИ Al Маслов О.Р., Плеханова Е.С., Третьяченко Е.В., Викулова М.А., Козина О.Е., Бредихина Т.А., Клевцевич А.А.	170
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА МОРФОЛОГИЮ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ Бекмансуров Т.А., Жуковский Л.И., Макаров А.А., Третьяченко Е.В., Викулова М.А., Максимова Л.А.	172
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИКОВ В X-ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ Андреев А.А., Рябов Е.А., Хайрушев И.В., Сергеева Б.В.	175
ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА В КОЛЛОИДНОМ РАСТВОРЕ НА ПРОЦЕСС ИХ ЗАГРУЗКИ В МИНЕРАЛИЗОВАННЫЕ КАРБОНАТОМ КАЛЬЦИЯ ВОЛОКНА ПОЛИКАПРОЛАКТОНА Короневский Н.В., Хайрушев И.В., Андреев А.А., Великанов И.С., Рябов Е.А., Сергеева Б.В.	179
ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ	

Сударчикова М. А., Насакина Е.О., Сергиенко К. В., Конушкин С. В., Севостьянов М.А.	183
РАСЧЕТ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	
Костарев Н.Д.	185
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СХЕМЫ УКЛАДКИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	
Костарев Н.Д.	187
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ НАНОЧАСТИЦ ZnO	
Филиппов Д.Д., Ясная М.А., Тараванов М.А., Пирогов М.А., Михо Н.С.	191
УСИЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	
Шевцов А.А.	193
ИННОВАЦИОННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ, СПОСОБНЫЙ ЗАМЕНИТЬ ТРАДИЦИОННУЮ АРМАТУРУ	
Шевцова А.В.	196
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТАНТАЛОСОДЕРЖАЩЕГО ПОКРЫТИЯ, СФОРМИРОВАННОГО НА ТИТАНЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ МИКРОЛЕГИРОВАНИЕМ И ИНДУКЦИОННОЙ ОБРАБОТКОЙ	
Фомина М.А., Кошуро В.А., Фомин А.А.	199
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ Mn-Zn ФЕРРИТОВ ОТ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	
Хабиров Р.Р., Масс А.В.	205
СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ LTCC-СТРУКТУР	
Хайруллова Р.М.	208
МОДЕРНИЗАЦИЯ КРАНОВО-МАНИПУЛЯТОРНОГО УСТРОЙСТВА НА БАЗАХ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧ ПО РАЗВИТИЮ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ	
Хряков Д.А.	210
ВЛИЯНИЕ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ И ГЛИЦИНА НА ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ЖЕЛЕЗНЕНИЕ	
Белоусов А.И.	212
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОТЕЗОВ	
Забелин А.А.	215
СОВРЕМЕННЫЕ ВЛАГОЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ	
Чиркина А.С.	217
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ БИОРАЗЛАГАЕМОЙ АКТИВНОЙ ПЛЕНКИ	
Шабанова П.В.	220
ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ СКОРОЙ ПОМОЩИ	
Шаламов М.В.	223
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНУСА, НАПЕЧАТАННОГО МЕТОДОМ FFF/FDM	
Юртаев В.О., Тимофеев М.Н. Научный руководитель: Тимофеев М.Н.	225

ИССЛЕДОВАНИЕ НДС ИМПЛАНТАТА ПОЗВОНКА СЕТЧАТОЙ КОНСТРУКЦИИ Тимохина О.В., Морозова И.Г.	228
ЦИНКОВАНИЕ И НИКЕЛИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПРУЖИНЫ ПРОТЕЗА СТОПЫ Герасимов А.М.	231
МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ И ПРОНИЦАЕМОСТИ МЕМБРАН ДЛЯ ГЕМОДИАЛИЗА И ИХ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ Мельникова И.П., Пичхидзе С.Я., Авдонченкова М.С.	239
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПАССИВНОЙ ФИКСАЦИИ В ЭНДОПРОТЕЗЕ ЛОКТЕВОГО СУСТАВА Андрянова Н.В., Пичхидзе С.Я., Фадеева Ю.С.	245
МОДЕРНИЗАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ КОРПУСА КАПСУЛЫ ДЛЯ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ Камышева Ю.В.	251
ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА СЛУХОВОГО АППАРАТА Гуманюк А.Д.	254
ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ МЕМБРАНЫ ТОНОМЕТРА ВГД Краморев Д.В.	256
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИОСОВМЕСТИМЫХ ПЛАЗМОНАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ Дудко Н.С.	261
АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ЧАШЕЧКОВОГО ЭЛЕКТРОДА, ИЗГОТАВЛИВАЕМОГО ПО ТЕХНОЛОГИИ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ Семивражнова В.В.	265
ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНО-ПОРОШКОВЫХ КРАСОК Пузаков А.В.	270
ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ДЕНЕРВАЦИОННОЙ АТРОФИИ МЫШЦ КИСТИ Сидоров С.М.	273
ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЧАСТИЧНОГО ПРОТЕЗА ПАЛЬЦА Хашченко М.А.	277
ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТВЁРДОСТИ ПО ВИККЕРСУ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT6L ОТ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ Гребенников Н.А.	282
АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ИМПЛАНТАНТА МЕЖПОЗВОНОЧНОГО ДИСКА Бушева А.Ю.	284
АНАЛИЗ НДС КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ ПРОТЕЗА СТОПЫ Павлюков Т.А.	287
ИНДУКЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТИТАНОВЫХ SLM-БЛОКОВ Гулиева Л.А., Казанова А.В., Осипова Е.О., Захаревич А.М., Кошуро В.А., Фомин А.А.	291

ФОРМИРОВАНИЕ НА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ ЛАЗЕРНЫМ ВАКУУМНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ Бирюкова О.В., Кошуру В.А.	296
ВЛИЯНИЕ ИНДУКЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА МОРФОЛОГИЮ И МИКРОТВЕРДОСТЬ ТИТАНОВЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ Осипова Е.О., Кошуру В.А., Маркелова О.А., Фомин А.А.	305
ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ТИТАНА ПОСЛЕ ИНДУКЦИОННОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В КОНТЕЙНЕРЕ Войко А.В., Красников А.В., Красникова Е.С., Захаревич А.М., Фомин А.А.	311
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТИТАНА Власов К.А., Коцербуба Н.А., Войко А.В.	313
РАЗРАБОТКА МЕДИЦИНСКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ Семивражнова В.В.	316
ПЕРЕРАБОТКА ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДНОГО МАТЕРИАЛА ОТРАБОТАННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ Доронина А.А.	319
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНА И ЕГО СПЛАВОВ Гребенников Н.А., Телегин С.В.	321
КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ЛАЗЕРНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ Малинов С.М., Телегин С.В.	324
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТКАНЕЗАМЕЩАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ОБЗОР ПОТЕНЦИАЛА ИХ РАЗВИТИЯ Чмыр В.А.	329
ЛАЗЕРНОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ТИТАНА ПОКРЫТОГО ТОНКОЙ ПЛЕНКОЙ ТАНТАЛА Сат О.О., Шумилини А.И.	332
СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ МАГНИЙСОДЕРЖАЩЕГО ТРИКАЛЬЦИЙФОСФАТА Маркелова О.А., Пичхидзе С.Я.	335
МЕДИЦИНСКИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЧИСТКИ ЗУБОВ Рябиничева А.В.	338
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ТВЕРДЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ СТРУКТУР НА ТИТАНОВЫХ ШАРОВЫХ КОМПОНЕНТАХ ЭНДОПРОТЕЗОВ Щелкунов А.Ю.	341

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ФУРФУРИЛИРОВАНИЯ НА ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ И УГОЛ КОНТАКТА БЕРЕЗОВОГО ШПОНА

Алексеева А.Д., Валеева А.Р.
Научный руководитель: Саерова К.В.

*Казанский национальный исследовательский
технологический университет, г. Казань*

В статье были изучены новые свойства фурфурилированной древесины. Образцы подвергались химической модификации, после чего исследовались на прочность, а также на смачивание. По результатам выявлены гидрофобные свойства фурфурилированной древесины, влияние температуры на прочность древесного материала, причины различного разрушения при растяжении вдоль и поперек волокон.

Ключевые слова: модификация древесины, прочность, краевой угол смачивания, фурфурирование

Фурфуриловый спирт – это жидкость, получаемая из сельскохозяйственных отходов, таких как сахарный тростник и кукурузные початки. Фурфурирование осуществляется путем пропитки древесины смесью фурфурилового спирта и катализаторов, а затем ее нагревания, чтобы вызвать полимеризацию. Комплексы фурфурилового спирта преимущественно осаждаются в полостях древесины и клеточных стенках. Целью фурфурирования является повышение устойчивости к биологическому разложению и стабильности размеров за счет применения нетоксичного, собственного полимера на основе фурфурилового спирта. Прочность древесины зависит от количества воды в клеточной стенке древесных волокон [1]. Повышенное количество связанной воды препятствует образованию водородных связей между органическими полимерами клеточной стенки и уменьшает их, что снижает прочность древесины. В радиальном направлении лучевые структуры и линейное расположение волокон и сосудов являются элементами передачи упругих напряжений. Каждая клетка в радиальном направлении точно выровнена со следующей клеткой, потому что каждая клетка в радиальном направлении произошла от одной и той же камбиальной материнской клетки. Таким образом, материал может упруго переносить напряжение до тех пор, пока вызванная трещина или дефект естественного роста не нарушат это упорядоченное расположение ячеек. По мере накопления напряжений внутри материала в тех местах, где передача упругих напряжений прерывается, образуются трещины [4].

Методы и материалы

Для определения прочности использовались 4 образца березового шпона размером 30×30×2 мм. А именно: контрольный (необработанный)

образец, образец, обработанный фурфуроловым спиртом и высушенный в течение 24 часов, а также образцы, высушенные в течение 48 ч и 72 ч. Сушка образцов происходила при температуре 103° С в сушильном шкафу Memmert. В качестве эксперимента производилось исследование на прочность на испытательной машине. Образцы подвергались растяжению до разрушения. Полученные данные представлены на рис. 1.

Для оценки гидрофильности химически модифицированных древесных образцов, высушенных в сушильном шкафу, определялся угол контакта поверхности с дистиллированной жидкостью. Эксперимент проводился методом сидячей капли на двух образцах: необработанном березовом шпоне и шпоне, подверженном химической модификации путем обработки фурфуроловым спиртом. В течение 10 секунд после нанесения капли она фиксировалась на видеозапись для дальнейшего определения угла контакта. Определение угла соприкосновения жидкости с поверхностью проводилось с помощью онлайн транспортера. Полученные данные представлены на рис. 2.

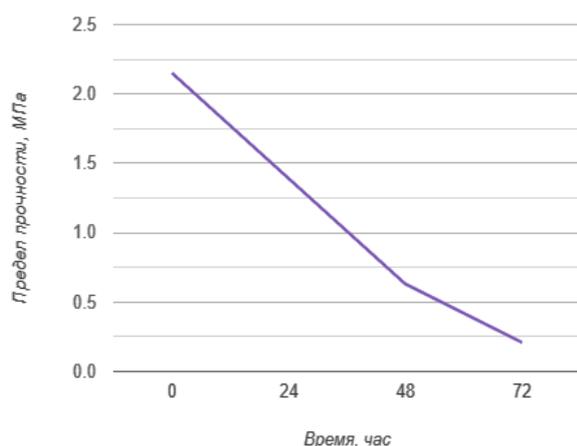


Рис. 1. Зависимость предела прочности от времени выдержки

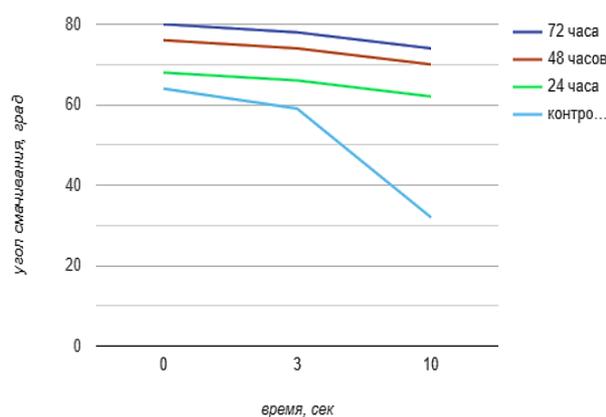


Рис. 2. Зависимость угла смачивания от времени

Результаты и обсуждение

В ходе исследования было выявлено, что с увеличением времени выдержки образцов в сушильном шкафу предел прочности значительно уменьшается. Это связано с тем, что прочность связана с температурой рабочей среды [2]. При постоянном содержании влаги непосредственное влияние температуры на прочность является линейным и обычно восстанавливается, когда температура возвращается к норме. Как правило, непосредственная прочность древесины выше при более низких температурах и ниже при более высоких. Однако могут возникнуть необратимые последствия. На это соотношение постоянной потери прочности при длительном воздействии высоких температур может существенно повлиять более вы-

сокое содержание влаги. Последствиями повышения температуры являются увеличение пластичности лигнина и пространственного размера, что уменьшает межмолекулярный контакт. Необратимые последствия проявляются в виде фактического уменьшения содержания древесного вещества или потери веса с помощью механизмов разложения и, таким образом, не подлежат восстановлению.

Прочность древесины обратно пропорциональна температуре. Тепло оказывает на древесину два типа воздействия: немедленное, которое проявляется только до тех пор, пока поддерживается повышенная температура, и постоянное, возникающее в результате термической деструкции древесных полимеров [3]. В среде с недостаточной влажностью первоначальным эффектом нагревания древесины является обезвоживание. Это постепенно приводит к пиролизу и улетучиванию полимеров клеточной стенки с последующим образованием обугливания в отсутствие воздуха и сгоранием в присутствии воздуха.

Угол контакта жидкости прямо пропорционален увеличению времени обработки, поскольку химически модифицированная древесина обладает повышенной влагостойкостью, позволяющая ей переносить изменение влажности в помещении, количество осадков, в результате чего, повышается устойчивость к гниению [5]. А также это связано с тем, что при сушке образцов в полостях клеток древесины образуется фурановый полимер (процесс полимеризации), не позволяющий жидкости свободно проникать вовнутрь древесного материала.

Список источников

1. Саерова К.В., Ефремов Д.Г., Погодина Я.Д., Мухаметзянова Г.Н. Смачивание модифицированной древесины с целью определения гидрофобности и гидрофильности древесных ламелей // Сборник научных статей по материалам X Международной научно-практической конференции. В 2 частях. Уфа, 2023. С. 36-39.

2. Саерова К.В., Мухаметзянов Ш.Р., Хасаншин Р.Р. Исследование механических свойств полимерного композита, полученного двухступенчатой обработкой древесного наполнителя // Деревообрабатывающая промышленность. 2022. № 3. С. 51-57.

3. Hill, C. A. S. *Wood Modification – Chemical, Thermal and Other Processes*, Wiley Series in Renewable Resources, 2006, pp. 260;

4. Li, W., Ren, D., Zhang, X., Wang, H., and Yu, Y. The furfurylation of wood: A nanomechanical study of modified wood cells. *BioResources*, 2016, No. 11 (2), pp. 3614-3625;

5. Rowell, R. M. Distribution of reacted chemicals in southern pine modified with acetic anhydride. *Wood Science*, 1982, No. 15 (2), pp. 172-182

ГРАФЕН И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

Баранов А.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Нестеренко Г.А.

Омский государственный технический университет, г. Омск

В статье рассмотрен графен его применение, получение и дальнейшие перспективы использования в народном хозяйстве и промышленности.

Ключевые слова: графен, графеновые нанотрубки, бетон, автомобилестроение

Графен это относительно недавно обнаруженный очень перспективный материал. Обнаружили его русские ученые Андрей Гейм и Константин Новосёлов. Графен представляет собой двумерную аллотропную модификацию углерода (проще говоря, графен – это один слой графита) [1].

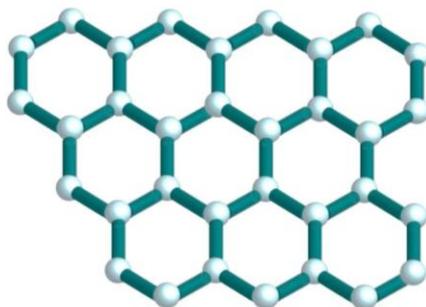


Рис. 1. Кристаллическая структура графена

В научной среде графен часто называют одним из самых легких, тонких и прочных материалов из всех ранее известных человечеству. Помимо этого графен славится своими тепло-электропроводящими свойствами. По прочности графен считается самый прочным из всех материалов ныне известных материалов доступных человечеству. Он прочнее алмаза и стали. Несмотря на невероятную прочность, графен еще обладает эластичность и упругостью. Графен можно растянуть на 20-25 % и при этом не сломать его.

Электронные свойства. Электроны в графене очень подвижны. Это позволяет создавать компьютеры, которые могут работать на порядок быстрее чем ныне существующие.

Оптические свойства. Ввиду того, что графен толщиной в один атом он прозрачен. Графен пропускает порядка 97-98 процентов света [2].

Графен по способу получения можно разделить следующим образом [3]:

- 1) отщеплённый графен;
- 2) химический графен;
- 3) эпитаксиальный графен на металлах или эпитаксиальный графен на SiC;

4) CVD графен (на никеле или на меди).

В связи со сложностями с созданием запрещенной зоны мы так и не увидели, как графен сделал бы прорывное применение в электронике. Но несмотря на это из-за нестандартных свойств электропроводности и прозрачности он достаточно интересно для создания солнечных батарей или дисплеев, та как в них необходимы прозрачные электроды, а прозрачные электроды нужны для создания

Важно сказать о применении графена в альтернативной энергетике. Уже сейчас идет работа над созданием топливных элементов на основе графена. Это будут элементы, превращающие химическую энергию топлива (например, водорода) в электрическую энергию. В этом приложении графен используется в качестве мембраны, на которой разделяется заряд, ввиду того, что его гексагональная решетка может пропускать через себя только протоны.

Не менее перспективное направление – это углеродные нанотрубки. Углеродные нанотрубки представляют собой одностенные трубки, которые созданы при помощи листа графена из свернутого в цилиндр. В этой структуре электроны демонстрируют необычное движение, прыгают с места на место и оставляют положительно заряженные дыры. Проводимость такой нанотрубки можно регулировать. Благодаря таким нанотрубкам есть возможность создать высокочувствительный сенсор или фотодетектор, который будет преобразовывать оптический сигнал в направленное движение электронов – электрический сигнал.

Графен в будущем будет активно применяться в автомобилестроении, а именно усовершенствование литийионных батарей. В аккумуляторах графеновые нанотрубки способны связывать частицы кремния тем самым создавая надежную сеть внутри анода и обеспечивая защиту от его разрушения. Энергоэффективные шины (повышенная защита от истирания и улучшение сцепления с дорогой). Технологичные кузова автомобилей. Но это все перспективные направления, а если говорить про «здесь и сейчас», то в автомобилестроении ряд компаний, например, американская автомобильная компания Ford, применяют полимерные композиты с графеновым наполнителем, а BYD (китайский автомобильный гигант) применяет графен в аккумуляторных батареях [4].

Графен может применяться в самых неожиданных отраслях, так в 2018 году исследователи при Университете Эксетер сделали намного более прочный по сравнению с традиционным бетоном, добавив в него графен. Полученный таким образом композитный материал оказался на 146 % прочнее на сжатие, а его теплоемкость была выше на 88 %. Зная большое тот факт, что для строительства необходимо большое количество бетона то, улучшение свойств композитного материала принесет большие преимущества. Важно понимать, что процесс получения графена весьма сложен, но даже в таком «грязном» виде он может быть полезен для бетона [5].

Исходя из всего ранее сказанного, можно сделать вывод, что графен – очень перспективный материал. Пока производство графена – это все еще дорогой процесс, но будущее его применение способно кардинально изменить ряд сфер.

Список источников

1. Алексенко А. Г. Графен. – 2-е изд. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 178 с.
2. Незаменимый графен: как используют самый тонкий и прочный материал, известный человеку // Science&Technology. – URL: <https://scienceandtech.ru/articles/nezamenimyj-grafen/> (дата обращения: 23.04.2023).
3. Методы получения графена // Rusgraphene. – URL: <https://www.rusgraphene.ru/metodyi-polucheniya-grafena> (дата обращения: 23.04.2023).
4. Уникальное вещество и его применения // Коммерсантъ. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4501946> (дата обращения: 23.04.2023).
5. Волшебный графен, который никак не выйдет за пределы лаборатории // Onliner. – URL: <https://tech.onliner.by/2021/08/06/volshebnyj-grafen> (дата обращения: 23.04.2023).

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ. ПРОИЗВОДСТВО В РОССИИ

Баранов А.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Нестеренко Г.А.

Омский государственный технический университет, г. Омск

В статье рассмотрены углеродные нанотрубки и их применение, получение и дальнейшие перспективы использования в народном хозяйстве и промышленности, а также рассказано про компанию по созданию нанотрубок на территории РФ.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, автомобилестроение, углеродные материалы, литий-ионные батареи

Углеродные нанотрубки представляют из себя цилиндры, полученные путем сворачивания одного или нескольких графеновых листов. Углеродные нанотрубки являются перспективными наноматериалами из-за ряда своих уникальных свойств. Отличительной чертой углеродных нанотрубок считается их электропроводность, которая на порядок выше, чем у других ныне известных проводников. Помимо этого, нанотрубки обладают удивительной теплопроводностью, также они стабильны химически, могут приобретать полупроводниковые свойства. По своим электронным

свойствам углеродные нанотрубки могут вести себя как металлы или полупроводники [1].

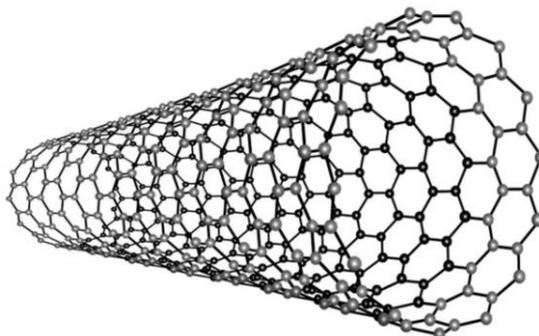


Рис. 1. Одностенная углеродная нанотрубка

Благодаря нанотрубкам можно создавать материалы и продукты, ранее недоступные человечеству, которые в перспективе изменят многие отраслевые стандарты и облик современного мира. Причем, что самое интересное, нужна крайне низкая концентрация трубок в общей массе материала – от 0,01 %. Проводники из нанотрубок в пять раз легче медных, при этом в 100 раз прочнее стали и обеспечивают необходимый уровень электропроводности при концентрации 0,015 % – 1 %. Также стоит добавить тот факт, что при добавлении углеродных нанотрубок в алюминий и полимерные материалы можно получить детали по прочности не уступающие стальным, но при этом гораздо более легкие.

1	Проводящие пластмассы
2	Структурные композиционные материалы
3	Плоские дисплеи
4	Противобрастающие краски для защиты подводных частей
5	Микро и наноэлектроника
6	Радиопоглощающие покрытия
7	Элементы питания с улучшенным сроком службы
8	Высокопрочные волокна.

Рис. 2. Продукция, где применяются углеродные нанотрубки

Пожалуй, перспективная сфера использования продукции компании – литий-ионные аккумуляторы в электромобилях. На данный момент электрокары проигрывают обычным авто сразу по нескольким параметрам:

1. **Стоимость автомобиля.** Электромобили дороже своих аналогов с ДВС; отчасти это связано с дорогостоящими металлами в аккумуляторе электрокаров.

2. **Скорость зарядки/заправки.** Заправка автомобиля топливом занимает гораздо меньше времени, чем заряд батареи электроавтомобиля.

3. **Дальнобойность (запас хода).** Дальнобойность электроавтомобилей недостаточна для ряда покупателей.

4. **Пробег** у электромобилей в полтора раза ниже.

Новые литий-ионные аккумуляторы с применением нанотрубок имеют преимущества перед своими аналогами по мощности, запасу энергии и жизненному циклу. Это даст мощный импульс к развитию электротранспорта и сопутствующих областей. Если говорить конкретнее, то наличие нанотрубок в аккумуляторе позволяет увеличить срок службы батареи в 4 раза и повысить запас хода на 20-50 %, заряд аккумулятора уменьшается в 3 раза. Причем важно отметить что для того чтобы получить эти улучшения необходимо добавить нанотрубок в концентрации всего лишь 0,08 %. Для одного электроавтомобиля необходимо 100 грамм нанотрубок (стоимость 100 грамм порядка \$150). За столько небольшую сумму можно серьёзно улучшить эксплуатационные качества автомобиля, что делает углеродные нанотрубки очень перспективным и востребованным материалом в автомобилестроении.

Компания OCSiAl была основана физиком Михаилом Предтеченским и предпринимателями Юрием Коропачинским, Юрием Зельвенским и Олегом Кирилловым, занимается промышленным синтезом нанотрубок, по собственным данным, занимает 97 % мирового производства одностенных углеродных нанотрубок. Продукция компании пользуется спросом в Китае, Японии и странах Европы.

Самым перспективным направлением применения нанотрубок компания OCSiAl называет транспорт на электротяге, в частности производство литий-ионных батарей. Из 160 всех компаний производителей литий-ионных батарей OCSiAl работает со 140. Аналитики ожидают роста спроса на продукцию компании OCSiAl на территории РФ по мере наращивания российского производства электромобилей. Уже к 2025 году на заводе «Москвич» планируют начать выпускать электромобили полностью из отечественных деталей [2, 3].

Главное преимущество OCSiAl перед своими конкурентами состоит в технологии синтеза нанотрубок. Это все связано с тем, что только эта компания в мире, способна может делать графеновые нанотрубки в промышленных масштабах и по адекватным для потребителя ценам. Для наглядности можно привести пример: Arry International Group продает килограмм нанотрубок за 65 тысяч долларов, когда у OCSiAl такие стоят всего 1500 долларов. Стоимость у конкурента OCSiAl больше почти в 40 раз.

Помимо этого, также конкуренты не могут масштабировать свою модель производства [4].

Из всего ранее сказанного можно сделать вывод, что углеродные нанотрубки способны кардинально изменить ряд отраслей, а особенно автомобилестроение.

Список источников

1. «Углеродное» будущее электроники // www.ixbt.com. – URL: <https://www.ixbt.com/editorial/carbon.shtml> (дата обращения: 03.05.2023).
2. Углеродные нанотрубки: как в России создают невозможные материалы // techinsider.ru – URL: <https://www.techinsider.ru/science/590603-uglerodnye-nanotrubki-kak-v-rossii-sozdayut-nevozmozhnye-materialy/> (дата обращения: 03.05.2023).
3. IPO OCSiAl: Будущее электрокаров // Economy.ru. – URL: <https://economy.ru/analysis/articles/527> (дата обращения: 03.05.2023).
4. Нанотрубки взяли дополнительное время // Коммерсантъ.ru. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5693418> (дата обращения: 03.05.2023).

ПЕРЕДВИЖНАЯ СТАНЦИЯ СВЯЗИ

Оспанов Б.Т.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Нестеренко Г.А.

Омский государственный технический университет, г. Омск

В статье предложен способ модернизации передвижной базовой станции, путем изменения шасси и наполнения кунга автомобиля.

Ключевые слова: транспорт, передвижная базовая станция, связь, специальная техника

Модернизация является непрерывным процессом совершенствования, который стремится подстроиться под существующие или ожидаемые в скором будущем условия. Это необходимая составляющая прогресса во всех отраслях науки и техники. В настоящее время одной из самых быстроразвивающихся сфер является телефонная связь, растут скорости передачи данных и площади покрытия. Но, не смотря на бурный рост, операторы не в состоянии обеспечить стабильной связью отдаленные населенные пункты. Данная проблема носит повсеместный характер и требует комплексного подхода.

Для работы сотовой связи необходимы базовые станции операторов, которые ежегодно расширяют зону покрытия. Несмотря на это на карте присутствуют «белые пятна» это места с неудовлетворительной стабильностью сигнала. Подобная картина наблюдается в отдаленных населенных пунктах, заповедных туристических зонах и при чрезвычайных ситуациях.

Установка стационарной станции решает данную проблему, но стоимость затрат является критическим фактором, в этом случае использование передвижной базовой станции в кратковременной перспективе может оказаться более рациональным решением. Воспользовавшись порталом «РосТендер» [1] на строительство стационарной базовой станции в Сибирском федеральном округе необходимо от 21 млн рублей до 1.3 млрд рублей, в свою очередь один из крупнейших операторов МегаФон предоставляет услуги аренды ПБС, ориентировочная стоимость которой оценивается в 71 тыс. руб. в сутки.

Изучив аналогичные системы, можно прийти к выводу, что сфера их применения ограничена городской средой, поскольку они не имеют достаточных внедорожных характеристик.

Беря во внимание поставленные задачи, разумным видится использование автомобиля со значительными внедорожными характеристиками, большой грузоподъемностью и крупными габаритами. Такой как советский и российский крупнотоннажный грузовой автомобиль повышенной проходимости двойного назначения с колёсной формулой 6 × 6 Урал-4320 (рис. 1) [2-4].



Рис. 1. Крупнотоннажный автомобиль Урал-4320

Проведя анализ подобных установок, можно выявить закономерность в виде использования дизельных генераторов и литий-ионных батарей. В свою очередь для повышения автономности удачным решением будет использование возобновляемых источников энергии путем установки солнечных панелей, также ввиду значительного прироста грузоподъемности шасси стала доступной возможность увеличение объема дизель-аккумуляторной установки.

Концептуально установка представляет собой автомобиль Урал-4320 со специальным кунгом, в который интегрировано сетевое оборудование (BTS Flexi MСРА FHDB) (рис. 2) с преобразователем спутниковой связи в GSM-сеть, приемо-передающая антенна (NSN Flexi), располагающаяся на радиомачте высотой 40 м, спутниковая антенна, генераторная станция,

рассчитанная на мощность 30 кВт (ТСС АД-30С-Т400-2РКМ7), разворачиваемая солнечная панель, литий-йонные батареи. При необходимости данная система может быть источником электроэнергии или сама питаться от сети.



Рис. 2. Оборудование мобильной базовой станции BTS Flexi MCPA FHDB

Эта система призвана удовлетворить потребность населения в качественной и стабильной связи даже при значительном удалении от базовых стационарных станций, поскольку передача данных идет через спутник, сама же ПБС является передвижным хабом, который переводит спутниковый сигнал в привычную для нас мобильную связь, такая трансформация проходит в обе стороны, что существенно расширяет зону комфорта населения.

Также необходимо отметить и значительные преимущества перед стационарными вариантами:

- Малая задержка при разворачивании системы, это позволяет оперативно реагировать на различного рода ситуации.
- Гибкость: мобильные базовые станции могут быть легко переброшены в другое место, дислокации, где необходима связь.
- Улучшенное качество связи: передвижные базовые станции обеспечивают более сильный и стабильный сигнал, поскольку они находятся на малом удалении к абонентам сотовой сети.
- Экономия временных и материальных ресурсов, которые можно сэкономить при использовании передвижных базовых станций.
- Увеличение мощности сети, что позволяет обеспечить большее количество абонентов при пиковых нагрузках.

Список источников

1. Тендеры: строительство базовых станций // Ростендер: сайт. – URL: <https://rostender.info/category/tendery-stroitelstvo-bazovyh-stancij> (дата обращения 09.05.23).
2. Самосвал Урал // УралАЗ: сайт. – URL: <https://uralaz.ru> (дата обращения 09.05.2023).
3. Шкитов М.С., Нестеренко Г.А., Нестеренко И.С. Актуальность использования мобильного пункта управления на базе автомобиля повышенной проходимости // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 87-2. – С. 115-116.
4. Шкитов М.С., Нестеренко Г.А., Нестеренко И.С. Передвижной пункт управления на базе автомобиля камаз – 5350 // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 91-7. – С. 75-77.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРИ ТРЕХТОЧЕЧНОМ ИЗГИБЕ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ
ОБРАЗЦОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ АДДИТИВНОГО
ПРОИЗВОДСТВА FDM/FFF**

Беляева А.Д.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В статье рассмотрен метод аддитивного производства – изготовление деталей с помощью 3D принтера, работающего по технологии FDM/FFF, а также приведены результаты исследования прочностных характеристик сварного соединения полученных изделий.

Ключевые слова: аддитивные технологии, прочностные характеристики, трехточечный изгиб, сварка полимеров

Введение

Печать методом послойного наложения расплавленной полимерной нити (FDM) является наиболее распространенной технологией 3D-печати. Процесс FDM реализуется следующим образом: катушка из термопластичной нити загружается в принтер. Как только сопло достигнет необходимой температуры, нить подается в экструдер и в сопло, где она плавится. Расплавленный материал выдавливается в виде тонких нитей и наплавляется послойно в определенных местах, где затем охлаждается и затвердевает. Когда слой закончен, платформа перемещается вниз или вверх, и новый слой наплавляется на уже схватившийся [1].

Целью данной работы является исследование прочностных характеристик сварных швов пластмассовых моделей с разной степенью заполнения, изготовленных по технологии FDM/FFF.

Методика исследования

В 3D редакторе была построена модель заготовки для проведения экспериментов (рис. 1). Геометрические параметры следующие: l – 70 мм, b – 10 мм, h – 5 мм.

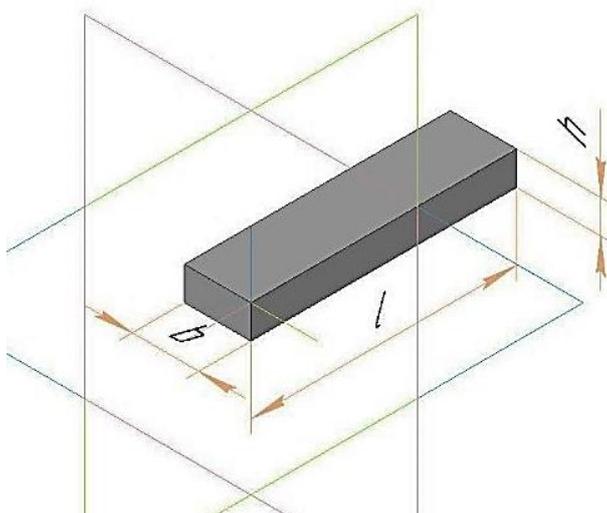


Рис. 1. Модель заготовки

На 3D принтере «Fortus 250mc» [3] были изготовлены 4 образца указанных размеров, 2 из которых с коэффициентом заполнения 1 (100%), а остальные с коэффициентом 0,5 (50%) (черные). Материал образцов – ABS пластик [2], нить диаметром 1,75 мм. Модели распечатаны со следующими настройками: скорость печати – 100 мм/с, температура стола – 70°C, температура экструдера – 235°C. После все образцы нагружались на испытательной машине ПМ-МГ4 с одинаковой скоростью до излома. Далее два из них с разным заполнением были подвергнуты сварке при помощи паяльника и филамента из пластика ABS для получения двух цельных брусков. Процесс сварки осуществлялся следующим образом: в месте стыка образцов при помощи напильника производилось снятие фаски размерами $0,5 \times 45^\circ$ для укладки прутка, образцы закреплялись на монтажном столике обработанными торцевыми поверхностями вплотную друг к другу, сверху укладывался пруток из ABS для его дальнейшего плавления при помощи паяльника. Бруски после сварки повторно нагружались до критической деформации. Для подробного изучения микроструктуры излома были сделаны фотографии с помощью микроскопа Bresser LCD MICRO 5MP.

Результаты и обсуждение

Результаты исследования представлены на рис. 2(а,б), 3(а,б).



Рис. 2. Образцы до испытаний. Полученные сварные швы

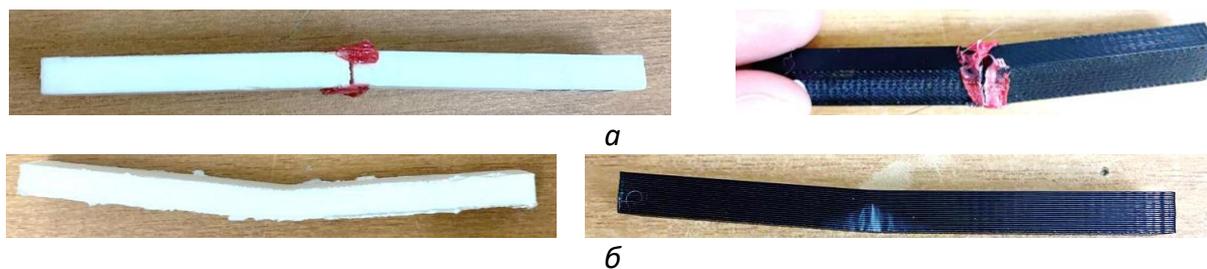


Рис. 3. Образцы после испытаний: опытные (а), цельные (б)

В процессе сварки были определены температуры шва в области воздействия паяльника: образец 6П – 130°C , образец 4 – 100°C . Испытания на трехточечный изгиб показали следующие результаты: Образец 6П – деформация 1,3 мм, макс. изгибающая сила 44,1 Н. Образец 4 – деформация 1,1 мм, макс. изгибающая сила 30,9 Н. Сплошной образец (белый) – деформация 2,9 мм, макс. изгибающая сила 255,4 Н. Сплошной образец – деформация 2,4 мм, макс. изгибающая сила 225 Н.

Из полученных данных видно, что наименьшими прочностными характеристиками обладает образец 4, так как излом сварного шва произошел при минимальной нагрузке с наименьшим значением деформации. На изображениях видно (рис. 4), что шов образца 4 обладает достаточным количеством закрытых и открытых воздушных полостей, а также прижогов, что свидетельствует о чрезмерно высокой местной температуре и, соответственно, кипении материала во время сварки.

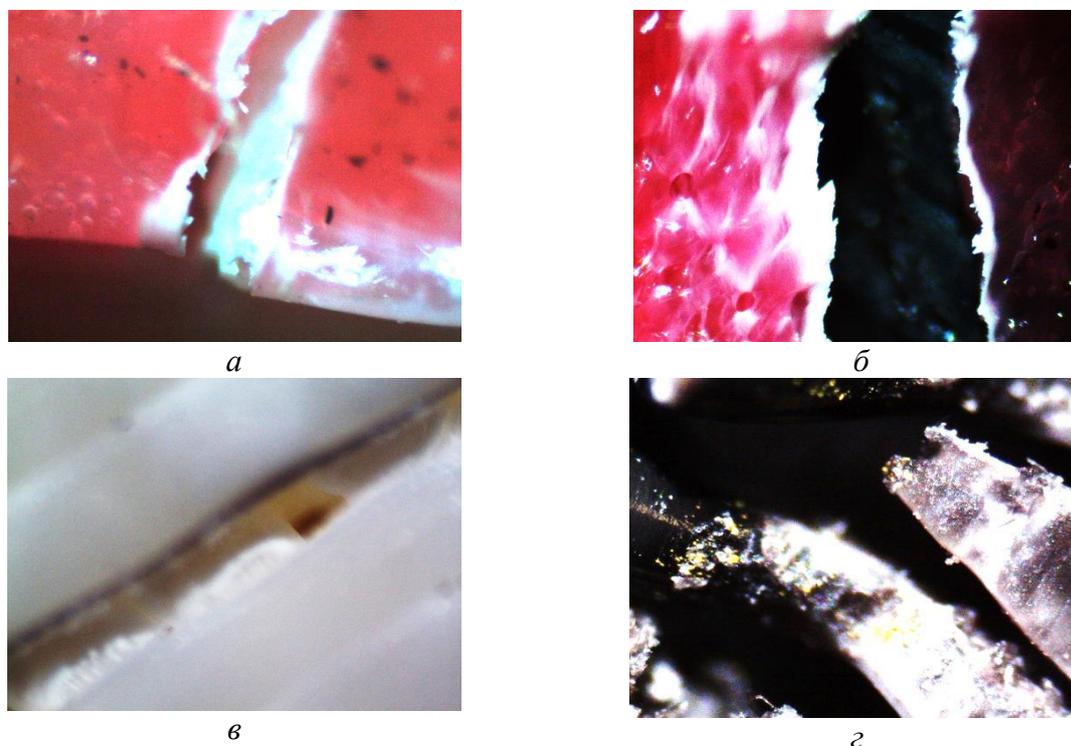


Рис. 4. Поверхность излома ($\times 4$) 6П (а), сварного шва образца 4 (б), излом цельного образца с коэф. 1 (в), излом цельного образца с коэф. 0,5 (з)

Наличие данных дефектов уменьшает однородность материала и существенно снижает прочностные характеристики бруска. Также большое значение имеет коэффициент заполнения образца. Чем ниже процент заполнения, тем ниже прочность и больше вероятность преждевременной поломки изделия в процессе эксплуатации, что было подтверждено с помощью испытаний на трехточечный изгиб. Шов образца 6П также наполнен дефектами, но ему удалось выдержать большую нагрузку, в связи с большим коэффициентом заполнения. Разрушение цельных брусков произошло только вдоль, так как когезия между отдельными нитями в слое меньше, чем между слоями, а также потому, что направление роста трещины, как правило, перпендикулярно направлению действия приложенной силы. Так как вид заполнения у них идентичный – прямоугольный, то главным показателем прочности будет являться процент заполнения. По этому показателю преобладает белый образец, что и отражается на восприятии больших нагрузок.

Заключение

В работе был представлен обзор на FDM/FFF технологию 3D печати. Произведено исследование прочностных характеристик сварных соединений образцов, напечатанных с помощью 3D принтера «Fortus 250mc».

После проведения испытаний на трехточечный изгиб и анализа микрофотографий было выяснено, что наибольшими прочностными характеристиками обладает цельный образец из ABS пластика с коэффициентом заполнения 1, что является очевидным, ввиду сплошности и однородности структуры материала, а также отсутствия дефектов, присущих сварным швам.

Список источников

1. 3DTool: FDM технология. Как это работает. – Москва. – URL: <https://3dtool.ru/stati/fdm-tekhnologiya-kak-eto-rabotaet/> (дата обращения: 19.05.2023).
2. Print Product: ABS GEO пластик PrintProduct. – URL: <https://printproduct3d.ru/catalog.html#!/ABS-GEO-пластик-PrintProduct/p/111998211/category=32229053> (дата обращения: 19.05.2023).
3. Stratasys | Support Center: Fortus 250mc. – URL: https://support.stratasys.com/en/printers/fdm-legacy/fortus-250mc_ (дата обращения: 19.05.2023)

НОВОЕ МЕТАСТАБИЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ В СИСТЕМЕ $\text{Vl}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2$

Бермешев Т.В.¹, Залого А.Н.¹, Соловьев Л.А.², Бундин М.П.¹,
Хлыстов Д.В.¹, Мазурова Е.В.², Ворошилов Д.С.¹

¹Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

²Институт химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Красноярск

Получено новое метастабильное соединение с формулой $\text{Vl}_2\text{Ge}_2\text{O}_7$ в системе $\text{Vl}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2$. Показаны возможные условия его получения из расплава с использованием термической обработки расплава. Исследована микроструктура.

Ключевые слова: $\text{Vl}_2\text{Ge}_2\text{O}_7$, кристаллизация, метастабильная фаза, германат висмута, термическая обработка

Система $\text{Vl}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2$, представленная одной диаграммой стабильного равновесия и двумя диаграммами метастабильного равновесия, вызывает большой интерес благодаря широкому спектру, получаемых на ее основе функциональных материалов.

В области стабильного равновесия известны три соединения. $\text{Vl}_{12}\text{GeO}_{20}$ с кристаллической структурой силленита (КСС) – материал, обладающий высокими пьезоэлектрическими, фоторефрактивными, фотопроводящими, магнитооптическими, электрооптическими и фотокаталитическими свойствами. $\text{Vl}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ с кристаллической структурой эвлитина (КСЭ) – уникальный сцинтиллятор с высокой радиационной стойкостью, материал для литий-ионных батарей большой емкости. $\text{Vl}_2\text{Ge}_3\text{O}_9$ с кристаллической структурой бенитоита (КСБ) – рассматривался в качестве материала для рентгеновских спектрометров и фотоакустических дефлекторных устройств, высокопроизводительного анодного материала, перспективного материала керамических подложек для миниатюрных и высокопроизводительных пассивных компонентов в системах СВЧ-связи.

В области же метастабильного равновесия известны 2 широкие области твердых растворов. $\delta\text{-Vl}_2\text{O}_3$ с гранцентрированной кубической решеткой и структурой типа флюорита, является уникальным суперионным проводником, катализатором, фотокатализатором, адсорбентом для улавливания изотопов радиоактивного йода. Vl_2GeO_5 со слоистой кристаллической структурой типа Ауривиллиуса (КСА) известен как сегнетоэлектрик с высокой температурой Кюри, обладает высокой ионной проводимостью по кислороду, а также каталитическими и фотокаталитическими свойствами.

Высокая химическая активность жидкого Vl_2O_3 обеспечивает взаимодействие почти со всем известными веществами [1]. Благодаря этой особенности, синтез из расплава является одним из наиболее простых способов получения рассмотренных выше соединений. В наших предыдущих

работах, были установлены основные факторы, влияющие на фазообразование в оксидных висмутсодержащих системах ($\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2$ и $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$) при синтезе из расплава. Это позволило, используя термическую обработку в жидком состоянии, за короткое время надежно получать метастабильных [2-4], так и стабильных соединений [5-7].

Цель данной работы – сообщение об открытии нового фазового соединения с формулой $\text{Bi}_2\text{Ge}_2\text{O}_7$, обнаруженного в системе $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2$.

Исходные материалы – порошки Bi_2O_3 (квалификации ос. ч.) и GeO_2 (квалификации ч.д.а.), в соотношении 32:68 мол. % помещали в платиновую чашу объемом 65 см^3 и перемешивали стальным шпателем. Далее чашу с навеской нагревали в электрической печи сопротивления (LMV 02/12) в воздушной атмосфере до температуры $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ и выдерживали в изотермических условиях 1 час. Полученный расплав охлаждали с печью до температуры $1125 \text{ }^\circ\text{C}$, выдерживали 40 минут, после чего охлаждали до комнатной температуры свободно с печью. Растровую электронную микроскопию и локальный рентгеноспектральный анализ (ЛРСА) проводили на настольном микроскопе HITACHI TM4000 на микрошлифах, полученных после шлифовки, полировки и химического травления. Рентгенофазовый анализ (РФА) порошка (образцы после получения, перетирали в яшмовой ступке) проводили на дифрактометре Shimadzu XRD 6000 ($\text{CuK}\alpha$ -излучение) и PANalytical X'pert PRO ($\text{CuK}\alpha$ -излучение).

При исследовании образца, который был получен охлаждением с печью от температуры $1125 \text{ }^\circ\text{C}$, в качестве основной фазы было получено новое соединение с формулой $\text{Bi}_2\text{Ge}_2\text{O}_7$ (рис. 1). В образце также содержалась небольшая примесь GeO_2 (до 2 масс. %), избавиться от которой на данном этапе исследований пока не удалось. Пики, соответствующие оксиду германия отдельно не указаны, так как из них лишь одни виден хорошо – на позиции около $20,5$ градусах. Остальные пики GeO_2 накладываются на пики основной фазы.

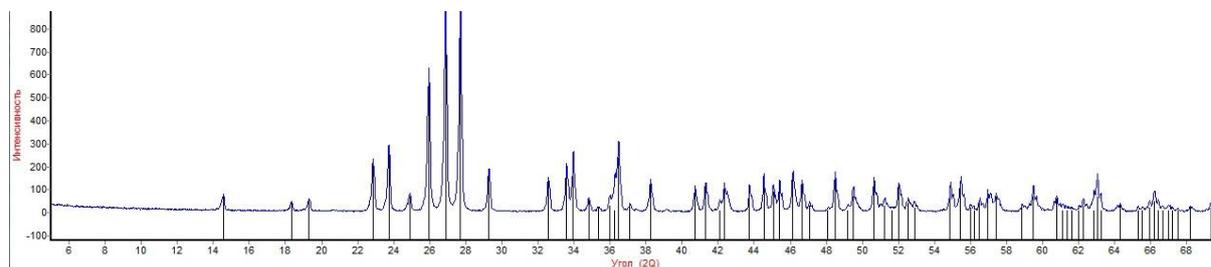


Рис. 1. Дифрактограмма образца нового соединения $\text{Bi}_2\text{Ge}_2\text{O}_7$

Образцы нового соединения, полученного из расплава охлаждением от $1125 \text{ }^\circ\text{C}$, (рис. 2а), имеют пластинчатую микроструктуру. На границах зерен хорошо заметны следы вторичной фазы (рис. 2б), которые неоднородны и состоят из светлых и темных участков, хорошо различимых при увеличении $\times 3000$ и выше. По-видимому, именно в них и содержится примесный GeO_2 .

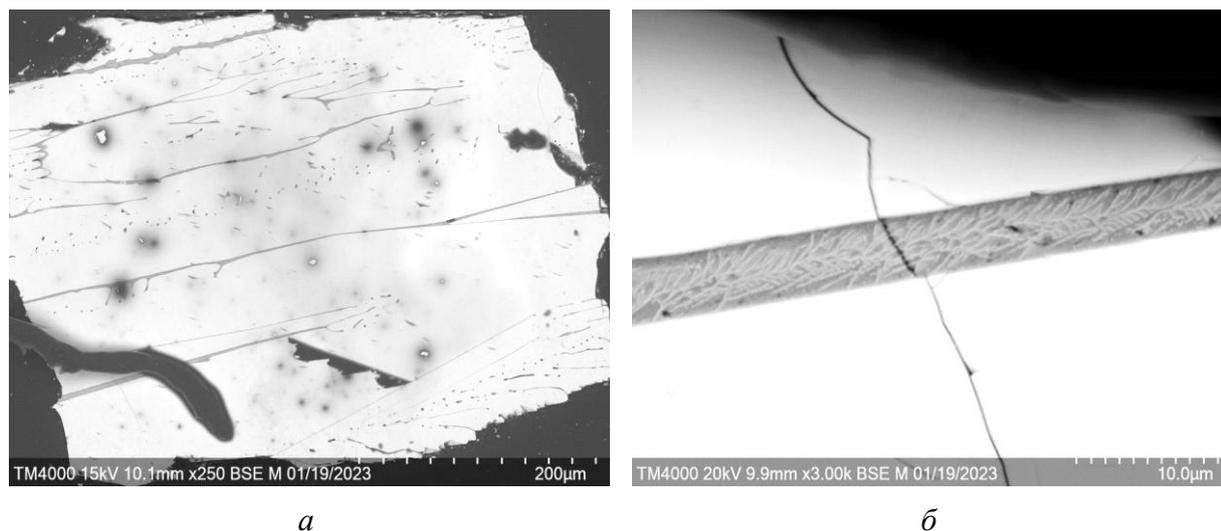


Рис. 2. РЭМ-изображение образца $\text{Bi}_2\text{Ge}_2\text{O}_7$ при увеличении 250 (а) и $\times 3000$ (б)

Открытие нового соединения в такой хорошо известной и изученной системе, как $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2$, дает новый толчок к более глубокому изучению метастабильных фазовых равновесий в оксидных висмутсодержащих системах и факторов влияющих на метастабильное фазообразование в них.

Работа выполнена в рамках государственного задания по науке Сибирского федерального университета, проект № ФСРЗ-2020–0013.

Отмечено использование оборудования Красноярского краевого научно-исследовательского центра Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН».

Отмечено использование оборудования Центра коллективного пользования «Научоемкие методы исследования и анализа новых материалов, наноматериалов и минерального сырья» ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет».

Список источников

1. Жереб В.П. *Метастабильные состояния в оксидных висмутсодержащих системах*. М.: МАКС Пресс, 2003. 162 с.
2. Влияние термообработки расплава Bi_2O_3 , содержащего 22 мол. % SiO_2 , на состояние образующейся при кристаллизации метастабильной δ^* -фазы / Бермешев Т.В., Жереб В.П., Бундин М.П. и др. // *Неорганические материалы*. – 2022. –Т. 58. № 6. С. 625-632.
3. Фазовый состав и микроструктура продуктов кристаллизации расплава $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2$ при различных условиях охлаждения // Жереб В.П., Бермешев Т.В., Каргин Ю.Ф. и др. *Неорганические материалы*. 2019. Т. 55. № 7. С. 782-797.
4. Расслаивание в системе $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. Влияние условий охлаждения расплава на фазовый состав и микроструктуру продуктов затвердевания // Бермешев Т.В., Жереб В.П., Тас-Оол Р.Н. и др. *Известия Академии наук. Серия химическая*. – 2021. – № 8. – С. 1462-1470.

5. Особенности затвердевания расплава $2\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{GeO}_2$ при различных условиях охлаждения / Бермешев Т.В., Жереб В.П., Бундин М.П. и др. Неорганические материалы. 2022. Т. 58. № 4. С. 451-463.

6. Casting synthesis of $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ / Bermeshev T.V., Zhereb V.P., Yasinskiy A.S. and oth. Mendeleev Commun. 2021. V. 31. № 5. P. 721-722.

7. Влияние термообработки расплава $6\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ на фазовый состав и микроструктуру продуктов его кристаллизации // Бермешев Т.В., Жереб В.П., Бундин М.П. и др. Неорганические материалы. 2022. Т. 58. № 11. С. 1208-1218.

СИНТЕЗ BiFeO_3 МЕТОДОМ УСКОРЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РАСПЛАВА

Бермешев Т.В., Бундин М.П., Залого А.Н., Хлыстов Д.В.,
Самойло А.С., Ворошилов Д.С.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

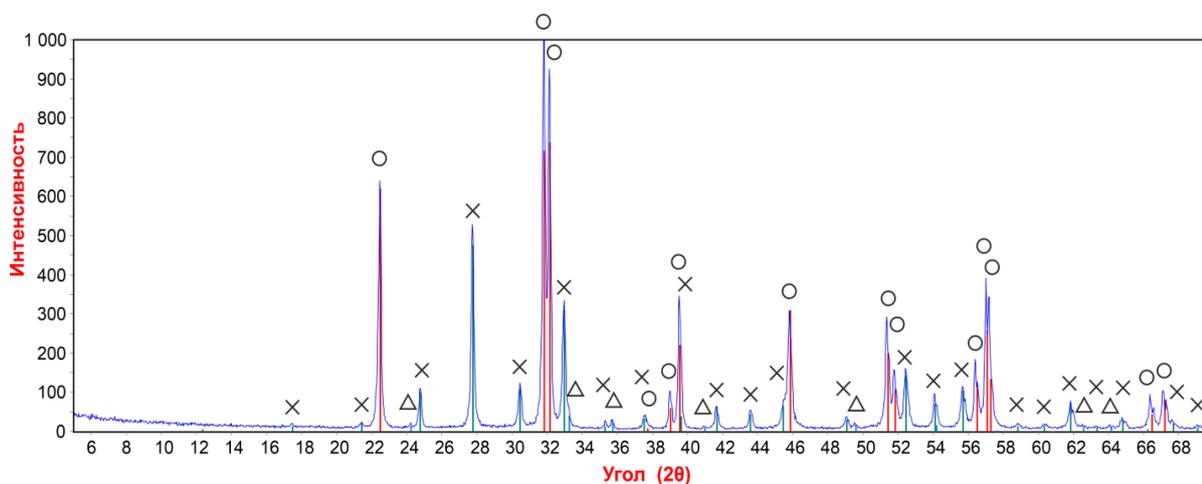
Исследована возможность получения соединения BiFeO_3 методом ускоренного охлаждения расплава (метод литья). Результаты показали, что образцы, полученные литьем, состоят из смеси BiFeO_3 (около 60 масс. % по данным РФА), $\text{Bi}_{24}(\text{Bi}_{0.22}\text{Fe}_{1.78})\text{O}_{39}$ (~ 30 масс. % – нестехиометрический, искаженный вариант $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{40}$) и $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (~ 10 масс. %).

Ключевые слова: BiFeO_3 , кристаллизация, литье, ускоренное охлаждение, фазовый состав

Феррит висмута BiFeO_3 проявляет сегнетоэлектрические и антиферромагнитное упорядочение при комнатной температуре и является одним из наиболее перспективных для практического применения мультиферроиков [1]. BiFeO_3 рассматривают как пьезофотокаталитический материал и фотокатализатор с узкой запрещенной зоной, а также превосходной химической стабильностью [2]. Ему посвящено большое число работ, направленных разработку оптимальных режимов синтеза, а также с целью улучшения его свойств. В литературе известны работы, где BiFeO_3 получают твердофазным синтезом, модифицированным методом Печини, методом сжигания, электрораспылением, золь-гель, методом химического осаждения из паровой фазы и соосаждения, с помощью импульсного лазера, гидротермальным методом, микроволновым методом и др. [1, 3]. Синтез из расплава является одним из наиболее простых и быстрых способов получения многих оксидных висмутсодержащих материалов. Однако получение BiFeO_3 осложняется его инконгруэнтным характером плавления. В наших предыдущих исследованиях была показана возможность получения конгруэнтно плавящихся стабильных соединений в системах $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2$ и $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ [4-6].

Целью данной работы было изучение возможности получения соединения BiFeO_3 методом ускоренного охлаждения расплава, с выливанием последнего в платиновый тигель (метод литья).

Исходные образцы массой 10 г, полученные смешением в эквимольном отношении Bi_2O_3 в α -модификации квалификации «ос.ч.» и Fe_2O_3 квалификации «ч.д.а.», помещали в платиновый тигель и нагревали в электрической печи сопротивления LMV 02/12 на воздухе до температуры 1200°C со скоростью $\sim 20^\circ\text{C}/\text{мин}$. Расплав выдерживали в изотермических условиях 1 час, после чего выливали его из тигля в другой платиновый тигель при комнатной температуре. Исследование микроструктуры выполняли с использованием оптического микроскопа Carl Zeiss Axio Observer A1m на микрошлифах, полученных после шлифовки, полировки и химического травления. Рентгенофазовый анализ (РФА) порошка проводили на дифрактометре Shimadzu XRD 6000 ($\text{CuK}\alpha$ -излучение).



Дифрактограмма образца, полученного литьем расплава от 1200°C на платиновую пластину при комнатной температуре: ○ – BiFeO_3 , x – $\text{Bi}_{24}(\text{Bi}_{0.22}\text{Fe}_{1.78})\text{O}_{39}$, Δ – Fe_2O_3

Результаты первых экспериментов показали, что образцы, полученные литьем, состоят из смеси BiFeO_3 (около 60 масс. % по данным РФА), $\text{Bi}_{24}(\text{Bi}_{0.22}\text{Fe}_{1.78})\text{O}_{39}$ (~ 30 масс. % – нестехиометрический, искаженный вариант $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{40}$) и $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (~ 10 масс. %). Таким образом, инконгруэнтный характер плавления соединения BiFeO_3 и сложные фазовые превращения, протекающие при его образовании из расплава [7] (система $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$), осложняют одностадийное получение чистого BiFeO_3 методом литья.

Работа выполнена в рамках государственного задания по науке Сибирского федерального университета, проект № ФСР3-2020–0013.

Использовано оборудование Центра коллективного пользования «Наукоёмкие методы исследования и анализа новых материалов, наноматериалов и минерального сырья» ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет».

Список источников

1. Оксидные соединения системы оксид висмута(III) – оксид железа(III) I. Получение и фазовые равновесия / Денисов В.М., Белоусова Н.В., Жереб В.П. и др. // Journal of Siberian Federal University. – Chemistry 2. – 2012. – № 5. – P. 146-167.
2. Tuning piezoelectric driven photocatalysis by La-doped magnetic BiFeO₃-based multiferroics for water purification // Lan Sh., Yu Ch., Sun F. at al. // Nano Energy. – 2022. – V. 93. – 106792.
3. A Review on Synthesis, Properties, and Environmental Application of Fe-Based Perovskite / Jayanthi G., Sumathi S., Kannan K. at al. // Advances in Materials Science and Engineering. – 2022. – P. 1-14. DOI: 10.1155/2022/6607683.
4. Моделирование охлаждения и синтез Bi₁₂GeO₂₀ методом литья // Бермешев Т.В., Губанов И.Ю., Жереб В.П., Бундин М.П. и др. Материаловедение. 2023. №1. С. 35-40.
5. Casting synthesis of Bi₁₂SiO₂₀ / Bermeshev T.V., Zhereb V.P., Yasinskiy A.S. at al. // Mendeleev Communications. – 2021. – V. 31. – № 5. – P. 721–722.
6. Синтез германата висмута с кристаллической структурой эвлитина методом литья // Бермешев Т.В., Жереб В.П., Харитонов Л.Г. и др. // Перспективные материалы. – 2022. – № 9. – С. 77-87.
7. Phase equilibrium of Bi₂O₃–Fe₂O₃ pseudo-binary system and growth of BiFeO₃ single crystal // Lu J., Qiao L.J., Fu P.Z. and oth. Journal of Crystal Growth. 2011. V. 318. № 1. P. 936-941.

СИНТЕЗ BI₁₂(GE_xSI_{1-x})O₂₀ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ

Бермешев Т.В., Бундин М.П., Залого А.Н., Хлыстов Д.В.,
Самойло А.С., Ворошилов Д.С.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Показана возможность частичного замещения Ge на Si в структуре Bi₁₂GeO₂₀ при синтезе его из расплава методом литья. С помощью рентгенофазового анализа и оптической микроскопии подтверждено, что стабильные силикат и германат висмута со структурой силленита образуют непрерывный ряд твердых растворов.

Ключевые слова: Bi₁₂GeO₂₀-Bi₁₂SiO₂₀, стабильное состояние, кристаллизация, литье, частичное замещение

Германат висмута (Bi₁₂GeO₂₀) с кристаллической структурой силленита (КСС), образуется в системе Bi₂O₃-GeO₂ и обладает высокими электрооптическими, фоторефрактивными, пьезоэлектрическими, фотопроводящими, магнитооптическим и фотокаталитическими свойствами. С 70-х годов двадцатого века Bi₁₂GeO₂₀ в качестве монокристаллов он используется для создания устройств оптической обработки информации. Его используют для получения перспективных фотокатализаторов, миниатюрных

и пассивных микроволновых керамических компонентов с высокой производительностью для мобильных устройств. Аналогичный по структуре силикат висмута с КСС ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$) имеет схожие свойства и является перспективным материалом для создания пьезодатчиков, фильтров и линий задержки электромагнитных сигналов, электро- и магнитооптических измерителей напряженности полей, пространственно-временных модуляторов, миниатюрных и пассивных микроволновых керамических компонентов, волоконно-оптических датчиков электрического тока, защитных систем электроники от космического излучения и др.

В большинстве случаев германаты и силикаты висмута с КСС применяются в виде монокристаллов, для получения которых гораздо удобнее использовать уже заранее синтезированные поликристаллы (шихту) с КСС [1]. В работе [2] такие исследования были проведены с использованием в качестве исходных компонентов уже готовых монокристаллов $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ - $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, а также был построен разрез квазибинарной системы $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ - $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, имеющей неограниченную растворимость в твердом и жидком состоянии. При этом, синтез производился при температурах 800-840 °С и занимал значительное время – 100-200 часов.

В работах [3, 4] была показано возможность получения $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ методом ускоренного охлаждения («метод литья»). Целью данной работы было изучение возможности частичного замещения Ge на Si в структуре $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ при синтезе его из расплава методом ускоренной кристаллизации («метод литья»).

Исходные образцы массой 10 г. получали смешением в эквимолярном отношении Bi_2O_3 в α -модификации квалификации «ос. ч.», GeO_2 квалификации «ч.д.а.» и SiO_2 квалификации «ч.д.а.». Смешение производили в платиновом тигле стальным шпателем, после чего помещали тигель с навеской в электрическую печь сопротивления LMV 02 / 12 и нагревали в воздушной атмосфере до температуры, лежащей в зоне С (1160° С) со скоростью ~20° С/ мин. Далее тигель выдерживался в изотермических условиях 1 ч, после чего расплав доставали из печи и выливали в другой платиновый тигель при комнатной температуре. Исходный состав навесок, загружаемый в тигель перед плавкой, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Исходный состав навесок, загружаемый в тигель перед плавкой

Номер образца	Bi_2O_3 , мол %	SiO_2 , мол %	GeO_2 , мол %
1	85,7	7,15	7,15
2	85,7	3,575	10,725
3	85,7	10,725	3,575

Исследование микроструктуры выполняли с использованием оптического микроскопа Carl Zeiss Axio Observer A1m на микрошлифах, полученных после шлифовки, полировки и химического травления. Рентгено-

фазовый анализ (РФА) порошка проводили на дифрактометре Shimadzu XRD 6000 (CuK α -излучение).

Рентгенофазовый анализ образцов всех составов (1-3, табл. 1, рис. 1) полученных литьем расплава в тигель, показал, что во всех случаях был получен однофазный материал со структурой силленита, идентифицируемый в зависимости от исходного состава либо как $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, либо как $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$.

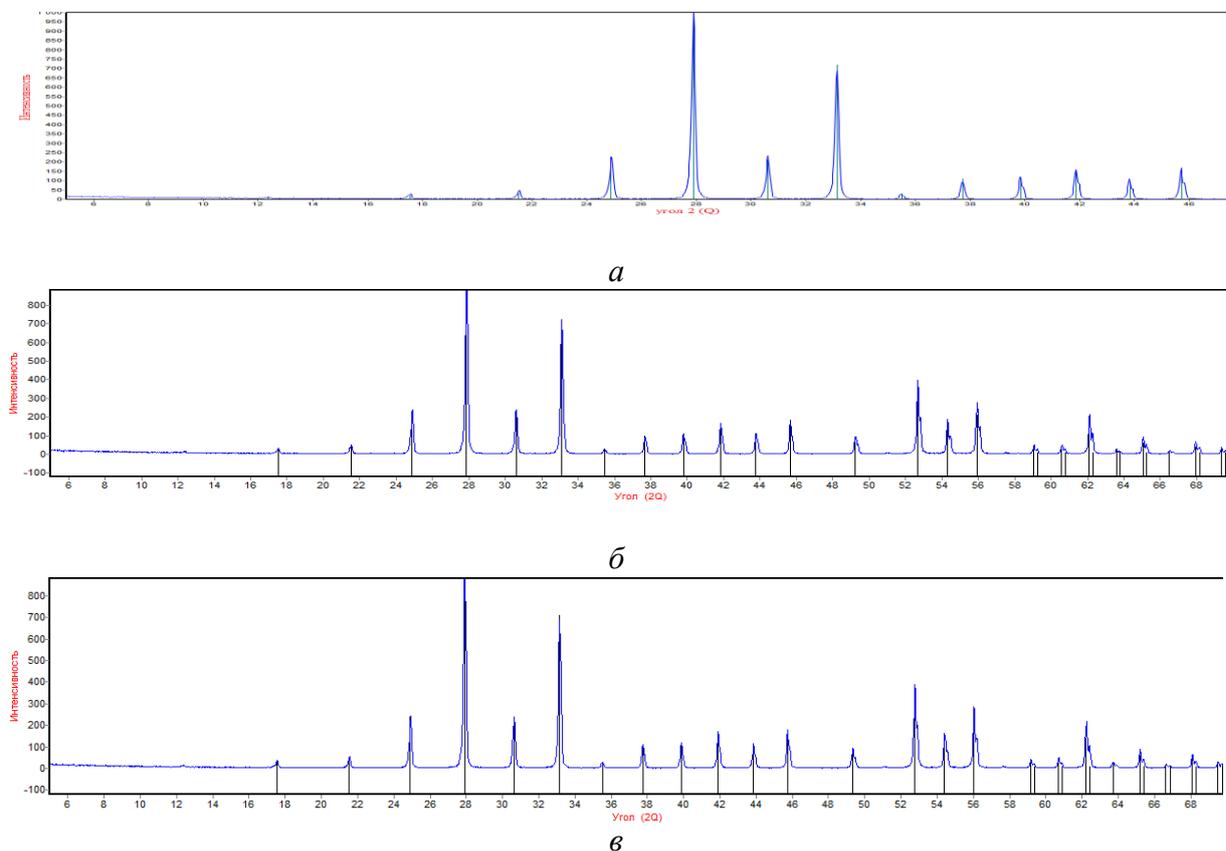


Рис. 1. Дифрактограммы образцов №1-3 (табл. 1), полученные выливанием расплава в платиновый тигель, где *a* – образец № 1, *б* – № 2, *в* – № 3

Анализ микроструктура образцов различных составов, полученных после полного охлаждения (рис. 2), подтверждает однофазное строение материала.

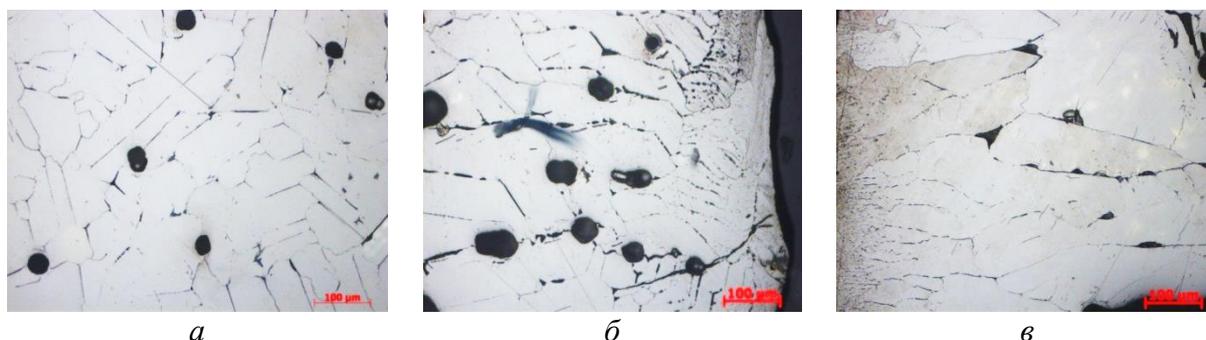


Рис. 2. Микроструктура образцов соединения $\text{Bi}_{12}(\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x})\text{O}_{20}$, закристаллизовавшегося после литья в платиновый тигель, где: *a* – образец №1, *б* – №2, *в* – №3 (табл. 1); $\times 200$

Тройные силлениты с формулой $\text{Bi}_{12}(\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x})\text{O}_{20}$, состоят из зерен, вытянутых вдоль направления теплоотвода. На участках контакта расплава с холодным платиновым тиглем, зерна закономерно будут меньше (рис. 2б, в). По мере удаления от дна и стенок тигля и, соответственно, с уменьшением скорости охлаждения, размер зерна будет увеличиваться (рис. 2а). В материале также в большом количестве имеются поры.

Проведенный анализ результатов исследования позволяет утверждать, что метод ускоренной кристаллизации расплава («метод литья») позволяет также надежно и быстро получать тройные силлениты на основе системы $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2\text{-SiO}_2$, как и в двойных системах $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2$ и $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ [3, 4].

Работа выполнена в рамках государственного задания по науке Сибирского федерального университета, проект № ФСРЗ-2020–0013.

Использовано оборудование Центра коллективного пользования «Научные методы исследования и анализа новых материалов, наноматериалов и минерального сырья» ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет».

Список источников

1. Синтез оксидной висмут-германиевой шихты для выращивания монокристаллов $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ / Новоселов И.И., Макаров И.В., Федотов В.А. и др. Неорганические материалы. – 2013. – Т. 49. – № 4. – С. 429–433.
2. Z.M. Fu, W.X. Li. Guisuanyan Xuebao. $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}\text{-Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ // J. Chin. Ceram. Soc. – 1983. – V. 11. – № 2. – P. 189-192.
3. Моделирование охлаждения и синтез $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ методом литья / Бермешев Т.В., Губанов И.Ю., Жереб В.П., Бундин М.П. и др. // Материаловедение. – 2023. – № 1. – С. 35-40.
4. Casting synthesis of $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ / Bermeshev T.V., Zhereg V.P., Yasinskiy A.S. et al. // Mendeleev Communications. – 2021. – V. 31. – № 5. – P. 721–722.

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Антипова И.А., Ваганова Е.С.

Научный руководитель: д.х.н., профессор Бузаева М.В.

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

В статье проведён аналитический обзор литературных данных о возможности применения нанотехнологии в строительстве.

Ключевые слова: нанотехнология, строительство, наночастицы

Строительная сфера является одной из ведущих и важнейших в современной России. Активно ведутся исследования в области строительного материаловедения, в том числе, по применению приемов нанотехнологии.

Нанотехнологией называется понимание, контроль и реструктуризация веществ нанометрового порядка (менее 100 нм) для создания материалов с фундаментально новыми свойствами и функциями.

Материалы наноразмерного уровня обладают свойствами, не присущими материалам идентичного состава размерностью более 100 нм. Законы химии и молекулярной физики являются статистическими и проявляются точно только на большом количестве атомов или молекул. То есть для больших групп атомов или молекул эти законы выполняются полностью или их отклонение незначительно и неопределимо. В то же время для небольших групп атомов (наноуровень) отклонение от законов случайно, существенно и его величина возрастает с уменьшением размера частицы [3].

Нанотехнология охватывает два основных подхода: «сверху вниз» и «снизу вверх» или «молекулярную нанотехнологию», когда материал состоит из атомов или молекулярных компонентов в процессе сборки или самосборки. Для строительного материаловедения актуальна стратегия «снизу вверх», когда нанотехнология применяется на этапе агрегирования вещества материала.

В настоящее время приёмы нанотехнологии реализуются введением первичных наноматериалов. Согласно литературным данным, наночастицы становятся центрами кристаллизации. Для управления параметрами структуры материала используются родственные по химической природе модификаторы [2].

Нанотехнологии позволяют генерировать материалы с уникальными характеристиками, представляющими практическую ценность для строительной отрасли: лёгкие и прочные конструкционные композиционные материалы, высокая эксплуатационная стойкость покрытий, улучшенные цементные материалы, и так далее.

Бетон, являясь самым распространенным строительным материалом, в нанодиапазоне является композитом молекулярной сборки с поверхностями молекул и химическими связями. Цемент, являясь связующим бетона, имеет пористую структуру и оказывает большое влияние на свойства бетонной смеси.

Наноинженерия бетона использует методы изменения структуры на наномасштабном уровне для изменения технических свойств и характеристик материала. Методами изменения бетона на наноразмерном уровне являются: внедрение наноразмерных объектов, а также прививка молекул на цементные частицы для функционализации поверхности для улучшения граничных взаимодействий.

Свойства бетонной смеси и цемента модифицируют введением углеродных нанотрубок в структуру композитного материала для создания армирующего эффекта на наноразмерном уровне. За счет заполнения пор повышается плотность материала, его жёсткость, замедляется развитие трещин в ранние сроки отверждения.

Использование нанотрубок для улучшения свойств цемента и его смесей имеет ряд трудностей, среди которых: отсутствие достаточных достоверных и полных данных о влиянии наноразмерных частиц на окружающую среду и здоровье человека, а также повышенная склонность УНТ к агломерации, что затрудняет их равномерное распределение по композиционному материалу [7].

Существуют также исследования о влиянии других наночастиц на свойства цементных смесей. Так, в исследовании [4] показано улучшение прочности цемента до 69 % при добавлении 0,03% от массы цемента нанодиоксида кремния. В исследовании [1] – улучшение прочности при сжатии на 16-24% при последовательном введении микрокремнезёма и нанокварца. Введение нанодиоксида титана в бетон инициирует фотокаталитическую деструкцию загрязняющих веществ [5].

Нанодиоксид титана применяется не только к бетонам, но и стёклам, приводя к технологии самоочищения. Так как нанодиоксид титана является гидрофильным, происходит образование капель воды, которые смывают продукты фотокаталитической деструкции загрязняющих веществ. Добавлением наночастиц оксида кремния к стеклу в виде прозрачной прослойки между двумя стеклянными панелями получают огнезащитное стекло [5].

Помимо бетона и стекла модификацией наночастицами подвергается сталь. Добавление частиц меди увеличивает равномерность поверхности стали, ограничивая усталостное растрескивание, тем самым повышая безопасность сооружения из такой стали. Добавление наночастиц ванадия и молибдена улучшает микроструктуру стали и позволяет уменьшить эффекты водородного охрупчивания. Наночастицы магния и кальция увеличивают ударную вязкость сварного шва.

Нанопокртия позволяют многократно повысить такие качества материала, как его оптические, тепловые свойства, сопротивляемость различным воздействиям, а также реализовать механизмы самоочищения, самозалечивания и так далее. Применением наноразмерных двойных гидроксидов магния-алюминия, нанодиоксида титана и нанодиоксида кремния получают эффективные огнезащитные нанопокртия [6].

Гидрофобизация применяется для снижения водопоглощения минеральных утеплителей. Гидрофобная система на основе наночастиц оксида кремния создает для воды краевой угол смачивания, превышающий 150° , а угол скатывания – менее 10° .

Применение нанотехнологии в строительстве позволяет значительно улучшить характеристики материалов, а также добавить свойства, повышающие их эксплуатационную стойкость. Наиболее разработанной является тема модифицирования свойств бетона и цемента методом введения наноразмерных частиц для повышения прочностных характеристик. Перспективна разработка нанопокртий, использование наночастиц для улучшения долговечности красок и других покрытий.

Список источников

1. Копаница Н.О., Саркисов Ю.С., Демьяненко О.В. Применение нанодисперсного кремнезема в производстве строительных смесей // Вестник ТГАСУ. – 2016. – № 5 (58). – С. 140-150.
2. Королев Е.В. Нанотехнология в строительном материаловедении // Вестник МГСУ. – 2017. – № 7 (106). – С. 711-717.
3. Королев Е.В. Проблемы и перспективы нанотехнологии в строительстве // Известия КазГАСУ. – 2011. – № 2 (16). – С. 200-208.
4. Композиционные материалы на основе цемента с нанодисперсным диоксидом кремния / П.В. Космачев, О.В. Демьяненко, В.А. Власов, Н.О. Копаница, Н.К. Скрипникова // Вестник ТГАСУ. – 2017. – № 4 (63). – С. 139-146.
5. Нанотехнологии в области производства строительных материалов / В.И. Моисеева, Я.В. Пирогова, М.Е. Тюменцев, П.А. Паньков // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 11. – С. 293-297.
6. Санчез Ф., Соболев К. Нанотехнологии в производстве бетонов. Обзор // Вестник ТГАСУ. – 2013. – № 3 (40). – С. 262-289.
7. Фаликман В.Р. Нанопокртия в современном строительстве // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2021. – № 13 (1). – С. 5-11.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ PETG В ПЕЧАТИ НА 3D-ПРИНТЕРЕ

Теленкова М.А., Соловьёв С.С., Ваганова Е.С.
Научный руководитель: д.х.н., профессор Бузаева М.В.

*Ульяновский государственный технический
университет, г. Ульяновск*

Представлен обзор свойств пенополистирола и его применение в каркасном строительстве.

Ключевые слова: пенополистирол, каркасное строительство

Полиэтилентерефталат-гликоль (PETG) наиболее часто используемый тип пластика в промышленности (в виде PET). Он широко используется при производстве пластиковых бутылок, пищевых контейнеров, упаковки, игрушек, кухонной утвари и более распространенных пластиковых изделиях. Кроме того, этот перерабатываемый пластик можно формовать под давлением, выдувать, термоформовать, гнуть, резать и даже использовать для печати на 3D принтере.

В дополнение к распространенным термопластам, которые включают обычные типы нитей для 3D-принтера, нить для 3D-принтера может изготавливаться из нейлона, поликарбоната, углеродного волокна,

полипропилена. Кроме того, можно использовать специальные добавки, которые могут проводить электричество или светиться в темноте. Благодаря такому разнообразию, стало проще, чем когда-либо, создавать функциональные, визуально выразительные и высокоэффективные отпечатки из разнообразных пластиков.

Исследования по производству полиэтилентерефталата были начаты в 1935 г. в Великобритании Уинфилдом (англ. *John Rex Whinfield*) и Диксоном (англ. *James Tennant Dickson*), в фирме Calico Printers Association Ltd. Заявки на патенты по синтезу волокнообразующего полиэтилентерефталата были поданы и зарегистрированы 23 августа 1943 года, а опубликованы в 1946 году.

В СССР этот материал был впервые получен в лабораториях Института высокомолекулярных соединений Академии наук СССР в 1949 году. Первые устойчивые образцы были получены в Новосибирске в Лаборатории ацетатных волокон Сибирского отделения Академии наук, откуда происходит и название «ЛАВСАН».

ПЭТ-бутылка была запатентована в 1973 году, а в 1977 году началась промышленная переработка использованной ПЭТ-тары. Распространению бутылок из ПЭТ способствовала их сравнительная дешевизна и практичность. Переработке ПЭТ-бутылок уделяют особое внимание, во многих регионах их собирают отдельно от других бытовых отходов.

Ниже представлены основные свойства и характеристики, благодаря которым материал PETG стал использоваться в 3D-печати.

PETG имеет высокую устойчивость к сжатию, не склонен к деформации или разрушению при неравномерном распределении нагрузки, что дает возможность использовать PETG при печати крупных деталей. Разорвать корпус на основе PETG, по сути, нереально, это можно сделать только намеренно, приложив нагрузку по соответствующему вектору. Если есть необходимость в изготовлении эластичной детали, которая будет деформироваться под внешними воздействиями, но при этом сохранять форму, то стоит выбрать именно пластик PETG.

Отличная адгезия почти со всеми основаниями, что обеспечивает возможность широкого использования пластика для печати нависающих частей. Липкость пластика обеспечивает возможность его широкого использования для подготовки опорных структур. 3D-печать позволяет быстро и экономично создавать прототипы и изготавливать детали для широкого спектра применений [1]. Отдельные слои соединяются друг к другу, что дает длительный срок службы моделей без соблюдения каких-либо сложных эксплуатационных правил и рекомендаций. Однако при работе нужно учитывать тот факт, что полимер хорошо сцепляется и с рабочим столом, поэтому снимать готовую деталь нужно аккуратно, чтобы не допустить повреждений.

РЕТГ обладает химической инертностью. Материал не вступает в реакцию с концентрированными растворами кислот и щелочей, они не провоцируют поверхностные и, тем более, структурные повреждения. Еще одним преимуществом РЕТГ является отсутствие неприятного запаха при печати и представлен он во множестве полупрозрачных оттенков. Изготовленные модели, при этом, отличаются характерным блеском.

Однако наряду с достоинствами у РЕТГ имеются ряд недостатков, которые необходимо учитывать при использовании [2]. Так, РЕТГ не устойчив к ароматическим углеводородам, бензину, кетонам; небольшой диапазон рабочей температуры: максимальная температура длительной эксплуатации от -40 до $+70^{\circ}\text{C}$; способен к самовозгоранию при температуре выше 400°C ; возгорание от внешнего источника наблюдается при температуре 440°C .

РЕТГ обладает высокой гигроскопичностью, что делает детали более хрупкими при хранении во влажном помещении.

Как и все пластмассы, РЕТГ оказывает потенциально негативное воздействие на окружающую среду, если не утилизируется должным образом. Разложение может занять десятилетия, что приведет к попаданию микропластика в мировой океан.

При производстве полимеров требуется большое количество энергии и воды, поэтому их переработка обратно в производство значительно снижает потребление природных ресурсов. Переработка также предотвращает распад продуктов РЕТГ на микроскопические фрагменты, которые загрязняют океаны и мировое водоснабжение, угрожая водной флоре и фауне [3].

Таким образом, хотя полиэтилентерефталат-гликоль, как и все пластмассы, может быть вредным для окружающей среды, его пригодность для вторичной переработки может значительно уменьшить или устранить это негативное воздействие.

Список источников

1. Васильева И.А., Сухоруков А. А., Анисеева Е. А. Изготовление функциональных изделий из РЕТГ методом 3D-печати // Вестник Технологического университета. – 2020. – Т. 23. – № 6. – С. 62-68.
2. Красильникова Н. А., Хохлов С. Ю., Коноплянников И.В. Исследование свойств материалов для 3D-печати // Процессы и аппараты пищевых производств. – 2019. – Т. 49. № 3. – С. 94-99.
3. Новиков А.А., Мерзляков А. В., Косухин Д. А. Влияние технологических параметров на качество изделий из РЕТГ при 3D-печати // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2019. – Т. 19. № 2. – С. 52-57.

ОБРАТИМОСТЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПРОТОНИРОВАННЫМ ПОЛИТИТАНАТОМ КАЛИЯ

Максимова Л.А., Рудых В.Ю., Викулова М.А.
Научный руководитель: к.х.н. Викулова М.А.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В настоящей работе исследованы обратимость процесса литирования-делитирования с участием протонированного полититаната калия и его эффективность в нескольких циклах использования. Исследование показало незначительные структурные изменения и поддержание высокой ионообменной емкости протонированного полититаната калия на протяжении пяти циклов.

Ключевые слова: полититанат калия, ионообменные процессы, потенциометрический метод, извлечение лития

В настоящее время литий является востребованным природным ресурсом, прежде всего в связи с его использованием в литий-ионных аккумуляторах для портативных электронных устройствах, уже получивших широкое распространение, а также в развивающихся экотехнологиях, в частности электромобилях. Для удовлетворения возрастающей потребности человечества в литии, помимо известных первичных источников в виде минералов и рассолов, обращают на себя внимание вторичные источники, к которым можно отнести воды морей, озер и рек с низким содержанием лития. Извлечение лития из природных растворов сложного химического состава с наибольшей эффективностью и чистотой целевого продукта достигается ионообменными и сорбционными методами. Преимуществом ионообменных материалов является способность к регенерации и неоднократному повторному использованию.

Наиболее известным и исследованным представителем ионообменных материалов титанатного типа выступает метатитановая кислота (H_2TiO_3). Ее ионообменная емкость по отношению к литию достигает 56,03 мг/г [1]. Однако в качестве прекурсоров для ее получения используют дорогостоящие литийсодержащие реактивы.

Протонированные формы полититаната калия схожи по своему составу и структуре с метатитановой кислотой и могут стать более привлекательной альтернативой благодаря простоте и дешевизне синтеза.

Целью работы является исследование обратимости процесса литирования-делитирования с участием протонированного полититаната калия и его эффективности в нескольких циклах использования.

Протонированный полититанат калия с химической формулой $K_{0,8}H_{1,2}Ti_{4,3}O_{8,5}$ получен путем обработки исходного полититаната калия,

синтезированного в гидроксидно-нитратном расплаве, в растворе HCl с концентрацией 0,1 моль/л при pH = 2,0 в течение 24 часов [2]. Фазовый состав протонированного полтитаната калия после каждого цикла литирования-делитирования исследован с использованием дифрактометра ARL X'TRA фирмы Thermo Scientific (Швейцария) ($\text{CuK}\alpha$, $\lambda = 0,15412$ нм). Ионообменная емкость протонированного полтитаната калия оценена по результатам взаимодействия 1 г порошка с водным раствором LiCl с концентрацией $C(\text{Li}^+) = 0.01$ моль/л в объеме 100 мл и рассчитана по формуле

$$q, \frac{\text{ммоль}}{\text{г}} = \frac{C_0 - C_t}{m} \cdot V, \quad (1)$$

где C_0 – исходная концентрация ионов Li^+ в растворе, ммоль/л; C_t – концентрация ионов Li^+ в растворе в момент времени t , ммоль/л; m – масса протонированного полтитаната калия, г; V – объем раствора, л.

После каждого процесса взаимодействия с раствором LiCl порошок протонированного полтитаната калия подвержен регенерации путем обработки в растворе HCl до первоначального pH дисперсии 2.0. Концентрация Li^+ определена потенциометрическим методом с использованием иономера И-160МП (Гомельский завод измерительных приборов, Республика Беларусь) с литийселективным электродом ЭЛИС-142Li (Измерительная техника, Россия).

Равновесная ионообменная способность и циклическая эффективность являются важными параметрами для оценки ионообменного материала.

На рис. 1 показаны циклические характеристики протонированного полтитаната калия. Видно, что равновесная ионообменная емкость материала по отношению к литию с каждым циклом снижается незначительно и поддерживается на уровне выше 0,85 ммоль/г, что составляет около 93 % относительно исходной характеристики после 5 циклов ионообменного процесса в растворе LiCl.

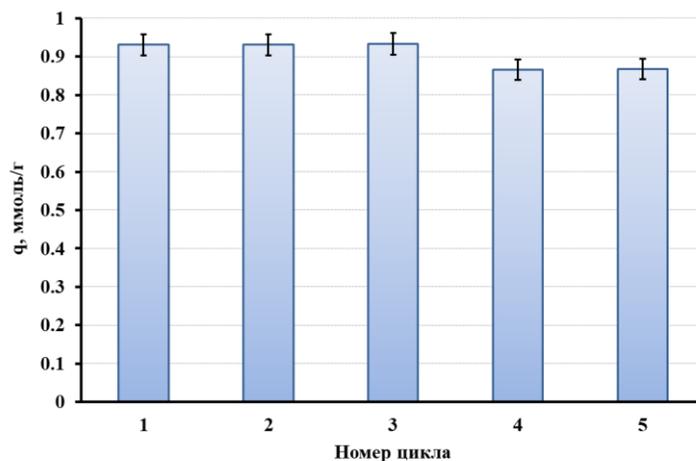


Рис. 1. Ионообменная емкость протонированного полтитаната калия при различных циклах литирования-делитирования

Изменение структуры протонированного полтитаната калия после каждого цикла литирования-делитирования относительно исходной, после синтеза оценено по рентгеновским дифрактограммам (рис. 2).

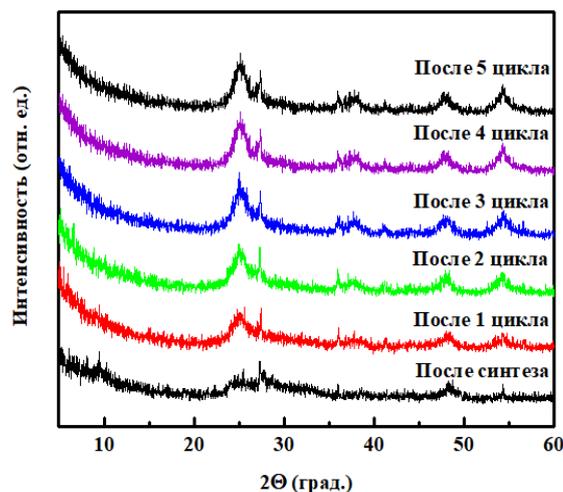


Рис. 2. Рентгеновские дифрактограммы протонированного полтитаната калия после синтеза и каждого цикла литирования-делитирования

Видно, что протонированный полтитанат калия имеет рентгеноаморфную структуру, на дифрактограмме наблюдается совокупность рефлексов низкой интенсивности, относящиеся к фазам диоксида титана в модификации анатаз ($2\theta = 25^\circ$ и 48°) и рутил (27° , 36° и 54°). С каждым циклом литирования-делитирования интенсивность указанных рефлексов возрастает, однако эти изменения не значительны, следовательно, структуру протонированного полтитаната калия можно считать стабильной при обратимом ионообменном процессе, что обуславливает сохранение высокой эффективности извлечения лития из водного раствора.

Таким образом, в результате исследования показано незначительные структурные превращения протонированного полтитаната калия в процессах литирования-делитирования и поддержание высокой ионообменной емкости на протяжении пяти циклов, что свидетельствует о его перспективности для обратимого извлечения лития из водных растворов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации № МК-2204.2022.1.3.

Список источников

1. Preparation of high hydrophilic H_2TiO_3 ion sieve for lithium recovery from liquid lithium resources / J. Sun [et al.] // *Chemical Engineering Journal*. – 2023. – V. 453. – P. 139485.
2. Kinetics of Ion-Exchange Extraction of Lithium from Aqueous Solutions by Protonated Potassium Polytitانات / M. Vikulova [et al.] // *Processes*. – 2022. – V. 10, № 11. – P. 2258.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ ПЛАВЛЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ БОРЬБЫ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Войтов А.С., Неваев А.Е.

*Новосибирский авиационный технический колледж
имени Б. С. Галуцака, г. Новосибирск*

В статье рассмотрен способ измерения теплоты плавления по методу «Дифференциальная сканирующая калориметрия» и его составные элементы.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, композиционные материалы, полимеры, удельная теплота плавления

Современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) применяются практически во всех отраслях жизни человека, в военных и гражданских сферах. В связи с этим возникает потребность в борьбе с вражескими БПЛА. Для борьбы с ними существует несколько методов, один из которых – лазерное воздействие, путем разрушения корпусных элементов. Сами корпусные элементы состоят из композитных и полимерных материалов, для разрушения которых необходимо знать некоторые тепловые характеристики, в нашем случае это теплота плавления. Проблема этого параметра в том, что он свободно доступен только для привычных материалов, а полноценного каталога для композитных и полимерных материалов нет. Связано это с постоянным развитием материала.

Целью работы является рассмотрение метода ДСК и подчеркивание актуальности темы.

Полимеры – органические или неорганические вещества. Состоят из отдельных звеньев-мономеров, соединенных в длинные цепи-макромолекулы.

Композиционные материалы (композиты) – многокомпонентные материалы, которые состоят из пластичной основы (матрицы), армированной наполнителями. Обладают высокой прочностью и жесткостью.

Удельная теплота плавления – физическая величина, равная количеству тепла, которое необходимо передать твердому телу, чтобы перевести его в другое агрегатное состояние.

Зная теплоту плавления можно определить количество тепла, переданное веществу при воздействии. Для разных веществ удельная теплота определяется экспериментально в лабораториях при помощи специального оборудования

Дифференциальный сканирующий калориметр (ДСК) – прибор для измерения разности тепловых потоков между образцом и эталоном.

Для проведения измерений требуются два тигля с крышками, испытуемый образец будет помещен в один из тиглей, а другой тигель будет использоваться в качестве эталона. Материал тигля определяется макси-

мальной температурой нагрева образца и исследуемого вещества, которое не должно вступать в реакцию с тиглем. В измерении чаще всего используются алюминий, золото, платину и корунд.

К исследованию допускаются любые твердые и жидкие вещества, которые не агрессивные по отношению к материалу тигля. Для получения качественных результатов масса исследуемого материала должна составлять не менее 4 мг, максимальный вес образца ограничивается объемом тигля, а масса исследуемого материала выбирается в соответствии с задачей.

В крышке каждого тигля обычно присутствует небольшое отверстие, которое помогает избежать деформации и разрыва тигля в результате повышенного внутреннего давления из-за теплового расширения воздуха, испарения воды и других летучих веществ при нагревании.

Пустой тигель для образца (с крышкой) взвешивают на весах с точностью около 0,1 мг и сбрасывают весы, после чего исследуемый образец помещают в тигель и взвешивается с эталоном.

Важно обеспечить максимальную площадь контакта между образцом и дном тигля. Чем больше площадь контакта, тем сильнее и точнее сигнал, регистрируемый калориметром.

Подготовленные к измерениям тигель-эталон и тигель с образцом помещают в специальную измерительную камеру. С помощью программного обеспечения составляется температурная программа измерений показателей.

При наличии в исследуемом образце процессов или переходов, связанных с поглощением или выделением тепла, на кривых дифференциально сканирующего калориметра появляются характерные пики и аномалии, исследование которых дает информацию о процессах, протекающих в исследуемом образце.

Различают эндотермические (поглощение тепла) и экзотермические (выделение тепла) аномалии ДСК.

Интерпретация данных в общем случае может быть довольно сложной задачей, особенно в случае наличия нескольких тепловых аномалий на кривой диаграммы, решение которых требует привлечения дополнительных способов исследования, дифракционных, оптических, диэлектрических и т. д. Однако в некоторых случаях, таких как плавление вещества или испарение некоторой его части, достаточно простого визуального наблюдения образца после измерения.

В данной работе был рассмотрен способ измерения теплоты плавления по методу ДСК и его составные элементы. Также были сделаны первые шаги для будущих разработок в области теплового излучения.

Список источников

1. Ситникова В. Е., Пономарева А.А., Успенская М.В. Методы термического анализа: практикум. – СПб.: Университет ИТМО, 2021. – 152 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АСКОРБАТОИЗОЛЕЙЦИНАТА МЕДИ

Гвозденко А.А.¹, Кузнецов Е.С.², Артюшин С.В.¹,
Голик А.Б.¹, Колодкин М.А.¹

Научный руководитель: к.т.н., доцент Блинов А.В.

¹ Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

² Ставропольский государственный медицинский
университет, г. Ставрополь

В рамках данной работы исследовали оптические свойства аскорбатойзолейцината меди. Синтез аскорбатойзолейцината меди проводили путем смешивания L-изолейцина, аскорбиновой кислоты, гидроксида бария, сульфата меди в водной среде. Показано, что в спектре поглощения аскорбатойзолейцината меди присутствует одна полоса поглощения с максимумом при $\lambda = 760$ нм, которая отсутствует у соединений, используемых для его синтеза, и характеризует образование комплекса меди с аскорбиновой кислотой и аминокислотой L-изолейцином.

Ключевые слова: медь, аскорбиновая кислота, L-изолейцин, хелатный комплекс, оптические свойства

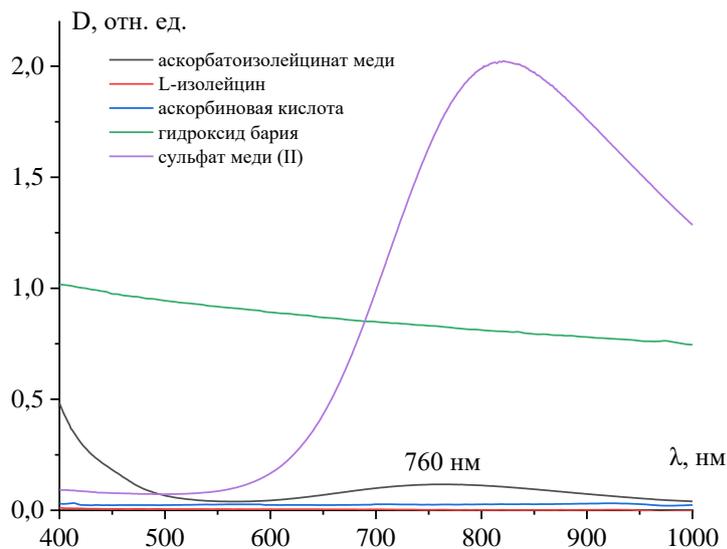
Макро- и микроэлементы обеспечивают поддержание гомеостаза в организме. При их недостатке многочисленные физиологические процессы нарушаются, что способствует развитию ряда алиментарно-зависимых заболеваний. Медь является важным микроэлементом, который входит в состав ферментов необходимых для формирования соединительной ткани, протекания многих биохимических реакции, регуляции гормонального фона [1]. Дефицит меди является одной из острых проблем современной нутрициология. По статистике, около 97 % людей имеют нарушения, связанные с дефицитом макро- или микроэлементов.

При недостатке меди в организме проявляются неврологические и гематогенные нарушения, которые сочетаются друг с другом и редко встречаются изолированно друг от друга. Гематологические изменения проявляются в виде анемии, тромбоцитопении и лейкоцитопении, а неврологические – в виде поражения центральной нервной системы. Оптимальным решением проблемы дефицита меди в организме, является потребление продуктов питания, обогащенных хелатными комплексами меди с высокой биологической доступностью. Таким образом, целью данной работы является синтез и исследование хелатных комплексов эссенциального микроэлемента меди с незаменимой аминокислотой L-изолейцином и аскорбиновой кислотой.

Для синтеза аскорбатойзолейцината меди смешивали L-изолейцин с аскорбиновой кислотой в мольном соотношении 1 : 1. Затем к полученной смеси добавляли гидроксид бария, дистиллированную воду и сульфат ме-

ди. Из полученного раствора удаляли сульфат бария центрифугированием при 3000 об/мин.

Полученный образец аскорбатаизолейцината меди исследовали методом оптической спектроскопии на установке СФ56 (ООО «ОКБ Спектр», Россия). После синтеза образец разбавляли в 10 раз дистиллированной водой. Для подтверждения образования комплекса исследовали оптические свойства веществ, используемых для синтеза аскорбатаизолейцината меди: аскорбиновая кислота, L-изолейцин, сульфат меди (II), гидроксид бария. Полученные спектры поглощения представлены на рисунке.



Спектры поглощения аскорбатаизолейцината меди и соединений, используемых в его синтезе

Как показал анализ рисунка, в спектрах поглощения аскорбиновой кислоты, L-изолейцина и гидроксида бария отсутствуют селективные полосы поглощения в видимой области спектра. В спектре поглощения сульфата меди (II) присутствует полоса поглощения с максимумом поглощения при $\lambda = 820$ нм. Важно отметить, что в спектре поглощения аскорбатаизолейцината меди присутствует одна полоса поглощения с максимумом при $\lambda = 760$ нм, которая отсутствует у соединений, используемых для его синтеза, и характеризует образование комплекса меди с аскорбиновой кислотой и аминокислотой L-изолейцином.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку функциональных молочных продуктов питания на основе аскорбатаизолейцината меди.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-76-00029.

Список источников

1. Angelova M. et al. Copper in the human organism // Trakia journal of sciences. – 2011. – Т. 9. – №. 1. – С. 88-98.

2. Василенко А. М., Шарипова М. М. Дефицит микроэлементов и проблема коморбидности // Микроэлементы в медицине. – 2019. – Т. 20. – № 1. – С. 4-12. – DOI 10.19112/2413-6174-2019-20-1-4-12.

3. Филатов Л. Б. Дефицит меди как гематологическая проблема // Клиническая онкогематология. Фундаментальные исследования и клиническая практика. – 2010. – Т. 3. – №. 1. – С. 68-72.

РОБОТИЗИРОВАННОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Гладков С.Д.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Нестеренко Г.А.

Омский государственный технический университет, г. Омск

Работа посвящена изучению модернизации узлов и элементов конструкции спецтехники. Описываются основные методы и технологии, используемые при модернизации. Предложен проект транспортного средства и даны рекомендации по его использованию.

Ключевые слова: модернизация, транспорт специального назначения, подвижность, робот

Производство, а также последующая модернизация транспортной инфраструктуры обуславливается необходимой мерой развития экономики государства. Это нужно для развития различных внутригосударственных отраслей промышленности, а также требуется для увеличения благосостояния посредством экспорта в иностранные государства. Именно поэтому на сегодняшний день одним из актуальных направлений является усовершенствование технологий, а также внедрение новых.

В настоящее время для обеспечения конкурентоспособности необходима постоянная модернизация узлов и агрегатов конструкций изделий. Модернизация конструкций транспортных средств позволит повысить как технические характеристики, так и динамические, а также улучшить их эксплуатационные свойства. Также это может привести к уменьшению времени производства, улучшению качества продукции и повысить уровень безопасности. Использование более современных оборудования и технологий позволяет снизить расходы на техническое обслуживание и ремонт оборудования, а также сократить количество бракованной продукции. Немало важным остаётся соблюдение всех экологических норм, а также стандартов при реализации проектов.

Одним из ключевых методов модернизации является использование новейших технологий. В частности, это связано не только с автоматизацией и механизацией процессов, но и с предъявляемыми требованиями под современные условия эксплуатации. Одним из таких инновационных решений в сфере транспорта является дистанционное управление транспорт-

ным средством. Роботизированный модуль устанавливается непосредственно в конструкцию ТС, в то время как управление осуществляется из любой точки в зависимости от зоны поражения. Использование такой технологии положительно отразится на безопасности труда человека, избавляя его от опасных рабочих процедур, таким образом, минимизирует вероятность возникновения несчастного случая.

Усиление силовой конструкции, механизмов, узлов и агрегатов являются неотъемлемой частью модернизации. Такие меры позволят добиться желаемого результата, но приведут к возрастанию веса установки, а также стоимости производства техники. Для урегулирования данной проблемы предлагается использование в качестве основной платформы полностью сварной высокотехнологичный трубчатый экзоскелет [1].

По сравнению с уже существующей техникой уменьшение таких показателей, как габариты и вес, позволит укомплектовать дополнительным оборудованием для последующего использования. Отличительной чертой экзоскелета является высокая прочность, универсальность и проста в изготовлении. За счёт таких улучшений показатель эффективности возрастёт. Таким образом, удастся добиться легко масштабируемых настраиваемых машин при внесении изменений в производственный процесс, что позволит уменьшить себестоимость разработки, производства, эксплуатации, а в дальнейшем и ремонта неисправностей.

Проходимость и подвижность является основным критерием для тяжёлой спецтехники. Так, зимой приходится передвигаться по покрытым глубоким снегом безлюдным просторам, а летом – по болотам и топкой грязи растаявшей тундры [2].



Силовая установка – трубчатый экзоскелет

Неподготовленная техника в суровых условиях теряет свою работоспособность, из-за чего требуется выбор надёжного способа передвижения, способного функционировать в непростых обстоятельствах, а также иметь отличную прочность и проходимость. Отличным решением будет исполь-

зование гусеничных шасси, которые давно зарекомендовали себя и имеют один из лучших показателей проходимости. Однако надлежит провести некоторое усовершенствование в целях обеспечения повышенной проходимости и маневренности. Модернизация осуществляется за счёт оснащения программным обеспечением, которое предоставит возможность изменения клиренса, изменения положения отдельных ведущих осей. Такие технологические решения позволят снизить некоторые ограничения в эксплуатации, а также расширить область применения.

Ввиду особенностей конструкции и технологичности применяемых решений, полученная разработка обладает практичностью и запасом гибкости, способной эксплуатироваться в нестандартных условиях. Как итог, представляет собой транспортное средство, оснащенное усиленными узлами и агрегатами. Основной задачей является свободное перемещение по пересечённой местности, возможность использования в труднодоступных условиях как для человека, так и других транспортных систем.

В дальнейшем для обеспечения безопасности окружающей среды необходимо принять меры по созданию экологически чистого вида топлива для сохранения. В настоящее время всё больше набирает актуальность тема электрификации передвижных средств, что позволяет свести загрязнение среды к минимальным значениям. При разработке предусматриваются модификации с установкой полностью электрического двигателя. Особенность конфигураций с электрификацией заключается в электротяге, то есть не используются нефтепродукты и ядовитые химические вещества типа антифриза и другие. Такое решение положительно повлияет на выбросы вредных газов в атмосферу по сравнению с двигателем внутреннего сгорания и подобных ему.

Принцип работы заключается в следующем. Благодаря своей компактности и особенностям подвески, транспорт используется в местах с повышенными требованиями проходимости. Устанавливается навесное оборудование, например, манипулятор, ковш, а также лебёдка, что позволяет самостоятельно загрузить, разгрузить и переместить что-либо. После чего доставляет груз до необходимого места дислокации.

В заключение можно отметить, что модернизация узлов и элементов конструкций изделий для различных отраслей промышленности является необходимым условием для повышения качества и функциональности изделий. Это позволяет улучшать жизнь людей и содействовать развитию общества в целом. Важно учитывать экологические аспекты при освоении региона, чтобы минимизировать воздействие на окружающую среду.

Список источников

1. Гусеничные вездеходы семейства Ripsaw EV3 // Военное образование. – URL: <https://topwar.ru/144917-gusenichnye-vezdehodysemeystvaripsaw-ev3-ssha.html> (дата обращения: 30.04.2023)

2. Щукин А.П. Пожарная машина на базе корпуса и двигателя боевой машины пехоты / А.П. Щукин, Г.А. Нестеренко, И.С. Нестеренко // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 88-1. С. 43-44.

АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ АУСТЕНИТНОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ С ДОБАВЛЕНИЕМ СЕРЕБРА К БАКТЕРИЯМ CLAVIBACTER

Горбенко А.Д., Каплан М.А.

Научный руководитель: к.т.н. доцент Фахуртдинов Р.С.

*Институт металлургии и материаловедения
им. А.А. Байкова РАН, г. Москва*

В статье рассматривается получение нержавеющей медицинской стали антибактериальных свойств при добавлении серебра.

Ключевые слова: нержавеющая сталь, бактерии Clavibacter, серебро, антибактериальные свойства.

При создании имплантатов с коротким сроком службы, например, фиксирующих кости конструкций, наиболее применяемыми являются коррозионностойкие медицинские стали [1, 2]. Эти стали отличаются устойчивостью к воздействию жидкостей человеческого тела, не воспринимаются им агрессивно и выделяются относительной доступностью по отношению к другим применяемым сплавам [3]. При этом, несмотря на подходящие свойства материала, при проведении операций есть риск бактериального заражения пациента [4], которое может повлечь за собой необходимость повторного вмешательства из-за течения болезни или чрезмерных коррозионных процессов, вызванных изменением среды в ходе иммунного ответа.

Этот риск можно нивелировать различными способами, от нанесения лекарств на поверхность изделия перед вживлением до применения покрытий, повышающих нужные свойства. При этом следует принимать во внимание существующую проблему существования бактерий, способных противостоять воздействию современных лекарств [5], что наиболее характерно именно для медицинских учреждений. Борьба с подобными инфекциями может оказаться не по силам подорванному здоровью пациента. Поэтому модифицирование имплантатов с целью получения антибактериальных свойств является актуальным методом снижения подобных рисков.

Благодаря своим свойствам серебро нарушает процессы воспроизводства множества бактерий, особенно таких, которым свойственно существование исключительно в живых организмах. Это важное свойство оно сохраняет и при использовании в качестве компонента сплава [6]. Исходя

из обозначенного выше, в качестве объекта исследования были выбраны антибактериальные свойства медицинской нержавеющей аустенитной стали с добавлением серебра.

Для исследования в вакуумной печи выплавлена хромоникельмолибденовая сталь, на основе которой создали два дополнительных состава с разным содержанием серебра. Химический состав полученных сталей приведен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав коррозионностойких сталей.

	C	Cr	Ni	Ag	Si	Mn	Mo	P	S	N
Сплав №1	0,023	16,75	10,09	0	0,43	1,82	2,05	0,041	0,009	0,073
Сплав №2	0,023	16,75	10,09	0,2	0,43	1,82	2,05	0,041	0,009	0,073
Сплав №3	0,023	16,75	10,09	0,5	0,43	1,82	2,05	0,041	0,009	0,073

Для определения бактерицидного воздействия сталей испытания проводились на *Staphylococcus aureus* subsp. Это бактерии, относящиеся к группе грамположительных неспорообразующих палочек неправильной формы. Их выделяют из зараженных растений.

При проведении работы по центру каждой чашки Петри со штаммом, за исключением контрольных, располагают одну пластину из испытываемой стали. Далее засеянные чашки с изучаемыми пластинами оставляют в термостате, где проводят инкубацию. Она длится от 4 до 7 суток при температуре +28°C. Выросшие колонии пересевают на агар Буркхолдера. Чашки с питательным агаром без пластин являются контрольными. Пример представлен на рис. 1.

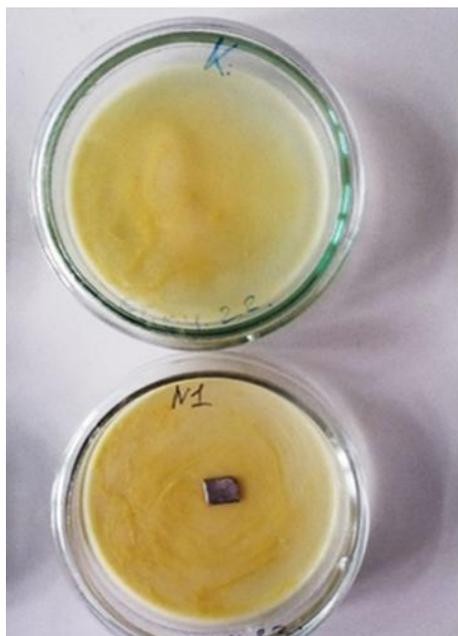


Рис. 1. Чашки Петри с образцом состава 1 и контролем

Бактерицидное воздействие сплавов оценивали на посев по уровню задержки роста бактерий вокруг пластин. Диаметр зон задержки роста бактерий вокруг пластин определялся с помощью штангенциркуля.

По завершению эксперимента, где исследовалась антибактериальная эффективность полученных материалов по отношению к бактериям *Clavibacter* на обоих вариантах стали, легированной серебром (№2, №3), наблюдался антибактериальный эффект (рис. 2).



Рис. 2. Чашки Петри контрольные и с образцами после инкубации

В ходе исследований получены результаты испытаний на антибактериальные свойства аустенитной нержавеющей стали с различным содержанием серебра. Было обнаружено, что содержания серебра в 0,2 и 0,5 процента по массе достаточно, чтобы материал подавлял рост и развитие вредоносных бактерий, в частности, рода *Clavibacter*.

Список источников

1. Коррозионностойкие стали в аддитивном производстве / А. Г. Колмаков, А. Ю. Иванников, М. А. Каплан, А. А. Кирсанкин, М. А. Севостьянов. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2021. – Т. 65. – № 9. – С. 619-650. – DOI 10.17073/0368-0797-2021-9-619-650.
2. ГОСТ 30208-94. Инструменты хирургические. Металлические материалы. Ч. 1 Нержавеющая сталь. – Москва: Изд-во стандартов, 01.10.2002. – 7 с.
3. Биодegradация и коррозия биоматериалов. – URL: <https://medbe.ru/>. (дата обращения: 15.01.2022).

4. B.A. Rogers, N.J. Little, Surgical site infection with methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* after primary total hip replacement, *J. Bone & Joint Surgery–British* 90 (2008) 1537–1538.

5. M.K. Rai, S.D. Deshmukh, A.P. Ingle, A.K. Gade, Silver nanoparticles: the powerful nanoweapon against multidrug-resistant bacteria, 11 February 2012.

6. M. Mirzaee, M. Vaezi, Y. Palizdar, Synthesis and characterization of silver doped hydroxyapatite nanocomposite coatings and evaluation of their antibacterial and corrosion resistance properties in simulated body fluid, *Mater. Sci. Eng. C* 69 (2016) 675-684.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО БОРИРОВАНИЯ НА ТОЛЩИНУ И МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 12X18H9T

Кириллов Н.И., Барабанова Е.В.

Научный руководитель: к.х.н., доцент Гоц И.Ю.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

Диффузионные слои на основе бора обладают большим потенциалом применения в ковке и литье под давлением благодаря их благоприятным механическим и теплофизическим свойствам. Текущая работа, направленная на анализ микроструктуры и износостойких свойств слоев Fe₂B, сформированных на поверхности из стали 12X18H9T.

Ключевые слова: борирование, микроструктура, износостойкость, сталь

Твердые слои толщиной в несколько микрон широко применяются для улучшения эксплуатационных характеристик инструментов, например, для резки, формования и литья, а также компонентов, например, в автомобильной и аэрокосмической промышленности. Потери, вызванные трением и трибологическим износом, достигают чрезвычайно высоких цифр. Интерполяция данных за 1985 год показывает, что в 2000 году экономические потери в Германии составили примерно 2-3% от валового национального продукта. Это составляет от 30 до 40 миллиардов евро в год. Эти затраты на потери вызваны потерями на трение при остановках машин, ремонте и производстве, а также потерями из-за недостаточного качества продукции. За последние 30 лет было разработано несколько семейств покрытий [1-6]. В частности, боридный слой обеспечивает высокую твердость поверхности, хорошие трибологические свойства и умеренную стойкость к окислению при высокой температуре. В частности, морфология боридных слоев в

сплавах железа зависит от легирующих элементов, присутствующих в матрице.

В качестве используемого материала использовалась сталь 12Х18Н9Т. Это высококачественная коррозионностойкая, жаростойкая, жаропрочная сталь аустенитного класса. Применяется для изготовления сварных и не сварных деталей самолетов, двигателей и агрегат строения, работающих при температуре до 800°С [3.4].

Для борирования использовалась специальная установка, в состав которых входит: ванна для борирования, система питания током и система автоматического контроля и регулирования температуры, печь для термической обработки. Обрабатываемое изделие подключается в качестве катода, бор содержится в составе электролита. При включении устанавливается сила тока 0,2 А/см². Изделие полностью погружается в раствор электролита, и выдерживают в нем в течение 1 часа при температуре 25°С. После электрохимической обработки изделие обжигается в муфельной печи при температуре 750 С° в течение 40 минут. За это время происходит необходимая диффузия бора в поверхностном слое обрабатываемого изделия, не приводя к деформации.

Стоит отметить, что дальнейшее увеличение времени закалки или повышение температуры приводит к фазовому переходу и образованию боридов 2 порядка, как следствие существенному увеличению твердости и повешению хрупкости. После окончания процесса деталь извлекают из печи и охлаждают на воздухе.

После борирования образовался диффузионный слой с неоднородной микроструктурой, характеризующийся толщиной до 180 мкм. Полученный слой может быть разделен на четыре структурные зоны, каждая на определенной глубине слоя. Пористая внешняя зона 1 содержит кристаллы двух типов – легкие мелкие и крупные острые кристаллы, внедренные в более мягкую матрицу. Зона 2 расположена снизу и характеризуется наличием серых и светлых кристаллов мелкой или удлиненной формы, отображаемых в матрице, как и в предыдущей зоне. Зона 3 состоит из игл бейнита, окруженных легкой сеткой второй фазы. Верхняя зона основного металла может быть обозначена как переходный подслой и обозначена как зона 4, где наблюдается мартенситная структура (рис. 1, 2 и таблица).

Исследование влияние потенциала катодной поляризации
на толщину и пористость боридного слоя

Номер образца	Н, мкм	П, %	S, см ²	-E _{кп} , В
1 не борированный	-	40	11,8	-
2	80	42	10,8	-2,2
3	140	46	11,7	-2,4
4	180	46	12,2	-2,6

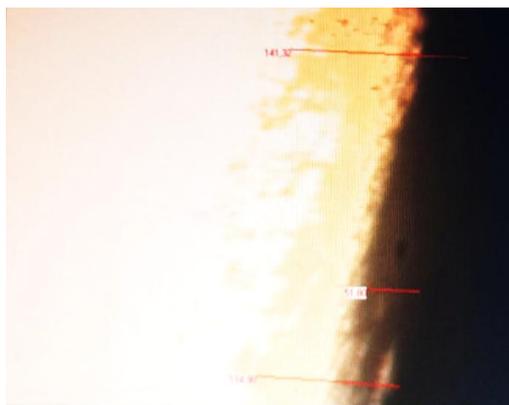


Рис. 1. Микрошлиф борированной стали 12Х18Н9Т в условиях потенциостатического включения при потенциале $-2,4$ В в течение 1 часа

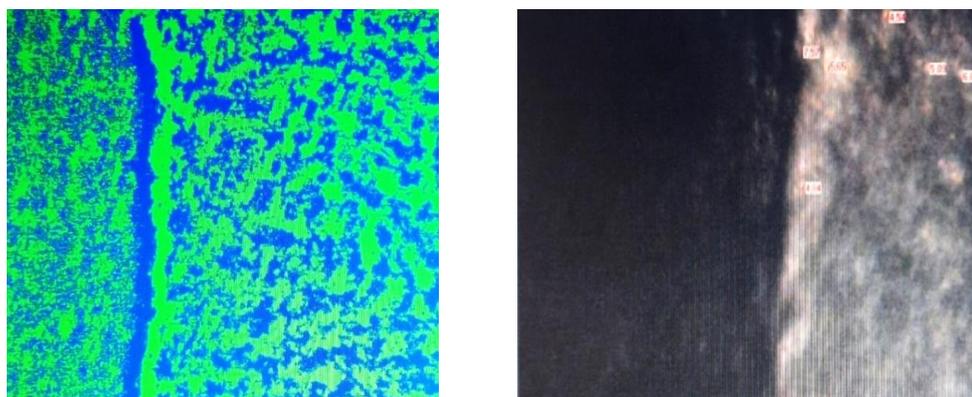


Рис. 2. Микроструктура и пористость борированной стали 12Х18Н9Т в условиях потенциостатического включения при потенциале $-2,4$ В в течение 1 часа. Ширина кадра 360 мкм

В результате этого исследования были получены следующие результаты: борирование привело к образованию слоя $\text{FeB}/\text{Fe}_2\text{B}$ со структурой, подобной зубу. Можно выделить четыре подслоя (зоны), каждый из которых обладает определенной микроструктурой и свойствами. Толщина слоя была увеличена в пять раз по сравнению с чистым борированием и достигла 180 мкм. Природа образования гетерогенной микроструктуры пока не установлена.

Список источников

1. Kulka, M. Trends in thermochemical techniques of boriding. In *Current Trends in Boriding, Engineering Materials*; Springer: Cham, Switzerland, 2019; pp. 17–98.

2. Campos-Silva, I.; Palomar-Pardavé, M.; Pérez Pastén-Borja, R.; Kahvecioglu Feridun, O.; Bravo-Bárceñas, D.; López-García, C.; Reyes-Helguera, R. Tribocorrosion and cytotoxicity of $\text{FeB}-\text{Fe}_2\text{B}$ layers on AISI 316 L steel. *Surf. Coat. Technol.* 2018, 349, 986–997.

3. Ribeiro, R.; Ingole, S.; Usta, M.; Bindal, C.; Ucisik, A.H.; Liang, H. Tribological characteristics of boronized niobium for biojoint applications. *Vacuum* 2006, 80, 1341–1345.

4. Keddam, M.; Kulka, M. A kinetic model for the boriding kinetics of AISI D2 steel during the diffusion annealing process. Prot. Met. Phys. Chem. Surf. 2018, 54, 282–290.

5. Timur, S.; Kartal, G.; Eryilmaz, O.L.; Erdemir, A. US Patent No. 8,951,402, 10 February 2015.

6. Xie, F.; Sun, L.; Cheng, J. Alternating current field assisted pack boriding to Fe₂B coating. Surf. Eng. 2013, 29, 240–243.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СОРБЦИИ ИЗ РАСТВОРОВ ИОНОВ МЕДИ (II) ГИДРАТИРОВАННЫМ ОКСИДОМ СУРЬМЫ (V)

Губин Д.А., Коваленко Л.Ю.

Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор Бурмистров В.А.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск

В статье приведены результаты по сорбции ионов меди (II) гидратированным оксидом сурьмы (V). Установлено, что на величину ионообменной ёмкости сорбента влияет состав модельного раствора: при сорбции ионов меди (II) из раствора CuSO₄ + NH₄Cl – составляет 0,6 ммоль/г, из CuCl₂ + NH₄Cl выше и составляет 2,7 ммоль/г. Методом рентгеноструктурного анализа определено, что при сорбции не разрушается кристаллическая решётка сорбента.

Ключевые слова: гидратированный оксид сурьмы (V), структура типа пирохлора, сорбция ионов меди из растворов

Перед металлургическими предприятиями остро стоит вопрос поиска технологий очистки жидких отходов от токсичных и тяжёлых металлов перед спуском их в водоёмы. Сложный состав отходов гальванических и травильных производств, нестабильная кислотность растворов затрудняет использование стандартных технологий – органических флокулянтов, осадителей. Перспективным направлением является подбор неорганических сорбентов, которые имеют ажурный каркас с каналами диаметром до 1 нм, в которых расположены высокоподвижные ионы [1-5]. К таким соединениям относится гидратированный оксид сурьмы состава Sb₂O₅·nH₂O, 2<n<5, кристаллизующийся в структурном типе пирохлора (пр. гр. симм. Fd3m): каркас структуры формируют ионы [SbO₃]⁻, в каналах расположены ионы H⁺, H₃O⁺ и молекулы H₂O [4, 5].

В связи с этим целью работы было определение ионообменной ёмкости гидратированного оксида сурьмы (далее – сорбент) по отношению к ионам меди (II). В качестве объектов исследования были выбраны модельные растворы, которые по составу близки к отходам медеплавильных производств.

Ионный обмен проводили в статическом режиме: навески сорбента массой 0,3 г поместили в модельные растворы: 1-й раствор – 50 мл 0,1М-го раствора CuSO_4 и 10 мл 0,1 М-го раствора NH_4Cl ; 2-й раствор – 50 мл 0,1 М-го раствора CuCl_2 и 10 мл 0,1М-го раствора NH_4Cl . Сорбция проводилась в течение 7 суток. После чего были проанализировали маточные растворы на содержание ионов Cu (II). Определение содержания меди в маточных растворах проводили фотометрическим методом, основанным на реакции образования аммиаката меди синего цвета. Непосредственно перед самым фотометрическим определением подобрали оптимальную длину волны, при которой наблюдали максимум светопоглощения раствора: $\lambda = 600$ нм. Использовали однолучевой спектрофотометр ПЭ-5300ВИ, 325-1000 нм.

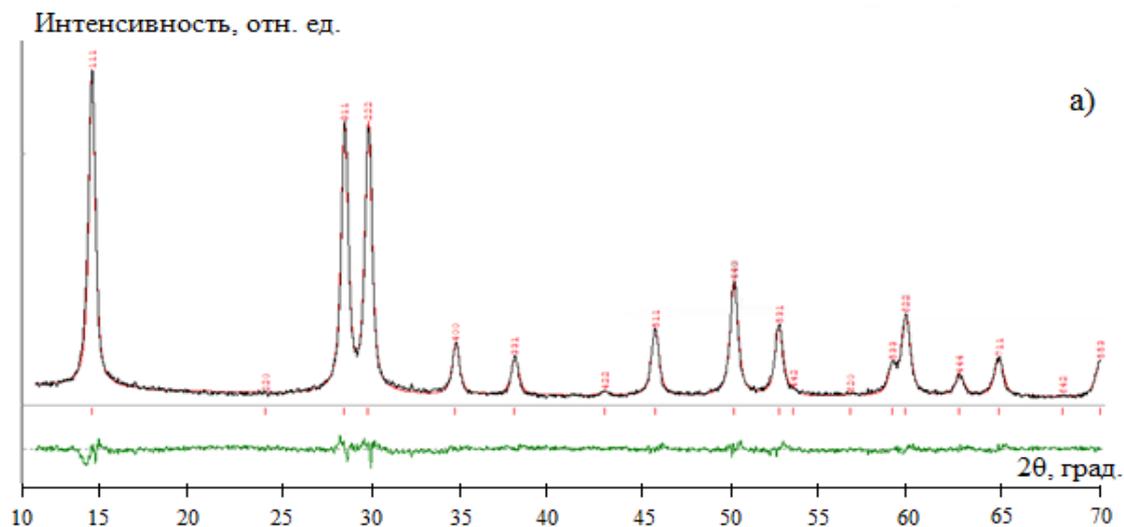
Рентгеновские исследования проводили методом порошка на ДРОН-3М ($\text{CuK}\alpha$ -излучение) в диапазоне углов дифракции $10 \leq 2\theta \leq 70$ град. Рентгеноструктурные исследования провели с помощью программы PowderCell 2.4.

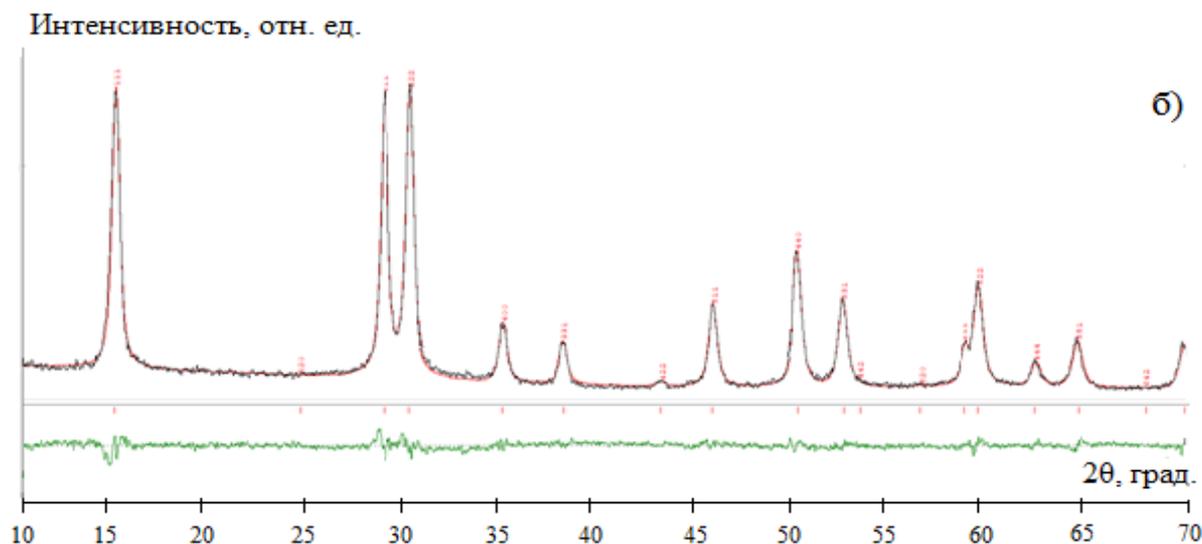
В таблице приведены значения ионообменной ёмкости сорбента с учетом данных по анализу маточных растворов.

Результаты анализа маточных растворов на содержание ионов Cu (II)

Раствор	Исходное количество Cu (II), мг/мл	Количество Cu (II) после адсорбции, мг/мл	Ионообменная ёмкость сорбента, ммоль/г
1	6,4	6,2	0,6
2	6,4	5,5	2,7

Согласно данным рентгеновского анализа, полученные образцы кристаллизуются в структурном типе пирохлора. Параметры элементарных ячеек составляют: 10,32 Å. Наилучшую сходимость с теоретической рентгенограммой удалось получить по 227(2) пространственной группе, при размещении ионов Sb в 16c позициях, O в 48f и 32e позициях, а ионов Cu в 16d-позициях. Ошибка Rp составила менее 10% (рисунок).





Дифрактограммы сорбента после сорбции ионов Cu (II) из раствора 1 (а), 2 (б).
Снизу приведена разностная рентгенограмма (расхождение между теоретической и экспериментальной рентгенограммами)

Установлено, что гидратированный оксид сурьмы (V) извлекает из растворов ионы Cu (II), однако количество сорбируемых ионов на грамм сорбента зависит от состава модельного раствора. Согласно экспериментальным данным, значение ионообменной ёмкости сорбента при сорбции ионов Cu^{+2} из раствора $\text{CuSO}_4 + \text{NH}_4\text{Cl}$ составляет 0,6 ммоль/г, при сорбции из $\text{CuCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$ выше и составляет 2,7 ммоль/г. При сорбции не разрушается кристаллическая решётка ПСК. Согласно рентгеноструктурному анализу, наилучшее совпадение теоретической и экспериментальной рентгенограмм достигается при размещении ионов Cu (II) в 16d позициях структуры.

Список источников

1. Ярославцев А.Б. Основные направления разработки и исследования твердых электролитов // Успехи химии. – 2016. – Т. 85. – № 11. – С. 1255-1276.
2. Уэллс А. Структурная неорганическая химия. – М.: Мир, 1987. – Т. 1. – 407 с.
3. Иванов-Шиц А.К., Мурин И.В. Ионика твердого тела:– Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 2000. – Т. 1. – 616 с.
4. Subramanian M.A., Aravamudan G., Rao G.V.S. Oxide pyrochlores. – a review // Progress in Solid State Chemistry. – 1983. – V. 15. – № 2. – P. 55-143.
5. Чернышев В.А., Петров В.П., Никифоров А.Е. Динамика решётки редкоземельных титанатов со структурой пирохлора $\text{R}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ (R = Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu): *ab initio* расчет // Физика твёрдого тела. – 2015. – Т. 57. – № 5. – С. 982-987.

СПЕЦИФИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12Х18Н10Т, РАЗНЫХ ГОДОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ С ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫМ СТЕКЛОМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕКЛЯННЫХ ТРУБ

Гостев С.Д., Давыдова А.Р., Сидорова С.А.
Научный руководитель: к.х.н., доцент Гоц И.Ю.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В работе рассматривается вопрос возможного использования нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т в качестве материала для изготовления формообразующей оснастки при производстве стеклянных изоляторов из электровакуумного стекла марки С93-3М, широко применяемых в радиоэлектронной промышленности.

Ключевые слова: нержавеющая сталь, электровакуумное стекло, химическое взаимодействие, окисная пленка

Производство любых стеклянных изделий сопровождается большим количеством видов брака [1], возникающих на разных этапах производства. Они ухудшают качество изделия, а в некоторых случаях не позволяют его использовать совсем. Особенно отсутствие брака важно при использовании стеклянных изделий в электронной промышленности, где стеклянные изделия (трубки) используются в качестве изоляторов металлических выводов. Одним из часто встречающихся видов брака в стеклянных трубках, являются газовые пузыри, появляющиеся в массе стекла во время выработки.

Возможной причиной появления газовых пузырей может стать наличие металлических частей в формообразующей оснастке, используемой для формирования профиля изделия [2, 3], а точнее химическая реакция, во время производства, между расплавленным стеклом и металлом. Так, в патенте [3] указано, что в качестве материала для изготовления формообразующей оснастки может применяться нержавеющая сталь марки 12Х18Н10Т.

Целью данной работы является исследование химической активности стали 12Х18Н10Т при контакте со стеклом марки С93-3М, активно используемом для изготовления корпусов магнитоуправляемых контактов (герконов), в процессе производства [3].

В качестве материала были использованы стеклянные блоки марки С93-3М (химический состав указан в табл. 1) одной партии (т. е. стекло с одинаковыми химико-физическими свойствами, такими как ТКЛР и КСП) и даты выработки (для предотвращения различий в химическом составе); образцы стали 12Х18Н10Т (ГОСТ 5949-75, состав указан в табл. 2) (2020 года изготовления и 1970 года, для дополнительного контроля используемого сплава).

Таблица 1

Химический состав электровакуумного стекла С93-3М

SiO ₂	BaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Li ₂ O	F	SrO
69,0%	6,5%	4,7%	3,6%	11,5%	2,9%	0,5%	0,2%	1,1%

Таблица 2

Химический состав нержавеющей стали 12Х18Н10Т

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Cu	W	Fe
<0,12	<0,8	<2,0	<0,035	<0,02	17,0-19,0	<0,5	9,0-11,0	<0,2	<0,8	<0,4	<0,2	остальное

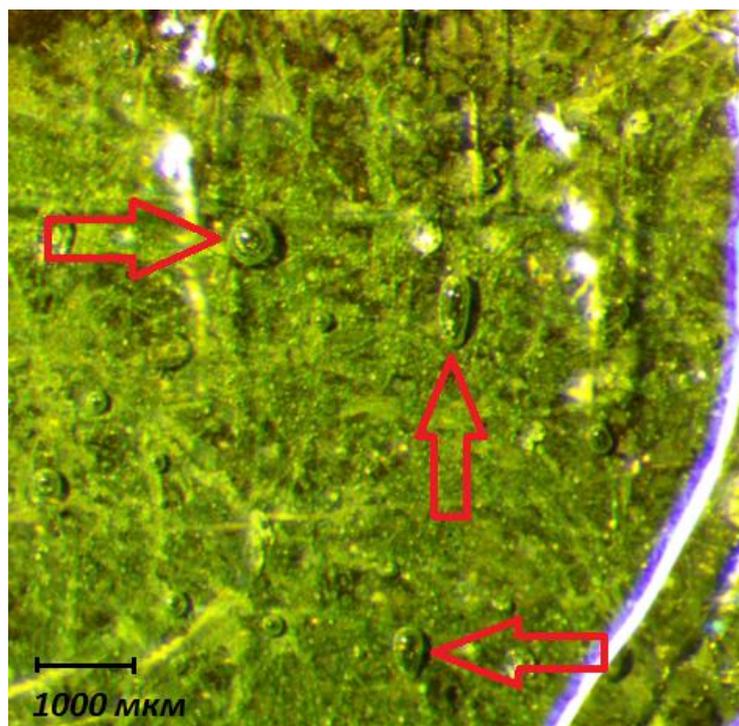
Для проведения эксперимента были изготовлены несколько комплектов оснастки из выбранных нами сталей (О.1 – сталь 12Х18Н10Т 2020 года изготовления; О.2 – сталь 12Х18Н10Т 1970 года изготовления) и на каждом из них проведено несколько производственных циклов. Результаты показаны в табл. 3.

Таблица 3

Результаты разбраковки полученной продукции из стекла С93-3М с использованием оснастки из стали 12Х18Н10Т

Тип фильеры	Номер эксперимента	Общее количество полученной продукции из 1 стеклянного блока, %	Общее количество отбракованной продукции из полученной, %	Количество продукции, отбракованной по причине большого количества газовых пузырей, %
О.1	1	85,00	100,00	100,00
О.1	2	81,00%	98,00%	97,00%
О.2	1	83,00%	7,00%	5,00%
О.2	2	84,00%	10,00%	8,00%

Из табл. 3 видно, что количество отбракованной продукции, при использовании О.1, составило практически 100 % и основной причиной брака являлось наличие газовых пузырей. В свою очередь при использовании О.2 количество отбракованной продукции из-за присутствия пузырей в массе стекла составило в среднем 6,5 % от общего веса всей полученной продукции. После проведенного эксперимента остеклованные поверхности фильер были осмотрены под микроскопом с увеличением в 16 раз. На поверхности оснастки О.1, наблюдалось большое количество газовых пузырей (рисунок) диаметром до 800 мкм. При этом при осмотре остеклованной поверхности оснастки О.2 пузыри практически не наблюдались, а присутствующие были в несколько раз меньше по диаметру, чем пузыри на оснастке О.1. Было сделано предположение, что сталь 1970 года имеет специфическое покрытие (защитную – окисную пленку), причиной появления которой могла стать особенность производства данного вида стали в 1970 году.



Фотография поверхности оснастки из стали 12X18H10T 2020 года изготовления, после производственного цикла по переработке стеклянного блока марки С93-3М в продукцию. Красными стрелками указаны газовые пузыри

Появилось предположение, что данная пленка препятствует активной химической реакции между сталью и расплавом стекла [4].

Было принято решение попытаться получить защитную окисную пленку на поверхности стали 12X18H10T 2020 года изготовления путем дополнительной термической обработки в муфельной печи по одному из классических методов для данного вида стали [5]: закалка при 950°C в течение 30 минут, затем отпуск в воздушной среде при 600°C в течение 1,5 часов и полное охлаждение заготовки также в воздушной среде в течение 12 часов.

После чего количество отбракованной продукции на производстве, при использовании оснастки изготовленной из стали 12x18h10t 2020 года, по причине газовых пузырей снизилось примерно в 2 раза. Для подтверждения результата данный эксперимент был повторен 4 раза. Все 4 эксперимента показали примерно одинаковый результат: снижение количества отбракованной продукции по причине наличия газовых пузырей от 1,5 до 2,5 раз.

Проведенные эксперименты показали, что использование стали 12X18H10T при изготовлении стеклянных изделий [3], из стекла марки С93-3М, возможно при наличии защитной (окисной) пленки на поверхности данной стали, которую возможно получить при помощи дополнительной термической обработки.

Также было показано, что при отсутствии данной пленки, взаимодействие расплавленной стекломассы и стали 12X18H10T приводит к хи-

мической реакции с выделением большого количества газовых пузырей, которые во время производства наблюдаются на продукции, делая ее не пригодной для дальнейшего использования.

Исследование выполнено при технической поддержке ООО «ТОСС» г. Саратов

Список источников

1. Шур И.С. Борьба с браком в стеклянных изделиях/ И.С. Шур. – Ленинград: Гос. изд-во легкой промышленности, 1935. – 118 с.
2. Авт. Свид. 753794 СССР, М. Кл³ С 03 В 17/04. Установка для получения стеклянных трубок и прутков / Е. З. Силаев, В. П. Лысенков, И. Я. Яникин, В.П. Овчинников, А. А. Кудинов, Д. К. Саттаров, Н. В. Журавлева; заявл. 05.07.78; опубл. 07.08.80, Бюл. № 29. – 6 с.
3. Патент 2618245 Рос. Федерация, МПК С 03 В 37/08. Фильера для изготовления стеклянного стержня (варианты) / А. В. Щербаков, И. А. Щербаков ; патентообладатель ООО Т. О .С. С. – № 2016103495; заявл. 03.02.2016; зарегистр. 03.05.2017; опубл. 03.05.2017, Бюл. № 13. – 9 с.
4. Козлов В.А.Месник., М.О. Основы коррозии и защиты металлов: учеб. пособие / Иван. гос. хим. – технол. ун-т. – Иваново, 2011. – 177 с.
5. Борздыка А. М. Термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов / А. М. Борздыка, В. З. Цейтлин. – Москва: Изд-во Машиностроение, 1964. – 247 с.

ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ АВИАЦИОННЫХ СПЛАВОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

Дмитриева М.О.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Мельников А.А.,
к.т.н., доцент Носова Е.А.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара*

В статье рассмотрены особенности формирования микроструктуры алюминиевого сплава АЛ4 и титанового сплава ВТ6 при изготовлении деталей методом селективного лазерного сплавления.

Ключевые слова: микроструктура, титановый сплав, алюминиевый сплав, аддитивное производство, селективное лазерное сплавление

Развитие аддитивных технологий в аэрокосмической отрасли является актуальной задачей для современных исследователей, обоснованной в Стратегии развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года [1].

Применение новых методов аддитивного производства позволяет создавать изделия сложной геометрической формы с заданными прочностными характеристиками, которые ранее не представлялось возможным изготовить традиционными способами. Кроме того, освоение аддитивных технологий существенно сокращает время от разработки изделия до выпуска готовой продукции за счет снижения количества этапов технологического процесса. Функциональность, снижение производственных отходов, возможность кастомизации – все это делает аддитивные технологии востребованными в авиации, двигателестроении и ракетно-космической индустрии. Следует отметить, что аддитивное производство сопровождается минимальными расходами используемого материала, что делает его безопасным и экологичным.

Одним из наиболее востребованных методов аддитивного производства является селективное лазерное сплавление (Selective Laser Melting, SLM) – процесс «выращивания» изделия на подложке путем избирательного плавления металлического порошка в соответствии с трехмерной моделью с помощью лазера высокой мощности.

В рамках процесса SLM детали изготавливаются, как правило, на подложке, называемой платформой построения, с применением «поддержек» – ячеистых опорных конструкций, изготовленных из того же материала, что и сама деталь, позволяющих легко отсоединять изделие от платформы построения.

Метод SLM в сравнении с традиционными методами производства имеет ряд преимуществ, которые заключаются в отсутствии необходимости использования дорогостоящей оснастки, сокращении цикла проектирования и производства изделия, снижении трудозатрат и возможности вторичной переработки используемого порошка. Процесс SLM позволяет использовать меньше сырья для производства изделий благодаря возможности проектирования конструкций со специфической геометрией, обеспечивающей снижение веса детали при сохранении заданных прочностных свойств.

К недостаткам метода SLM относятся такие факторы, как высокая шероховатость поверхности получаемого изделия, проблемы с обеспечением формирования требуемой микроструктуры, наличие остаточной пористости и несплавлений. Следует отметить, что микроструктура обеспечивает материалу заданные свойства и, как следствие, оказывает значительное влияние на качество готового изделия [2-3].

Целью данной работы является изучение микроструктуры образцов, полученных из титанового сплава ВТ6 и алюминиевого сплава АЛ4 методом селективного лазерного сплавления.

Объектами исследования являются цилиндрические образцы для испытаний на одноосное растяжение, которые изготавливались с помощью установки для селективного лазерного сплавления SLM Solutions SLM

280НЛ. После испытаний на растяжение, проводимых с помощью разрывной машины ИР-5113-100, образцы подвергались разрезке на сегменты для дальнейшего изготовления металлографических шлифов в продольном и поперечном сечении. Металлографические исследования проводились с помощью оптического микроскопа Olympus GX51. Электронно-микроскопические исследования осуществлялись на растровом электронном микроскопе TESCAN Vega SB, оснащенный микрорентгеноспектральной приставкой INCAx-Act.

Анализ микроструктуры образцов из сплава ВТ6 после химического травления в растворе плавиковой кислоты показал, что материал после SLM имеет пластинчатую микроструктуру, состоящую из отдельных пластин α' -фазы титанового игольчатого мартенсита. Характерная для данной технологии «трековая» структура не наблюдается, переход между отдельными гранулами характеризуется резкой переориентацией пластин игольчатого мартенсита. Микротрещины, несплавления, остаточная пористость и другие дефекты структуры не наблюдаются (рис. 1).

Анализ микроструктуры образцов из алюминиевого сплава АЛ4 после химического травления с помощью раствора Келлера показал, что наблюдается характерная для данной технологии «трековая» структура. Сечения треков разного размера состоят из равномерно распределенных ячеек, сформированных в результате кристаллизации ванны расплава в процессе SLM (рис. 2).

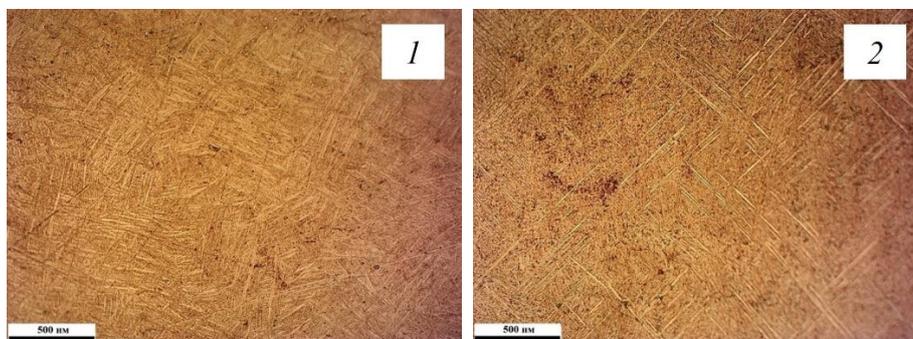


Рис. 1. Микроструктура образцов из титанового сплава ВТ6 после SLM, увеличение $\times 500$ (1 – поперечное сечение; 2 – продольное сечение)

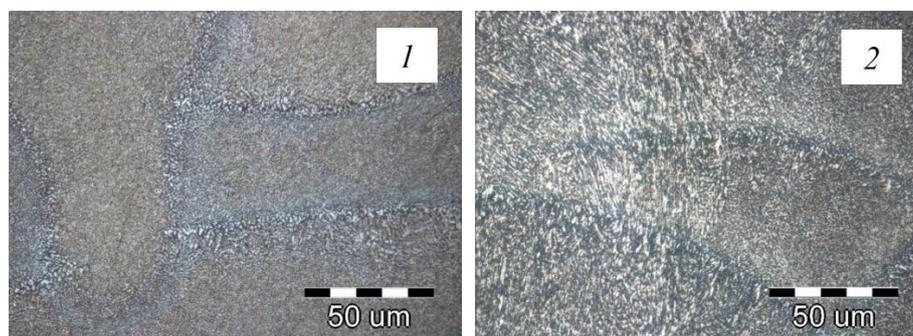


Рис. 2. Микроструктура образцов из алюминиевого сплава АЛ4 после SLM, увеличение $\times 1000$ (1 – поперечное сечение; 2 – продольное сечение)

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что формирование микроструктуры образцов в процессе селективного лазерного сплавления зависит от особенностей применяемого сплава и его химического состава. Формирование трековой структуры алюминиевого сплава, обусловленное образованием ванны расплава в результате поочередного прохождения лазера с заданным шагом, характерно для данной технологии. В структуре титанового сплава, напротив, отсутствуют треки, наблюдается пластинчатая структура, схожая со структурой сплава ВТ6 в закаленном состоянии.

Установленные особенности формирования микроструктуры различных сплавов необходимо учитывать при конструировании и производстве деталей по технологии селективного лазерного сплавления.

Список 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. Каблов Е.Н. Материалы и технологии ВИАМ для «Авиадвигателя» // Пермские авиационные двигатели. 2014. № 31. С. 43-47.
3. Gu D.D., Meiners W., Meiners W., Wissenbach K., Poprawe R. Laser Additive Manufacturing of Metallic Components: Materials, Processes, and Mechanisms // International Materials Reviews. 2012. V. 57. P. 137-164.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОТОННЫХ ПУЧКОВ НА ЧАСТИЦЫ ОКСИДА ЦИНКА С РАЗЛИЧНОЙ МОРФОЛОГИЕЙ В GEANT4

Дудин А.Н., Юрина В.Ю.

Научный руководитель: д.ф.-м.н., доцент Нещименко В.В.

Амурский государственный университет, г. Благовещенск

В статье представлено воздействие протонных пучков, на частицы оксида цинка различной морфологией поверхности, выполненное с использованием системы библиотек для компьютерного моделирования Geant4. Рассчитаны концентрации первичных дефектов для исследуемых частиц оксида цинка.

Ключевые слова: моделирование, протонное облучение, оксид цинка, морфология поверхности, дефекты, пары Френкеля, Geant4

Несмотря на то, что исследования ZnO в микроэлектронике продолжают уже несколько десятилетий, в последнее время интерес к получению наноструктур этого материала значительно возрос. Это объясняется тем, что ZnO обладает более высокой энергией экситонного возбуждения, лучшей устойчивостью к радиации и является многофункциональным ма-

териалом, который обладает пьезоэлектрическими, ферроэлектрическими и ферромагнитными свойствами по сравнению с другими полупроводниковыми материалами [1].

Наночастицы оксида цинка используются в качестве отражающих элементов на космических аппаратах для поддержания функционирования терморегулирующей системы. Среди других исследуемых материалов, порошки на основе оксида цинка обладают наибольшей устойчивостью к космическому излучению, как со стороны частиц, так и со стороны квантов электромагнитного излучения. В ходе эксплуатации на орбите покрытия подвергаются воздействию космического излучения, что приводит к образованию дефектов в наночастицах. Количество наведенных дефектов увеличивается со временем, что снижает коэффициент диффузного отражения и увеличивает коэффициент поглощения материала за счет появления дополнительных полос поглощения. Для продления срока службы покрытий необходимо понимать принципы формирования дефектов и учитывать влияние конфигурации наночастиц на их радиационную стойкость.

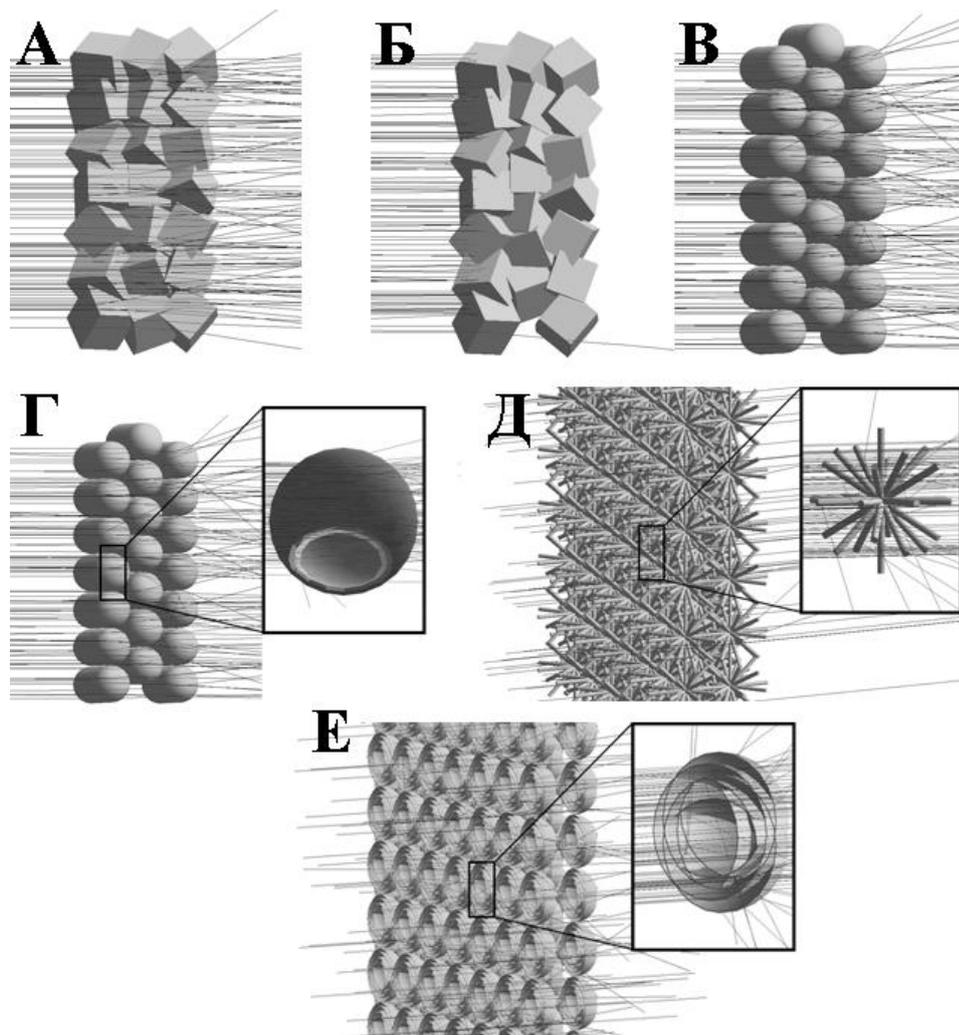
Для проведения моделирования частиц оксида цинка, с различной морфологией поверхности, был выбран программный пакет GEANT4, распространяемый под открытой лицензией GEANT4 Software License [2]. С помощью этого инструментария можно создать модели прохождения элементарных частиц через вещество, используя стохастические методы численного моделирования, включая метод Монте-Карло.

Геометрия детектора реализовывалась в виде частиц оксида цинка с формой (рисунок): нано-, микро-, шар, сфера, звезда и цветок; с соответствующими размерами: 0.02, 1, 1.2, 1, 5, 3 мкм. Построенные геометрии дублировались для формирования ансамбля, состоящего из трех слоев, со смещенным центральным слоем, для формирования ГЦК-упаковки.

Для моделирования были использованы основные физические модели: G4EmStandartPhysics_options3, G4HadronElasticPhysics и G4HadronPhysicsINCLXX. Источником было сгенерировано 50000 протонов с энергией 100 кэВ, профиль интенсивности пучка был описан гауссовым распределением. При этом, пороговая энергия смещения для атома цинка составляла 52 эВ, а для кислорода – 57 эВ [3].

Для определения концентрации пар Френкеля использовалась модифицированная формула Кинчина-Пиза [4], которая была применена к результатам расчетов в программе GEANT4.

Расчеты в первом приближении, основанные на концентрации пар Френкеля, показали лучшие результаты стойкости для частиц формой сфера и шар – 1.0×10^{16} и 1.6×10^{16} см⁻³ соответственно, остальные формы имели следующие значения концентрации пар Френкеля: нано – 1.8×10^{17} , микро – 1.7×10^{17} , нано – 3.3×10^{16} , звезда – 1.8×10^{17} , цветок – 4.8×10^{16} см⁻³. Однако в процессе формирования вторичных дефектов картина может существенно поменяться.



Демонстрация воздействия протонного облучения на частицы оксида цинка формами: А) нано-, Б) микро-, В) шар, Г) сфера, Д) звезда и Е) цветок; построенных в GEANT4

Стоит также отметить, что различие в размерах изначальных частиц, непосредственно влияет на вероятность встречи атома системы с бомбардирующей частицей, некоторые частицы имеют тонкостенные формирования. В дальнейшем перспективным направлением исследований будет переход на уровень молекулярной динамики, что позволит более детально изучить механизмы миграции дефектов во время релаксационной фазы.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, госзадание № 122082600014-6 (FZMU-2022-0007).

Список источников

1. Peter M.M., Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings. – Elsevier: Applications and Technology. – 2010. – P. 912.
2. GEANT4 – A simulation toolkit. Официальный сайт Европейской организации по ядерным исследованиям (CERN). URL:: <https://geant4.web.cern.ch/>. – 20.04.2023.

3. Damage formation and annealing at low temperatures in ion implanted ZnO / K. Lorenz, E. Alves, E. Wendler and etc. // Applied physics letters. – 2005. – V.87. – P.191904-191907.

4. Leroy C., Rancoita P. Principles of Radiation Interaction in Matter and Detection // World scientific publishing. – 2016. – P. 1344.

**ПРОЦЕСС ФРИКЦИОННОГО НАНЕСЕНИЯ
КАК ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИЙ ИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИ ВЫГОДНЫХ
МАТЕРИАЛОВ – СТАЛЬ 20 И АЛЮМИНИЙ МАРКИ ER 1100**

Есипова А.Д., Михеев Р.С.

Научный руководитель: д.т.н. Михеев Р.С.

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет), г. Москва*

Рассмотрен процесс фрикционного нанесения для получения перспективных функциональных слоистых композиций из экономически выгодных материалов – сталь 20 и алюминий марки ER 1100. Выявлено влияние основных технологических параметров, таких как осевая нагрузка, частота вращения и вылет стержневой заготовки на область ее вертикальной устойчивости, определяющей эффективность процесса фрикционного нанесения.

Ключевые слова: фрикционное нанесение, технологические параметры, износостойчивое (антифрикционное) покрытие, область вертикальной устойчивости

Современные исследования направлены не только на совершенствование технологических процессов обработки и изготовления продуктов промышленного производства, но и на их экологичность, а также улучшение условий труда. Кроме того, развитие современного машиностроения приводит к необходимости широкого внедрения функциональных слоистых композиций на основе сплавов алюминия и сталей [1]. Их применение позволяет существенно снизить количество дорогих и дефицитных материалов при разработке узлов и изделий, которые испытывают воздействие нагрузок, температур или сред. Многочисленные исследования, проводимые в последние годы, показали, что в отличие от традиционных способов формирования подобных слоистых композиций, в число которых входят лазерная, дуговая наплавка, процесс фрикционного нанесения является чистым и энергоэффективным, а его применение исключает плавление соединяемых материалов, поскольку максимальная температура нагрева вязкопластичного слоя не превышает температуру ликви-

дуса легкоплавкого из соединяемых материалов (рис. 1) [2-4]. Поэтому рассматриваемая в настоящей работе технология фрикционного нанесения является одним из самых перспективных и высокоэффективных твердофазных процессов для изготовления функциональных слоистых сталелюминиевых композиций [5, 6]. Однако, для успешной ее реализации важное значение имеет вертикальная устойчивость стержневой заготовки, на которую оказывают влияние не только осевая нагрузка с частотой вращения, но и вылет, представляющий собой расстояние от места закрепления расходуемой стержневой заготовки до поверхности подложки.

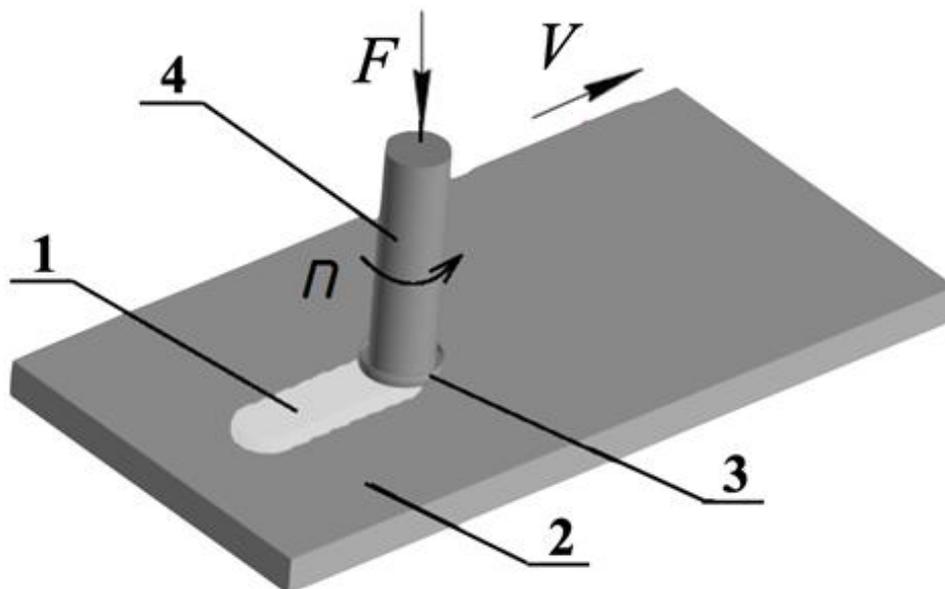


Рис. 1. Схема процесса фрикционной наплавки: 1 – наплавленный слой; 2 – подложка; 3 – вязкопластичный граничный слой; 4 – расходуемая вращающаяся стержневая заготовка. F – осевая сила; n – частота вращения; V – продольная линейная скорость перемещения

Для оценки вертикальной устойчивости стержневых заготовок процесс фрикционного нанесения проводили при значениях частоты вращения n равной 1000 и 2000 об/мин, а также в отсутствии продольного перемещения. Значение осевой нагрузки изменяли в широком диапазоне от 110 до 730 Н, что соответствовало удельному давлению от 8,8 до 103,3 МПа. Оценочными критериями определения области вертикальной устойчивости являлись продольный изгиб стержневой заготовки и ее отклонение от оси вращения. Дополнительно исследовали влияние вылета стержневой заготовки L на процесс фрикционного нанесения. В качестве подложки применяли пластины размером 175×40 мм толщиной 1 мм, изготовленные из качественной низкоуглеродистой стали 20 (0,17-0,24 масс.% С; 0,17- 0,37 масс.% Si; 0,35-0,65 масс.% Mn; ≤0,25 масс.% Cr; остальное Fe по ГОСТ 1050). Расходуемые стержневые заготовки диаметрами 3 и 4 мм были изготовлены из алюминия промышленной чистоты

ER 1100 (0,05-0,2 масс.% Cu; $\leq 0,05$ масс.% Mn; остальное Al по ГОСТ 1050), который был выбран в качестве модельного.

Области вертикальной устойчивости, представляющие собой зависимости между величиной вылета (L) и осевой нагрузкой (F), приведены на рис. 2. Видно, что для расходуемого стержня диаметром 3 мм, нарушение устойчивости происходит при вылете L равном 5-6 мм или при величине осевой силы F более 40 Н (рис. 2а).

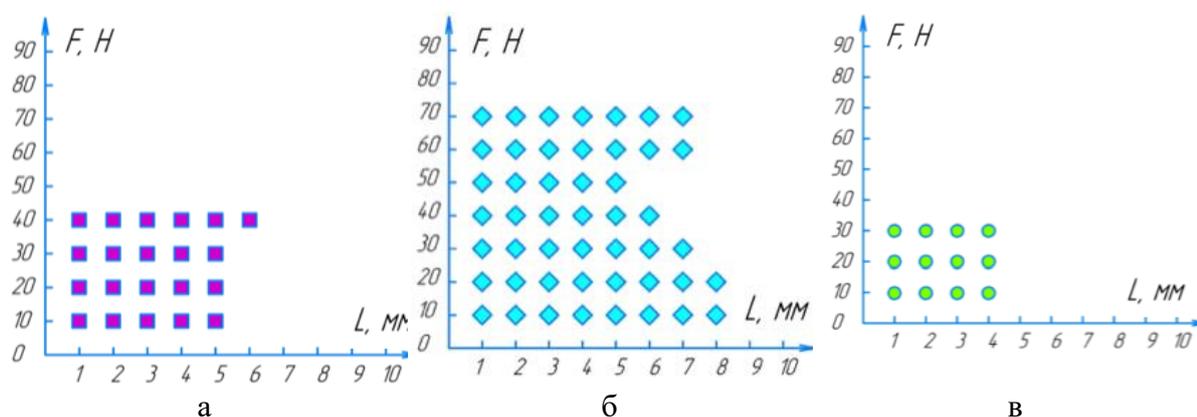


Рис. 2. Области устойчивости стержневой заготовки состава ER 1100:
 а) диаметр 3 мм, частота вращения $n = 1000$ об/мин; б) диаметр 4 мм, $n = 1000$ об/мин; в) диаметр 4 мм, $n = 2000$ об/мин

Увеличение диаметра расходуемого стержня до 4 мм существенно расширяет область вертикальной устойчивости: допустимое осевое усилие возрастает до 70 Н, а величина вылета L до 8 мм (рис. 2б). Данная особенность, вероятно, связана с закономерным уменьшением давления в области физического контакта между расходуемым стержнем и подложкой. Увеличение частоты вращения расходуемого стержня n с 1000 до 2000 об/мин приводит к изменению температурных условий в области физического контакта. Результатом этого является снижение допустимых значений F до 30 Н и L до 4 мм соответственно, приводящие к сужению области устойчивости (рис. 2в).

Таким образом, результаты работы показали, что процесс фрикционного нанесения является высокоэффективной технологией получения перспективных функциональных слоистых композиций из экономически выгодных материалов – сталь 20 и алюминий марки ER 1100. Установленные области вертикальной устойчивости стержневой заготовки позволяют выбрать технологические параметры, обеспечивающие стабильность и эффективность процесса фрикционного нанесения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00366, <https://rscf.ru/project/22-29-00366/>.

Список источников

1. Liu X., Yao J., Wang X., Zou Z., Qu S. Finite difference modeling on the temperature field of consumable-rod in friction surfacing // Journal of Materials Processing Technology. – 2009. – Vol. 209, Is. 3. – P. 1392-1399.
2. Hanke S., Dos Santos J.F. Comparative study of severe plastic deformation at elevated temperatures of two aluminium alloys during friction surfacing // Journal of Materials Processing Technology. – 2017. – Vol. 247. – P. 257-267.
3. Kallien Z., Klusemann B. Combined experimental-numerical analysis of the temperature evolution and distribution during friction surfacing // Surface & Coating Technology. – 2022. – Vol. 47. – P. 128350.
4. Mikheev R.S. Application of the friction surfacing process for the production of functional gradient layered composition // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1990. – P. 012036–012041.
5. Soboleva N.N., Makarov A.V., Zavarzina E.P., Skorynina P.A., Malygina I.Yu. Features of frictional treatment of the composite NiCrBSi-Cr3C2 laser clad coating // Letters on Materials. 2020. V. 10. № 4 (40). С. 506-511.
6. Fouilland L., El Mansori M., Massa A. Friction-induced work hardening of cobalt-base hardfacing deposits for hot forging tools // Journal of Materials Processing Technology. 2009. V.209. Is.7. P.3366-3373.

ТЕРМОСТОЙКОЕ ПОКРЫТИЕ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ

Залознов А.Е.

Научный руководитель: Нестеренко И.С.

Омский государственный технический университет, г. Омск

Современное автомобилестроение имеет потребность в покрытиях, имеющих высокую стойкость к повышенным температурам, а также обладающих хорошей антикоррозийной защитой. В данной статье рассматривается перспективное покрытие кузова автомобиля, способное защитить от данных проблем.

Ключевые слова: покрытия, автомобиль, долговечность, защита

Проблема высокой температуры подкапотного пространства автомобиля существует давно, производители стараются максимально использовать поток воздуха, который обдувает автомобиль, для проветривания моторного пространства и охлаждения радиаторов. Как известно, металл, использующийся в конструкции автомобиля, обладает хорошей теплопроводностью, соответственно весь моторный узел, состоящий по большей части из металла и находящийся в малом пространстве, становится некой «печкой», что приводит к повышению температуры воздуха в подкапотном пространстве. Все это пагубно влияет на характеристики силового агрегата. Горячий воздух на впуске автомобиля становится причиной снижения

мощности, повышается риск возникновения детонации, снижается приемистость двигателя. Также высокая температура разрушает резину, из которой сделаны многие соединительные патрубки автомобиля.

Самой нагреваемой системой в подкапотном пространстве является система выпуска отработанных газов, ее температура находится в диапазоне 500-1000° С у серийных автомобилей. В современном автомобилестроении с данной проблемой борются с помощью тепловых экранов, защищающих от перегрева другие элементы.

В возможном будущем решении проблемы высокой температуры подкапотного пространства выступает Формула-1, так как известно, что многие технологии именно оттуда переходят в пользование гражданскому автомобилисту.

Стремление к лучшему распределению тепла, а соответственно, и охлаждению, привело к использованию определенного покрытия для материалов конструкции болидов, а именно – краски с наночастицами.

Intertherm 50 -Однокомпонентное термостойкое покрытие на базе влаготверждаемого силиконового связующего. Благодаря механизму отверждения, допускается наносить несколько слоёв без выполнения межслойной высокотемпературной сушки. Применяется при температурах до 540°С. Предназначен для защиты стали от коррозии [2].

Алюминий, входящий в состав данного покрытия, имеет очень низкую излучательную способность, поэтому отражает большое количество попадающих на него инфракрасных тепловых лучей. Данное покрытие наносят на корпус и компоненты болида, находящиеся в непосредственной близости к выпускной системе. Толщина одного слоя – 25 микрон (или 0,00025 см), для сравнения, толщина краски на серийном автомобиле составляет 90-160 микрон. Большим преимуществом является то, что царапины на данном покрытии существенно не влияют на защиту от высокой температуры детали, покрытым Intertherm 50.

Intertherm 50 – появился в 1881-м и изначально представлял защитные и яхтенные покрытия с антикоррозионными и огнестойкими свойствами. А с недавнего времени инженеры Формулы-1 нашли применение этому покрытию и на болидах.

Покраска – процесс непростой и довольно трудоемкий. На первом этапе на корпус наносится однокомпонентный грунт-выравниватель, который отвердевает под УФ-лампой – она помогает высушить его менее, чем за минуту. Далее корпус болида покрывается универсальным грунтом-выравнивателем. После происходит нанесение цвета в несколько слоев и лак для блеска.

После завершения окраски компоненты необходимо подвергнуть сушке – чтобы краска полностью впиталась в компонент. Обычно лак высыхает за 40-45 минут при температуре около 60-65 градусов [1].

Таким образом, автоспорт снова задает тенденции для будущих серийных автомобилей, данное решение поможет снизить температуру подкапотного пространства, а значит, и повысит эффективность работы двигателя, а также позволит хоть и незначительно, но снизить вес автомобиля.

Список источников

1. В «Ф-1» под охлаждение заточена даже краска и покрытие корпуса //www.sports.ru: сайт. URL: <https://www.sports.ru/tribuna/blogs/autoflashbacks/3006823.html>(дата обращения: 01.05.2023).

2. Жаростойкое силиконовое покрытие // International.brandt.akznobel.com: сайт. URL: https://international.brandt.akznobel.com/m/7dabd122debb1aa5/original/Intertherm_50_rus_A4_20200609.pdf (дата обращения: 01.05.2023).

САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩЕЕСЯ ПОКРЫТИЕ КУЗОВА

Залознов А.Е.

Научный руководитель: Нестеренко И.С.

Омский государственный технический университет, г. Омск

Внешний вид автомобиля, за который во многом отвечает ЛКП, играет большую роль в современных реалиях, а поддержание ЛКП в хорошем состоянии требует не малых усилий со стороны владельца. В данной статье рассмотрено решение проблемы сохранения ЛКП с помощью инновационного покрытия.

Ключевые слова: покрытия, автомобиль, долговечность, защита, самовосстановление, ЛКП

Приемлемый внешний вид автомобиля всегда зависел от состояния лакокрасочного покрытия. Стоит также отметить, что лакокрасочное покрытие защищает кузов транспортного средства от агрессивного воздействия внешней среды, соответственно, состояние данного покрытия несомненно важно для сохранения металла от коррозии.

Способов поддержания лакокрасочного покрытия, а соответственно и кузова, в хорошем состоянии достаточно много, от периодичной качественной мойки автомобиля, до обработки различными средствами и глубокой полировки. В последнее время пользуется спросом среди автомобилистов покрытие кузова броне плёнкой, защищающей ЛКП. Однако даже самая качественная пленка не способна «самоизлечиться» без вмешательства профессионального мастера. Для этого корейскими инженерами было создано инновационное покрытие.

Новое покрытие, которое создали инженеры из Южной Кореи, «оживляет» царапины на машине с помощью солнечного света. Таким обра-

зом, можно убирать с поверхности кузова царапины без участия мастеров и полировщиков. Для достижения нужного эффекта достаточно будет солнечных лучей.

Инновационное покрытие создано на основе акрилполиола – вещества, которое работает благодаря влиянию инфракрасных лучей. Все, что нужно сделать, чтобы царапины исчезли – это нанести разработку на поверхность кузова автомобиля и подождать 30 минут на солнце.

Новая технология синтезирует самовосстанавливающиеся покрытия с использованием как недорогих коммерческих полимерных материалов, так и фототермических красителей. Покрытие также состоит из полимерной сетки, которая вместе с акрилполиолом создает динамическую химическую связь, а лучи солнца играют роль триггера, который способствует химической «заживляющей» реакции. Ученые утверждают, что это очень перспективная разработка, которая существенно облегчит жизнь владельцам машин по всему миру и поможет им сэкономить на походах в автосервис [1].

Новое покрытие имеет целый ряд преимуществ перед существующими самовосстанавливающимися материалами. Использование органических фототермических красителей означает, что для его работы требуется гораздо меньше энергии, чем для обычных неорганических вариантов, для которых обычно требуются тепловые пушки или ультрафиолетовые лампы. Кроме того, новое покрытие может восстанавливать царапины в одном и том же месте по нескольку раз.

И что самое важное – новый материал абсолютно прозрачен, поэтому он не испортит цвет лакокрасочного покрытия, и может быть нанесен с помощью существующих методов аэрозольного распыления. Конечно, в первую очередь такое покрытие в первую очередь предназначено для восстановления автомобилей, но, по словам разработчиков, может использоваться для реставрации смартфонов или декоративных строительных материалов [2].

Таким образом, с помощью данного покрытия, автомобилистам удастся сохранять приемлемый внешний вид автомобиля с внушаемой экономией средств, а также защитить кузов на длительный срок.

Список источников

1. Корейские ученые создали самозаживляющееся покрытие для автомобилей //www.mk.ru: сайт. URL: <https://www.mk.ru/auto/2022/08/09/koreyskie-uchenye-sozdali-samozazhivlyayushheesya-pokrytie-dlya-avtomobiley.html> (дата обращения: 01.05.2023).

2. Корейские инженеры разработали покрытие, которое устраняет царапины на автомобилях всего за 30 мин [сайт]. URL: <https://overclockers.ru/blog/amv212/show/72335/korejskie-inzhenery-razrabotali-pokrytie-kotoroe-ustranyaet-carapiny-na-avtomobilyah-vsego-za-30-min> (дата обращения: 01.05.2023).

КОРРЕЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ТОРЦОВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Захаров О.В., Сулейманова Ф.Д.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

Представлены результаты экспериментальных исследований образцов шероховатости при торцовом фрезеровании. На основе измерения десяти параметров шероховатости построена матрица корреляции. Установлено, что имеется сильная корреляция между семнадцатью сочетаниями параметров. Выявленные корреляционные связи позволяют прогнозировать качество поверхности при минимальном числе измеренных параметров.

Ключевые слова: торцовое фрезерование, шероховатость, корреляция

Шероховатость поверхности оценивается большим числом параметров, которые делят на высотные, шаговые, гибридные и функциональные. В этом случае затруднительно как измерение, так и нормирование всех параметров. Поэтому актуальна задача выявления корреляционных связей между параметрами и определение минимального набора параметров шероховатости [1].

Исследований, посвященных шероховатости при торцовом фрезеровании, достаточно много [2-4]. Однако большая часть из них решает задачу установления связи параметров с инструментом, режимами резания, вибрациями. Вопрос корреляции затронут только в работе [5].

Общие закономерности формирования шероховатости изложены в фундаментальной работе [6]. Наиболее известно соотношение параметров $R_z/R_a = 4-6$. За основу взята, приведенная в стандарте DIN 4768.1978 номограмма для конвертации параметров R_z и R_a .

При торцовом фрезеровании создается сложный периодический рельеф. В зависимости от места измерения возможен разброс по параметру R_a до 40 %.

Экспериментальные исследования проводились с использованием профилометра Mitutoyo SurfTest SJ-410 (рис. 1) и стандартного программного обеспечения. Параметры настройки профилометра были следующие: скорость измерения 0,5 мм/с, количество шагов – 5, индексы вложения – 0,25 и 0,8 мм, радиус измерительного наконечника 5 мкм, угол измерительного наконечника 90°, измерительное усилие 4 мН. Обработка проводилась с помощью фильтра Гаусса [7]. Измерения проводились в закрытом подготовленном помещении с собственной вентиляцией и постоянной температурой 20° С.



Рис. 1. Измерение шероховатости на профилемере

Профилограммы для десяти образцов даны на рис. 2. Длина трассы составила 1,25 мм. Индекс вложения составил 0,25 мм. Масштаб по оси Z имеет увеличение 5000/10000.

Выбраны следующие параметры шероховатости:

- R_a – арифметическое среднее отклонение оцениваемого профиля;
- R_q – среднеквадратическое отклонение оцениваемого профиля;
- R_z – максимальная высота профиля;
- R_p – максимальная высота пика профиля;
- R_v – наибольшая глубина впадины профиля;
- R_{sk} – асимметрия оцениваемого профиля – отношение среднего значения ординаты $Z(x)$ и ,или соответственно в пределах базовой длины.
- R_{ku} – эксцесс оцениваемого профиля – отношение среднего значения ординаты в четвертой степени $Z(x)$ и значения R_q , R_p или W_q в четвертой степени соответственно в пределах базовой длины
- R_{sm} – средняя ширина элементов профиля – Средняя ширина элемента профиля X_S в пределах базовой длины.
- $R_{\Delta q}$ – среднеквадратичный угол наклона оцениваемого профиля – среднеквадратичное значение углов наклона ординаты dZ/dX в пределах базовой длины.
- R_{mr} – коэффициент смятия профиля.
- Параметры R_a , R_q , R_z , R_p , R_v , R_{sk} , R_{ku} относятся к высотным, R_{Sm} – к шаговым, $R_{\Delta q}$ – к гибридным, а R_{mr} – к параметрам-функциям.

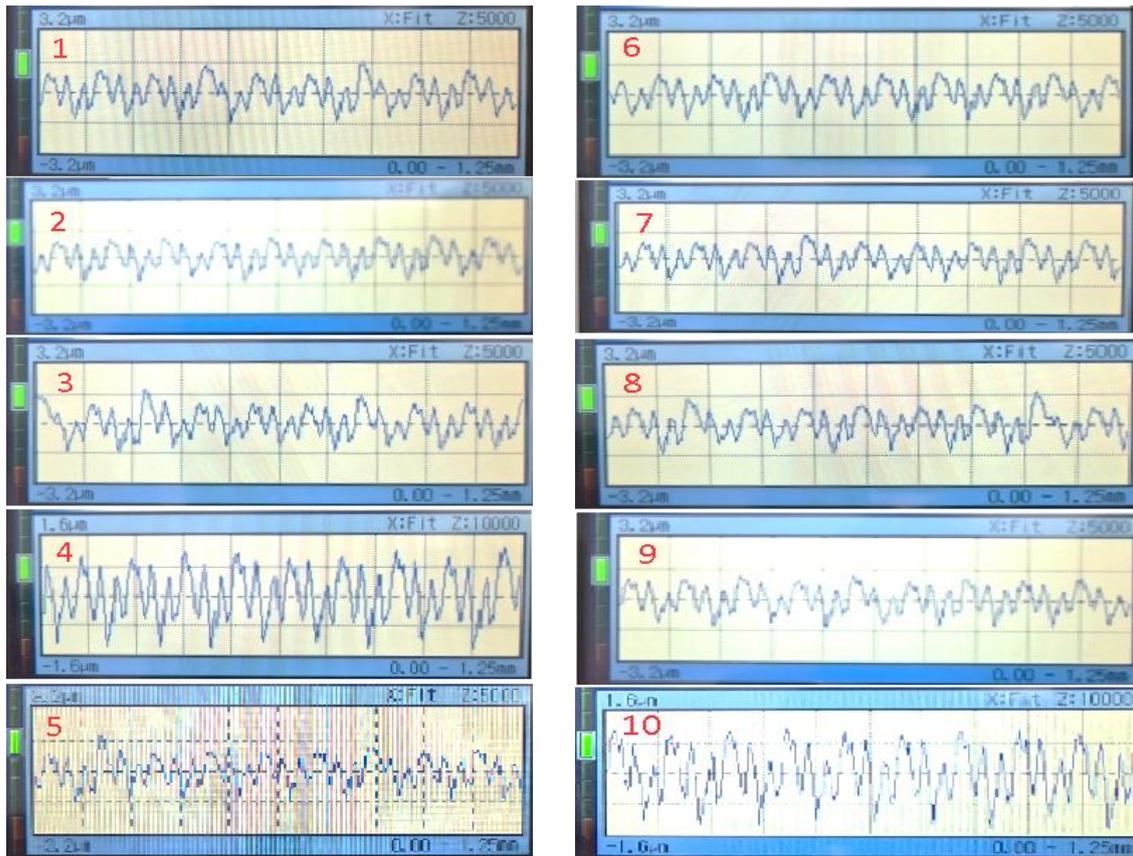


Рис. 2. Профилограммы образца шероховатости

Рассчитаны коэффициенты линейной корреляции между сочетаниями указанных десяти параметров шероховатости, которые сведены в матрицу корреляции (рис. 3).

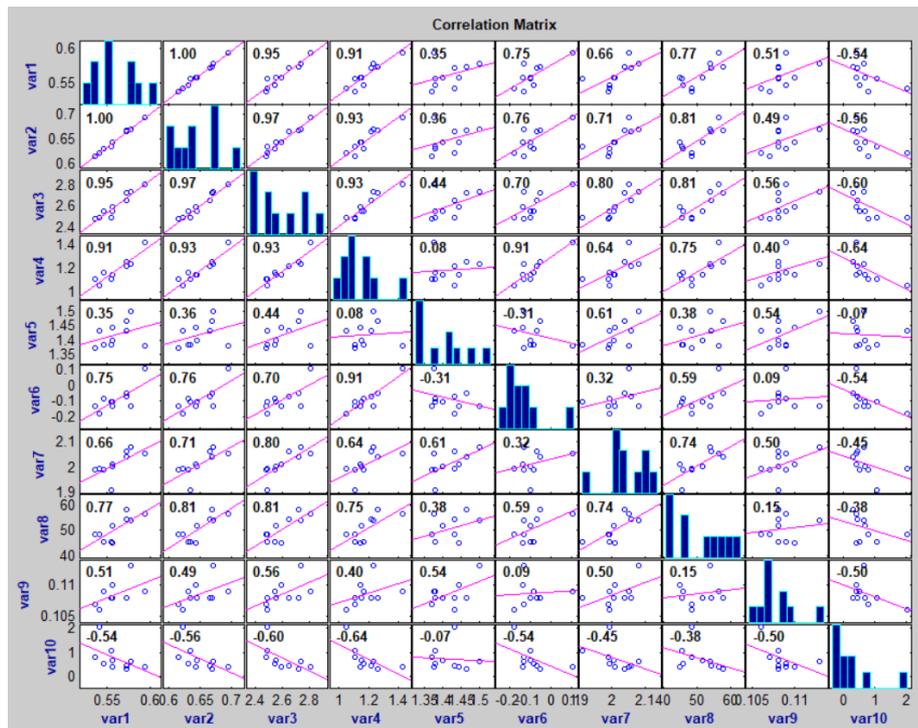


Рис. 3. Матрица корреляции параметров шероховатости

Анализ матрицы корреляции показал, что из 45 возможных сочетаний параметров имеется сильная корреляция (более 0,7) между 17 параметрами шероховатости. В подавляющем большинстве сочетаний имеется положительная корреляция. Отрицательная корреляция имеет место только для параметра R_{mr} .

Наиболее сильная корреляция отмечена для трех высотных параметров R_a , R_q , R_z . При этом корреляция между параметрами R_a и R_q может считаться очень сильной. Это объясняется тем, что оба этих параметра являются усредненными и поэтому статистически устойчивыми. Также выявлена устойчивая корреляционная связь между параметрами R_r и R_v . Поэтому в качестве основного параметра целесообразно использовать параметр R_a . Дополнительно нужно использовать параметр R_z . Гибридный параметр $R_{\Delta q}$ имеет слабую корреляцию с остальными параметрами. Это можно объяснить тем, что фрезерование формирует поверхности с достаточно регулярным микрорельефом. При этом высотные и шаговые параметры не зависят друг от друга.

Слабая корреляция некоторых сочетаний параметров может быть обусловлена двумя причинами. Первая причина состоит в том, что зависимость является нелинейной. Вторая причина заключается в том, что параметр зависит от нескольких других параметров. В последнем случае необходимо рассчитывать множественную корреляцию. Установление закономерностей в этом случае требует большего объема экспериментальных данных и станет предметом дальнейших исследований.

Список источников

1. Захаров О.В., Трошин А.А. Анализ корреляции функциональных параметров текстуры поверхности // Актуальные проблемы в машиностроении, 2021. Т. 8. № 3-4. С. 63–67.
2. Дуюн Т.А., Ерыгин Е.В. Прогнозирование шероховатости поверхности при чистовом фрезеровании с использованием нейронных сетей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 135–141.
3. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А. Технологические методы изготовления и выбора режущего инструмента для фрезерования композиционных материалов на полимерной основе // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2015. Т. 15. № 1. С. 35-46.
4. Козлов А.М., Кирющенко Е.В., Кузнецов С.Ф. Фрезерование сложных деталей с коррекцией положения инструмента // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. Вып. 8. Ч. 2. С. 111- 119.
5. Формирование параметров шероховатости на основе корреляционных связей при чистовом фрезеровании пространственно-сложных по-

верхностей / В.М. Давыдов, М.Р. Гимадеев, А.В. Никитенко, А.В. Сарыгин // Упрочняющие технологии и покрытия. 2019. № 6. С. 243–248.

6. Инженерия поверхности деталей / под ред. А. Г. Сулова. М.: Машиностроение. 2008. 320 с.

7. Захаров О.В., Яковишин А.С., Жуков А.В. Применение фильтров серии ISO 16610 для анализа структуры поверхности. Часть 1. Обзор профильных фильтров // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2022. № 2. С. 22-37.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

Гоцар П.А., Соколова А.С., Карцев Н.С., Индюхин А.Ф.
Научный руководитель: к.б.н. Индюхин А.Ф.

Тульский государственный университет, г. Тула

В статье рассматривается математическая модель измерителя угла крена подвижного объекта, результаты моделирования и ошибка измерения.

Ключевые слова: полосовой фильтр, измерение периода, настройка

В системе управления вращающимся подвижным объектом (ПО) применяется измеритель углового положения (ИУП), причем используется не сам угол крена γ , а его тригонометрические функции – $\cos\gamma$ и $\sin\gamma$, необходимые для преобразования команд управления в связанную с ПО систему координат. Таким образом, осуществляется модуляция команд управления. В системе связанной модуляции [1] модулирующие функции получают не с датчика на рамке гироскопа, а благодаря смещению пиротехнического трассера на конец консоли крыла. Полосовые фильтры (ПФ) выделяют из выходных сигналов координатора u_{AY} , u_{AZ} составляющую, изменяющуюся с частотой вращения ПО. Резонансные частоты ПФ отслеживают значение частоты благодаря работе регулятора. Структурная схема ИУП представлена на рис. 1.

Работает устройство следующим образом. Входные (u_{AY} и u_{AZ}) и выходные сигналы УИУК преобразуются в релейную форму и сравниваются (вычитаются) в обоих каналах. Полученные знакопеременные импульсы умножаются на квадратурный сигнал из другого канала. Образующиеся сигналы подаются на интегрирующие устройства, пропорционально выходным сигналам которых изменяются резонансные частоты ПФ.

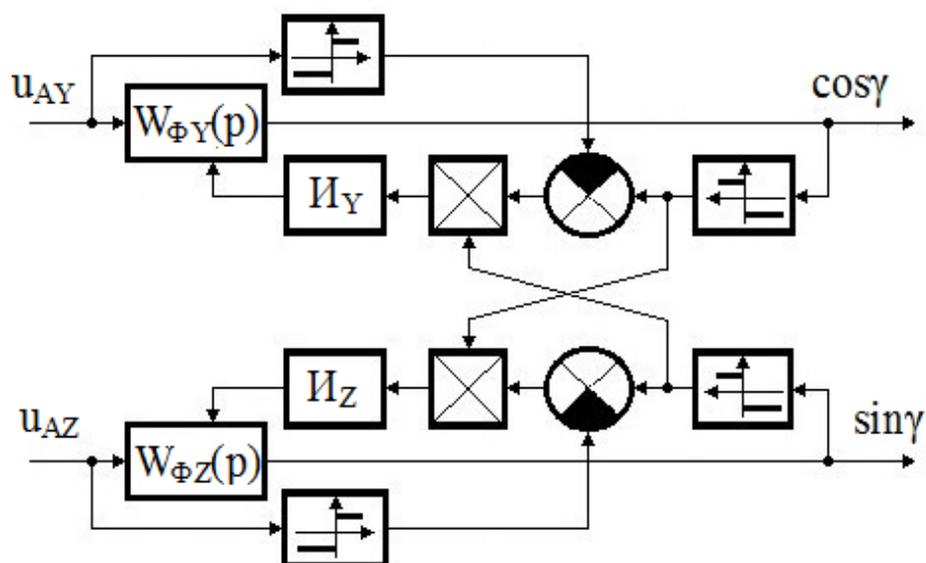


Рис. 1. Структурная схема ИУП с регулятором в системе связанной модуляции [2]:
 $W_{\Phi Y,Z}(p)$ – передаточные функции ПФ соответственно в вертикальном и горизонтальном каналах; I_Y, I_Z – интегрирующие звенья нелинейной регулировочной характеристикой

Передаточные функции ПФ имеют вид

$$W_{O\Phi}(p) = \frac{\omega_{\Pi} p}{\omega_p^2 + \omega_{\Pi} p + p^2},$$

где ω_{Π} – полоса пропускания фильтра;

ω_p – резонансная частота фильтра.

Такая передаточная функция имеет фазовую частотную характеристику, знак которой меняется при переходе частоты входного сигнала через частоту ω_p .

Другой особенностью указанной передаточной функции является то, что на резонансной частоте она имеет коэффициент передачи, равный единице, что позволяет ИУП обеспечивать стабильность амплитуды модулирующих функций.

Устройство на рис. 1 имеет очевидные недостатки:

- чувствительность к уровню случайного шума, присутствующему в выходном сигнале координатора;

- ограничение быстродействия, поскольку в контуре настройки имеется интегратор, не позволяющий повышать коэффициент ввиду потери устойчивости;

- чувствительность к уровню методических помех в выходном сигнале координатора, возникающих при отклонениях ПО от оси координатора, при этом настройка прекращается.

Указанные недостатки можно устранить изменением передаточной функции ПФ и применением другого метода настройки.

Рассмотрим структуру устройства, приведенного в [3].

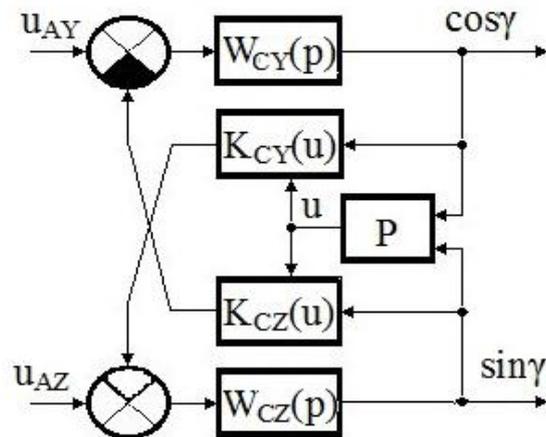


Рис. 2. Структурная схема двумерного полосового фильтра с регулируемой резонансной частотой: $W_{CY,Z}(p)$ – передаточные функции сглаживающих фильтров; $K_{CY,Z}(u)$ – регулируемые коэффициенты; P – регулятор, u – выходной сигнал регулятора

Устройство на рис. 2 является полосовым фильтром, пропускающим только положительные частоты [3]. Такое устройство описывается передаточной функцией

$$W_{дф}(p) = \frac{1}{T_c p + 1 - jK_c(u)},$$

где $W_{дф}(p)$ – передаточная функция двумерного полосового фильтра;
 $T_{CY,Z}$ – постоянная времени сглаживающего фильтра;
 $K_{CY,Z}$ – коэффициент перекрестной связи.

В отличие от известной системы [3] устройство рис. 2 предусматривает регулировку коэффициента перекрестной связи $K_{CY,Z}(u)$. Величина этого коэффициента определяет резонансную частоту двумерного фильтра, что позволяет изменять его настройку. На рис. 3 приведены для сравнения амплитудные и фазовые частотные характеристики ПФ.

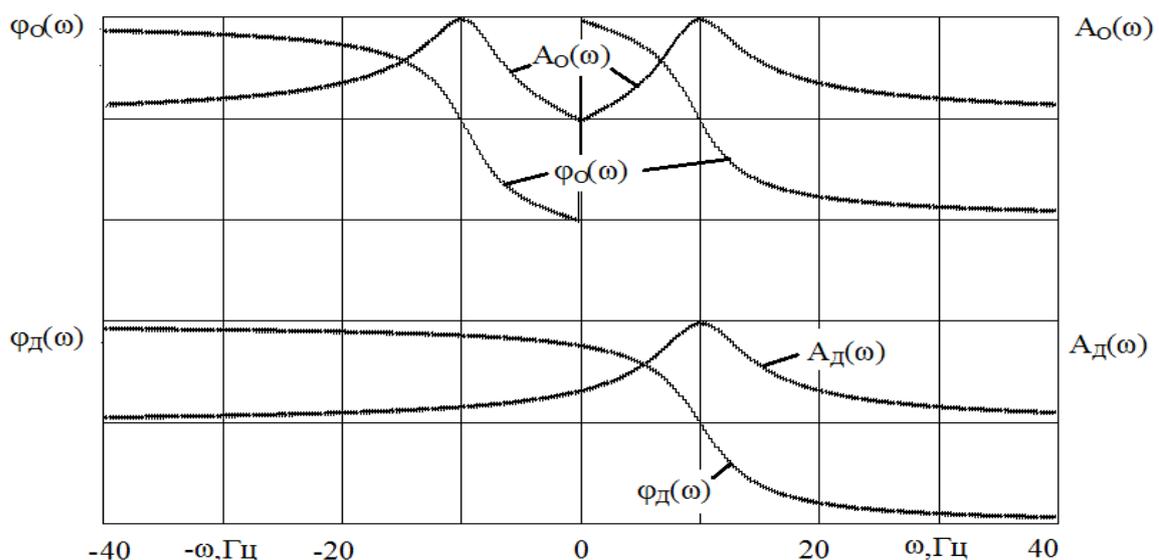


Рис. 3. Амплитудные $A(\omega)$ и фазовые $\varphi(\omega)$ частотные характеристики полосовых фильтров: $A_0(\omega)$, $\varphi_0(\omega)$ – одномерный фильтр; $A_д(\omega)$, $\varphi_д(\omega)$ – двумерный фильтр

Как видно из рис. 3, полоса пропускания двумерного ПФ практически вдвое уже, чем у одномерного, что обеспечивает снижение чувствительности к случайным шумам в выходном сигнале координатора.

В предлагаемом устройстве используется периодометрический метод настройки ПФ. Регулятор работает дискретно. Сравнивается текущее значение выходного сигнала ПФ и два его предыдущих значения. Признак максимума:

$$K_M = \begin{cases} 1, & \text{если } y_{i-1} > y_{i-2} \wedge y_{i-1} > y_i; \\ 0, & \text{если } y_{i-1} < y_{i-2} \vee y_{i-1} < y_i \end{cases}$$

При наличии признака срабатывает счетчик максимумов. По его сигналу в ячейку записывается показание таймера. Разность двух значений определяет период, и в соответствии с этим изменяется коэффициент перекрестной связи $K_C(u)$. Результаты моделирования представлены на рис. 4.

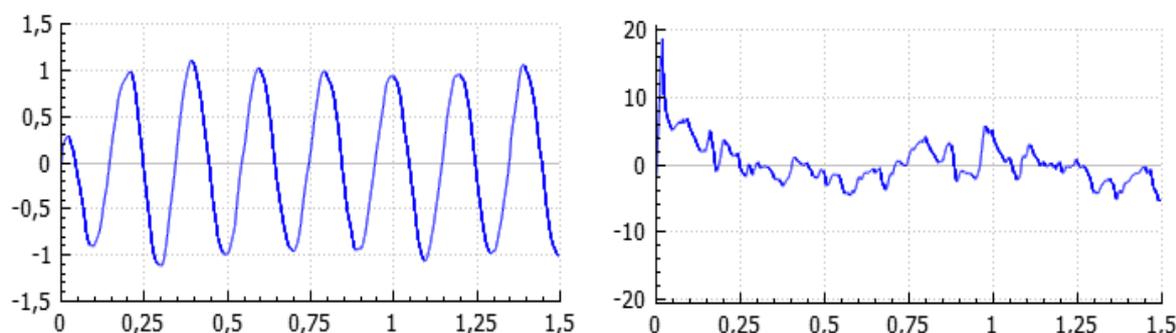


Рис. 4. Выходной сигнал и ошибка угла определения крена в процессе настройки ИУП при действии шумов

В предлагаемом устройстве для измерения угла крена устранены недостатки известной системы, что позволяет рекомендовать его к использованию.

Список источников

1. Морозов В.И. Комментарии избранных технических решений, принятых А.Г. Шипуновым при создании комплексов // Системы ВТО. Создание, применение и перспективы. 2020. № 1 (25). С. 60-88.
2. Носимый комплекс «М». Техническое описание 9К115.00.000. ТО. М.: Изд-во Минобороны, 2015. – 52 с.
3. Казмаров А.А., Палатник А.М., Роднянский Л.О. Динамика двумерных систем автоматического регулирования. Москва: Наука, 1967. 307 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ЭЭГ-ДИАГНОСТИКИ

Карцев Н.С., Соколова А.С., Индюхин А.Ф.
Научный руководитель: к.б.н. Индюхин А.Ф.

Тульский государственный университет, г. Тула

В статье рассматривается математическая модель устройства для определения уровня синхронизации корковых связей на основе регистрации ЭЭГ.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма, полосовая фильтрация, демодуляция

Теория функциональных систем отводит головному мозгу роль управляющего элемента во всех функциональных системах. Определенные связи и взаимодействие разных зон коры головного мозга. Физически связи выражаются в синхронизации электрической активности. Фоновая электроэнцефалограмма (ЭЭГ) позволяет определить наличие у обследуемого неврологических нарушений по количественному показателю уровня синхронизации сигналов.

Одним из способов оценки явился расчет функций когерентности (ФК) – достаточно трудоемкий метод, требующий наличия специальных знаний в области математики. Неправильный выбор параметров может изменить результат на порядок.

Для упрощения и автоматизации диагностики была предложена скрининговая система диагностики, основанная на корреляционной оценке частот и уровней синхронизации [1, 2], основным элементом которой является система фильтров, настраиваемых на попарное произведение сигналов ЭЭГ.

Предлагается альтернативное решение, в котором произведение сигналов путем демодуляции и обратной связи полосового фильтра [3] позволяет определить параметры синхронизации без всякой настройки. Это позволит еще больше сократить время регистрации и обработки, сделать систему диагностики «еще более скрининговой», если так можно выразиться.

Устройство реализует расчет уровня синхронизации и частоты, на которой два сигнала синхронизированы. Отличительной особенностью устройства является, отсутствие процесса самонастройки фильтров. Сигналы двух каналов взаимно перемножаются и суммируются. Если есть общая частота, то при перемножении она удваивается, как и в [1]. При демодуляции она восстанавливается, но добавляется постоянная составляющая.

Уровень этой постоянной составляющей соответствует уровню синхронизации двух сигналов, при этом выходные сигналы блоков произведений изменяются с частотой, равной частоте синхронизации. Если ее измерить, например, периодометрическим методом, то получается второй диагностический параметр – частота синхронизации.

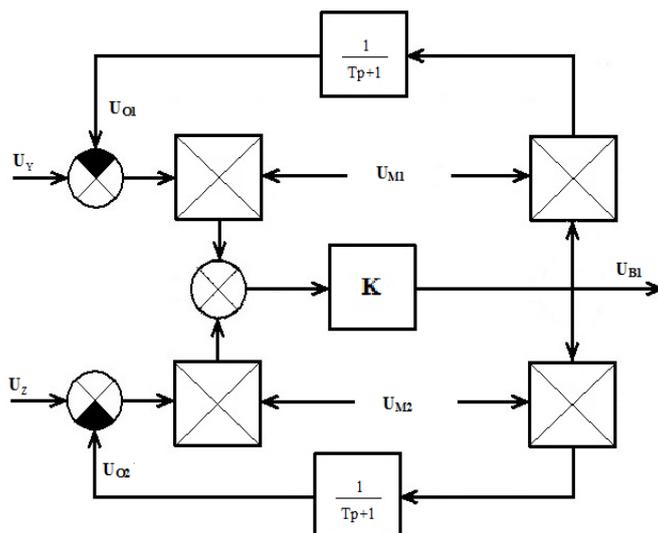


Рис. 1. Структурная схема полосового фильтра с демодуляцией

Такие свойства устройства определяются его особыми частотными характеристиками – амплитудной $A(\omega)$ и фазовой $\varphi(\omega)$.

$$A(\omega) = \frac{k}{1 + \frac{1}{2} \cdot k \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{T^2 \omega^2 + 1}} + \frac{1}{\sqrt{T^2 (\omega - 2\omega_0)^2 + 1}} \right)};$$

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{\frac{1}{2} \cdot k \cdot (T\omega \cdot (1 + T^2 (\omega - 2\omega_0)^2) + T(\omega - 2\omega_0)(1 + T^2 \omega^2))}{(1 + T^2 \omega^2)(1 + T^2 (\omega - 2\omega_0)^2) + \frac{1}{2} k ((1 + T^2 (\omega - 2\omega_0)^2) + (1 + T^2 \omega^2))},$$

где ω – круговая частота;

ω_0 – частота доминирующего ритма ЭЭГ;

T – постоянная времени сглаживающего фильтра;

K – коэффициент усиления.

На рис. 2 приведены графики частотных характеристик.

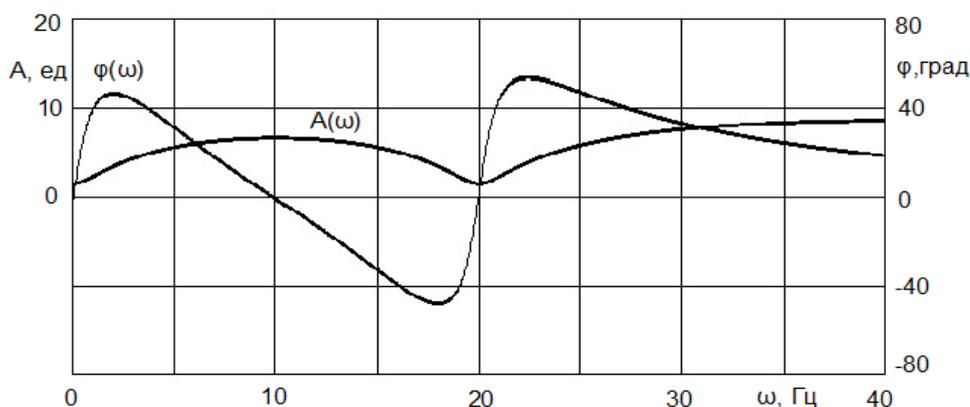


Рис. 2. Частотные характеристики устройства

Амплитудная характеристика имеет подъем именно на частоте синхронизации, что упрощает ее выделение на фоне возможных помех.

Периодометрический метод реализуется при моделировании следующим образом. На каждом шаге решения сигнал сравнивается с двумя предыдущими значениями. Если оказывается экстремум (максимум или минимум) то соответствующий момент времени запоминается. Промежуток времени между двумя максимумами равен периоду частоты синхронизации. В случае сбоя обращаемся к предыдущему результату. Рассмотрим результаты моделирования.

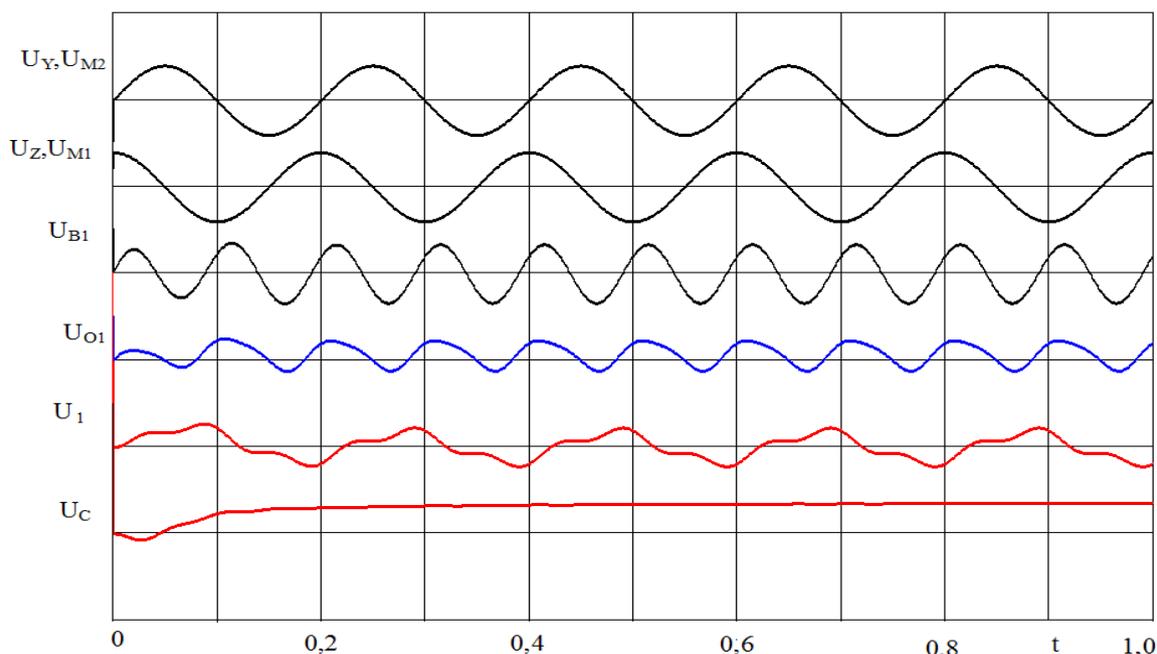


Рис. 3. Результаты моделирования

Сигналы ЭЭГ первого и второго каналов ($U_Y U_{M2}$), являются модулирующими сигналами друг для друга. U_{B1} – суммарный сигнал, частота которого удвоена. U_{O1} – сигнал обратной связи в первом канале. Видна постоянная составляющая. U_1 – сигнал после блока произведений. Доступно измерение периода частоты синхронизации. U_C – осредненный сигнал обратной связи. Определен уровень синхронизации

Таким образом, предлагаемое динамическое устройство, реализованное в цифровой математической модели, позволяет при обработке сигнала ЭЭГ (в том числе и в реальном времени) определить диагностические признаки негрубых неврологических нарушений.

Список источников

1. Индюхин А.А. Скрининговая система диагностики неврологических нарушений на основе самонастраивающегося фильтра: дис. ... канд. техн. наук. – Курск, 2013.

2. Коржук Н.Л., Индюхин А.Ф., Беленова Л.Д., Кокорева А.А. Анализатор связей биоэлектрической активности коры головного мозга // Современные проблемы физики, биофизики и инфокоммуникационных технологий Коллективная монография. Краснодар, 2019. С. 167-176.

3. Парфенов Ю.Л., Крылов Г.Ф., Пальцев М.В. Обобщенная структурная схема двухканального фильтра, работающего на несущей с переменной частотой // Известия ТулГУ, 2000 г. Сер. Проблемы специального машиностроения. Вып. 3 (Ч. 1). С. 373-375.

МОДЕЛЬ НЕЙРОКАРТИРОВАНИЯ УРОВНЕЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Наумова А.А., Индюхин А.Ф.

Научный руководитель: к.б.н. Индюхин А.Ф.

Тульский государственный университет, г. Тула

В статье предложен способ визуализации уровня участия корковых центров во взаимодействиях, оцениваемых по функциям когерентности в альфа-диапазоне ЭЭГ. Для сравнения выбраны две группы детей с верифицированным диагнозом.

Ключевые слова: электроэнцефалография, картирование головного мозга, функция когерентности, нейросенсорная тугоухость

Показателем функционального состояния коры головного мозга (КГМ) является уровень взаимосвязи или «синхронности» протекающих в ней биоэлектрических процессов [1]. Для количественной оценки этого уровня в рамках математической обработки электроэнцефалограмм (ЭЭГ) широко применяется когерентный анализ [2].

Для решения задачи нейрокартирования предлагается способ, основанный на присвоении опорным точкам сумм средних значений когерентности в альфа-диапазоне для всех пар, в которых участвует данный электрод.

Были выбраны 24 записи ЭЭГ детей обоих полов из двух групп: с верифицированной нейросенсорной тугоухостью и контрольная группа без нарушений. Средний возраст обследованных в обеих группах 5,9 лет (от 4 до 7 лет).

Для каждого отведения была рассчитана сумма средних уровней когерентности. Значения массивов были усреднены в обеих группах. Пример цветовых шкал для формирования сумм показан на рис. 1.

Алгоритм построения карт включает следующие этапы:

1. Формирование исходного массива сумм, состоящего из 16-ти значений.

2. Формирование 7^* одномерных массивов из 500 точек вдоль фронтальных сечений методом интерполяции по опорным точкам.

3. Формирование двухмерного массива 500 на 500 точек вдоль сагиттальных (вертикальных относительно поля карты) сечений методом интерполяции. Опорными точками являются значения сформированных одномерных массивов.

4. Присвоение каждой точке сформированного двумерного массива определённого цвета в зависимости от ее значения. Диапазоны цветов определяются для каждой карты индивидуально путем расчёта разности между максимумом и минимумом значений массива и разбиения полученного интервала на 8 равных диапазонов, советуемых следующим цветом: темный синий, синий, темный бирюзовый, бирюзовый, зеленый, жёлтый, красный, темный красный.

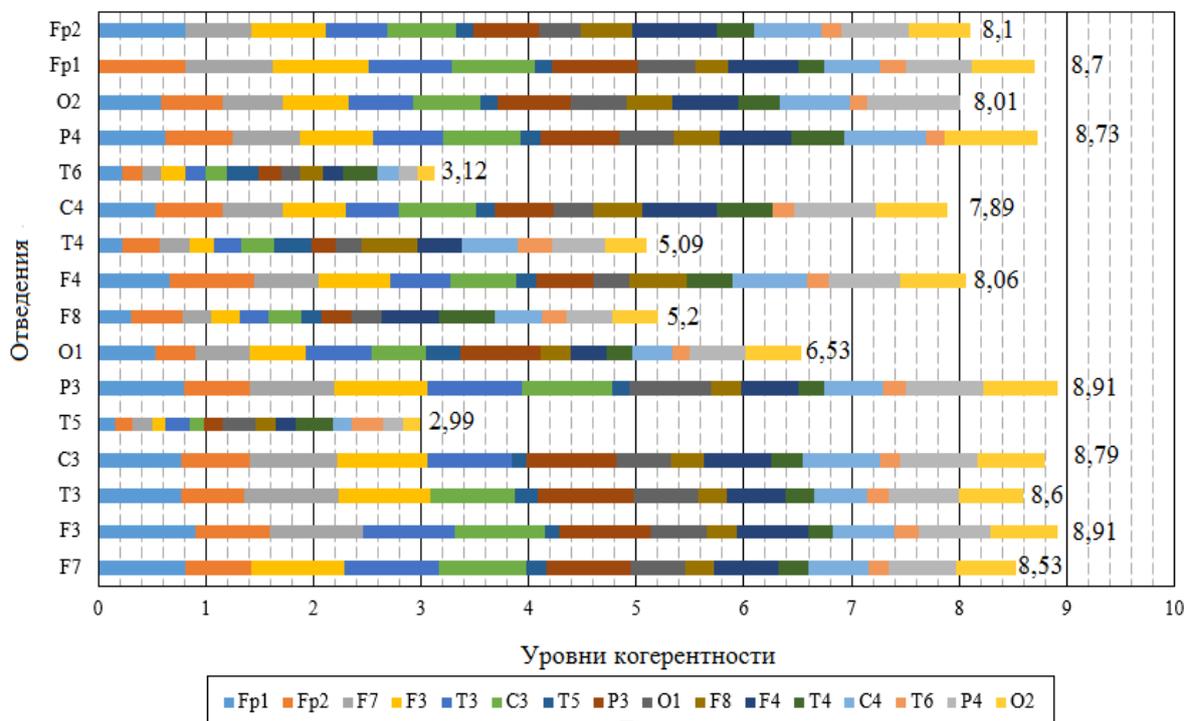


Рис. 1. Линейчатая диаграмма сумм средних значений уровня когерентности, накопленных для каждого из 16 отведений (Пациент А., группа «Норма»)

Ниже поля размещена цветовая шкала значений, черными точками показаны места расположения опорных точек (электродов).

В качестве способа полиномиального интерполирования была выбрана интерполяционная формула Ньютона для случая неравноотстоящих узлов [3].

Результаты моделирования системы – усредненные карты двух групп представлены на рис. 2.

Как видно и рис. 2, карты двух групп имеют значимые отличия: в области локализации слухового центра (левая височная доля) у карты группы «Норма» имеется область высокоамплитудного максимума – «очага», у карты группы «Слух» этот «очаг» имеет меньшую амплитуду и сме-

щен ближе к затылку. Также у второй карты имеется среднеамплитудное поле в области височных долей, в частности, в верхней левой височной доле, где у первой карты имеется значимый низкоамплитудный «очаг». Подобное распределение поля суммарной когерентности говорит о различиях в обработке звуковых сигналов в двух группах и неадекватности локализации воспринимающих центров, отраженной на карте группы «Слух».

Если говорить о распределении других «очагов», то конфигурация связей схожа в обеих группах. Отдельно следует отметить «очаги» в правой теменной и правой височно-лобной долях: высокоамплитудная область первого «очага» ярче выражена на карте группы «Слух», второго «очага» – на карте группы «Норма». Для отведений, лежащих в области этих максимумов можно исследовать соотношения вклада различных сигналов в суммы этих отведений. Подобного рода оценка будет реализована в следующих работах.

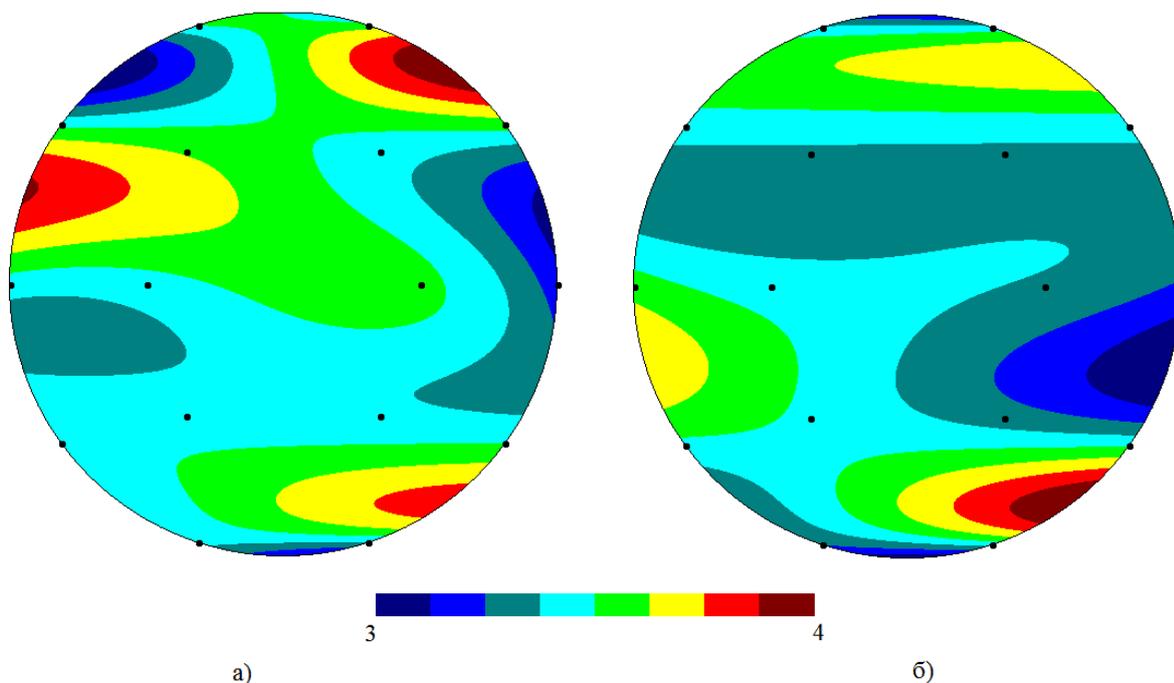


Рис. 2. Усредненные карты контрольной группы (а) и группы верифицированной нейросенсорной тугоухостью (б)

Разработанный метод картирования достаточно корректен, что подтверждают результаты моделирования, однако необходима дальнейшая работа над алгоритмом: в первую очередь, разработка способа погашения осцилляций, характерных для полиномиальных методов интерполирования [3]. Разработанный способ нейрокартирования уровня корковых связей представляет интерес для исследования взаимодействия нервных центров и выявления неадекватности этого взаимодействия. Также данный способ может быть частью более обширного диагностического комплекса, базирующегося на анализе оценки когерентности связей КГМ.

Список источников

1. Ливанов М.Н. Пространственно-временная организация потенциалов и системная деятельность головного мозга. М., Наука, 1989. – 400 с.
2. Иванов Л.Б. Прикладная компьютерная электроэнцефалография. М.: АОЗТ «Антидор», 2000. – 256 с.
3. Березин, И. С., Жидков Н. П. Методы вычислений. – 2-е изд. – М.: Физматгиз, 1962. – 667с.

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ AL И ВХОДЯЩИХ ФАЗ
НА ЗАЩИТНЫЙ ЭФФЕКТ ПОКРЫТИЙ $Ti_{1-x}Al_xN$
В 3% РАСТВОРЕ NaCl: ОБЗОР**

Бублик Н.В., Каменева Д.В.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Каменева А.Л.

*Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь*

В многочисленных публикациях установлено, что коррозионная стойкость PVD и CVD покрытий $Ti_{1-x}Al_xN$ зависит от содержания в них Al. Проведен анализ влияния фаз Al_2Ti , Ti_3Al , Ti_2N , c-AlN, c-TiN и c- $Ti_{0.5}Al_{0.5}N$ на защитный эффект тонкопленочных покрытий $Ti_{1-x}Al_xN$ в 3% растворе NaCl.

Ключевые слова: покрытия $Ti_{1-x}Al_xN$, алюминий, фазы Al_2Ti , Ti_3Al , Ti_2N , c-AlN, c-TiN и c- $Ti_{0.5}Al_{0.5}N$, 3% NaCl

В данной статье выполнено теоретическое исследование влияния двух- и трехкомпонентных фаз Al_2Ti , Ti_3Al , Ti_2N , c-AlN, c-TiN и c- $Ti_{0.5}Al_{0.5}N$, образующихся в процессе формирования системы Ti-Al-N, а также содержания Al на защитный эффект покрытий $Ti_{1-x}Al_xN$ в 3% растворе NaCl.

Алюминиды титана обладают высокой температурой плавления, низкой плотностью, высоким модулем упругости, возрастанием с повышением температуры предела текучести (для TiAl), стойкостью к окислению и возгоранию, высоким соотношением прочность/плотность и жаропрочность. Интерметаллид Al_2Ti ($\rho=3,602$ г/см³), как и Al_3Ti ($\rho=3,414$ г/см³) обладает меньшей плотностью и лучшей стойкостью к окислению по сравнению с Ti_3Al ($\rho=4,195$ г/см³) и TiAl ($\rho=3,816$ г/см³) [1]. Сплав Al_2Ti включает Al=66.67 ат.% и Ti=33.33 ат.% (pdf. 04-016-7620) и имеет тетрагональную кристаллическую структуру HfGa₂-type, содержащую 24 атомов на элементарную ячейку с $a = 3,9646$ Å, $c = 23,898$ Å [2].

Стехиометрические покрытия AlN электрохимически инертны и демонстрируют высокую коррозионную стойкость по сравнению с нестехиометрическими покрытиями Al_{rich} AlN [3]. Плотность тока коррозии сте-

хиометрического покрытия AlN соответствует $0,18 \text{ мкА см}^{-2}$, а значение поляризационного сопротивления при коррозионном потенциале составляет 360 кОм см^2 [4-5].

Соединения Ti-N состоят из трех различных фазовых областей в зависимости от содержания N: $\alpha\text{-Ti}$ до $N/\text{Ti} = 0,2$, Ti_2N для $0,2 < N/\text{Ti} < 0,6$ и $\text{Ti}_{1-x}\text{N}_x$ для $N/\text{Ti} \geq 0,6$. В литературе упоминаний о промежуточных аморфных стадиях в ряду $\alpha\text{-Ti(N)} \rightarrow \text{Ti}_2\text{N} \rightarrow \text{TiN}$ не обнаружено [6]. Установлено, что многослойное покрытие $\text{Ti}_2\text{N}/\text{TiN}$ может обеспечить превосходную коррозионную стойкость для SS304 [7]. Плотность тока коррозии покрытия TiN, осажденного электродуговым испарением (ЭДИ), соответствует $0,23 \text{ мкА см}^{-2}$, а магнетронным распылением (МР) – $0,68 \text{ мкА см}^{-2}$ [8].

Авторы работы [3] считают затруднительным установление корреляционной связи между моделированием тройной фазовой диаграммы Ti-Al-N и изменением структуры данной системы от содержания Al. Величину x в покрытиях $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ уточняют в зависимости от метода их осаждения. Нанесение однофазного $c\text{-Ti}_{0,5}\text{Al}_{0,5}\text{N}$ с максимальным $x \approx 0,7$ возможно для методов PVD, таких как МР распыление или ЭДИ, и до $x \approx 0,9$ – для покрытий $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$, нанесенных термическими методами CVD или PECVD (где x определяется как молярное отношение $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Ti})$). Выше этих значений ($x = 0,7$ для методов PVD и $x = 0,9$ для PECVD) происходит осаждение гексагональной фазы ($hcp\text{-Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ для методов PVD и $hcp\text{-AlN}$ для процессов CVD).

В многочисленных публикациях установлено, что коррозионная стойкость PVD и CVD покрытий $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ зависит от содержания в них Al [6, 9-10], увеличение которого приводит к изменению фазового и элементного состава и его структуры. При изменении концентрации Al (x) от 0 до 0,6, PVD покрытия $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ идентифицировали как метастабильный кубический нитрид $c\text{-Ti}_{0,5}\text{Al}_{0,5}\text{N}$, имеющий кубическую структуру B1 с пространственной группой $Fm\bar{3}m$, структура-прототип NaCl, как и чистого TiN. В диапазоне $0,55 \leq x \leq 0,66$ фаза AlN выделяется по границам зерен кубической фазы $c\text{-Ti}_{0,5}\text{Al}_{0,5}\text{N}$ [9]. СЭМ выявила столбчатую структуру с содержанием Al до 60% [9]. Покрытия $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ демонстрируют сильную преимущественную ориентацию (111). Превосходная стойкость к окислению покрытий $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ обеспечивается образованием метастабильных кубических твердых растворов $c\text{-Ti}_{0,5}\text{Al}_{0,5}\text{N}$, для которых требуются кинетически ограниченные низкотемпературные условия роста [7, 10-14]. При увеличении содержания Al в покрытиях $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ происходит измельчение зерна, что уменьшает столбчатую структуру и затем приводит к снижению концентрации агрессивного раствора внутри покрытия [5]. Кроме того, помимо коррозионной стойкости скорость эрозии монотонно уменьшается с увеличением Al от 0 до 0,58. Минимальная плотность тока коррозии покрытий $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ с $x < 0,6$ составляет около $0,27 \text{ мкА см}^{-2}$ and

the maximum polarization resistance value at the corrosion potential is 150-550 КОМ·см² [13].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Benci, J.E., Ma, J.C., & Feist, T.P. Structure and Microstructure of Al₂Ti Intermetallic Alloy. MRS Proceedings, 1992. P. 288-397 .

2. Yan, X.-L., Chen, X.-Q., Grytsiv, A., Rogl, P., Podloucky, R., Schmidt, H., G. Giester, Ding, X.-Y. On the ternary Laves phases Ti(Mn_{1-x}Al_x)₂ with MgZn₂-type. Intermetallics, 2008. V. 16(1). P.16–26.

3. Uny, F., Blanquet, E., Schuster F., Sanchette F. Ti-Al-N-Based Hard Coatings: Thermodynamical Background, CVD Deposition, and Properties. A Review // Coatings and Thin-Film Technologies. 2019.Chapter 9. IntechOpen books.

4. Kameneva, A.L., Kichigin, V.I. Corrosion, wear, and friction behavior of a number of multilayer two-, three- and multicomponent nitride coatings on different substrates, depending on the phase and elemental composition gradient // Applied Surface Science, 2019. V. 489. P. 165–174.

5. A Kameneva, A.L., Kichigin, V.I., Bublik, N.V. Effect of structure, phase, and elemental composition of AlN, CrAlN, and ZrAlN coatings on their electrochemical behavior in 3% NaCl solution // Materials and corrosion, 2022. V.73(8). P. 1308–1317.

6. Vieira, M.T., Ramos, A.S., Castanho, J.M., Oliveira, J.C., Cavaleiro, A. From Ti–Al- to Ti–Al–N-sputtered 2D materials // J. Mater. Sci, 2007. V. 42. P. 9145–9153.

7. Zhang, L., Duan, L., Guo, et al. Corrosion behavior of TiN-coated stainless steel as bipolar plate for proton exchange membrane fuel cell // Int. J. Hydrogen Energy, 2010, V. 35. №8. P. 3721–3726.

8. Zamaletdinov, I.I., Kichigin, V.I., Kameneva, A.L., Klochkov, A.Yu. Influence of TiN coatings on the corrosion behavior of VK8 alloy // Corrosion: materials, protection, 2011. No. 6. P. 32-38.

9. Zhou, M., Makino, Y., Nose, M., Nogi, K. Phase transition and properties of Ti–Al–N thin films prepared by r.f.-plasma assisted magnetron sputtering // Thin Solid Films, 1999. V. 339. P. 203.

10. PalDey S., Deevi, S. Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti,Al)N: a review // Materials Science and Engineering: A, 2003, V. 342. № 1-2. P. 58–79.

11. Woo, J.H., Lee, J.K., Lee S.R., Lee, D.B. High-Temperature Oxidation of Ti_{0.3}Al_{0.2}N_{0.5} Thin Films Deposited on a Steel Substrate by Ion Plating // Oxidation of Metals, 2000. V. 53. P. 529–537.

12. Pogrebnyak, A.D., Drobyshevskaya, A.A., Beresnev, V.M., Kylyshkanov, M.K., Kirik, T.V., Dub, S.N., Tuleushev, Y.Z. Micro- and nanocomposite Ti-Al-N/Ni-Cr-B-Si-Fe-based protective coatings: Structure and properties // Technical Physics, 2011. V. 56(7). P. 1023–1030.

13. Kameneva, A.L., Kichigin, V.I., Bublik, N.V. Structure and electrochemical behavior of AlN, AlTiN, and AlTiSiN PVD coatings in 3% NaCl solution, Journal of Materials Engineering and Performance, 2022. V. 31(12). P. 10402–10411.

14. Rawn, C.J., Barsoum, M.W., El-Raghy T., Prociopio A., Hoffmann, C.M., Hubbard, C.R. // Mater. Res. Bull., 2000. V. 35. P. 1785-1796.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АКТИВНОГО ТЕПЛОТВОДА НА СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПРИ УСТАНОВКЕ РЕМОНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Ким В.С.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Михеев Р.С.

*Московский государственный технический университет
имени Баумана Н.Э., г. Москва*

Исследовано влияние активного теплоотвода на свойства наплавленного металла при установке ремонтных конструкций магистральных трубопроводов. Экспериментально построены сварочные термические циклы и определены температурно-временные характеристики процесса дуговой сварки при активном теплоотводе. Показано, что увеличение скорости охлаждения приводит к росту твёрдости наплавленного металла.

Ключевые слова: сварочно-термический цикл, твёрдость наплавленного металла, скорость охлаждения

Значительная протяженность (свыше 200 тыс. км) магистральных трубопроводов в Российской Федерации, обуславливает необходимость их регулярного технического обслуживания [1]. Важное значение в рамках технического обслуживания приобретает выполнение ремонтных работ на участках магистральных трубопроводов, имеющих несоответствия и несовершенства (в частности, в сварном шве или основном металле). Применение ремонтных конструкций позволяет производить оперативный ремонт трубопровода без остановки перекачки продукта, а также исключает необходимость замены поврежденного участка [2]. Однако, сохранение возможности транспортировки продукта при установке ремонтной конструкции на трубопровод приводит к необходимости учета активного теплоотвода [3]. Поскольку основной технологической операцией, применяемой для монтажа ремонтных конструкций, является процесс сварки, то данная особенность существенно влияет на условия нагрева и охлаждения, определяющие структуру и свойства наплавленного металла. Поэтому целью настоящей работы являлось исследование влияния активного теплоотвода на свойства на-

плавленного металла при установке ремонтных конструкций магистральных трубопроводов.

Наплавленные валики формировали процессом полностью механизированной дуговой сварки на поверхности установленной в сборочно-сварочном приспособлении пластины размером 500×500×12 мм из низкоуглеродистой качественной стали 09Г2С по ГОСТ 19281–2014. С целью создания активного теплоотвода пластину предварительно устанавливали в оригинальную экспериментальную установку, представляющую собой короб, внутри которого предусмотрены форсунки, обеспечивающие ламинарный поток охлаждающей жидкости (рисунок).

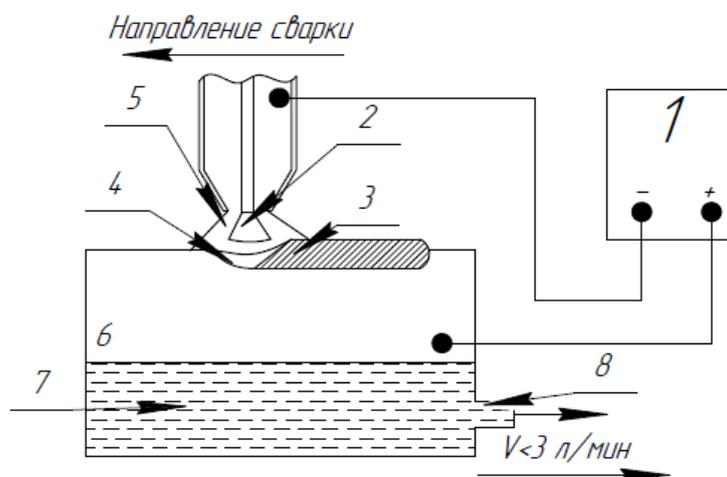


Схема процесса сварки с активным теплоотводом. 1 – источник питания, 2 – сварочная дуга, 3 – наплавленный металл, 4 – сварочная ванна, 5 – защитный газ, 6 – пластина, 7 – охлаждающая жидкость (активный теплоотвод), 8 – форсунка

В качестве охлаждающей жидкости применяли проточную воду, расход которой составлял 3 литра в минуту. Выбранное значение расхода жидкости с одной стороны, позволяло удалять возможные пузырьки водяного пара из области нагрева, а с другой – считать, что теплоотвод осуществляется в «стоячую» воду.

Процесс сварки выполняли на постоянном токе прямой полярности и следующих параметрах: сила тока 205 А; скорость подачи присадочной проволоки 5,1 мм/с; напряжение дуги 24,7 В; скорость сварки 8 м/мин, расход защитного газа (80%Ar + 20%CO₂) 10 л/мин. В качестве присадочного материала применяли порошковую проволоку диаметром 1,2 мм марки ESAB PZ6113 (0,06% С, 1,2% Mn, 0,45% Si). Для построения сварочных термических циклов (СТЦ) предварительно вдоль наплавленного валика устанавливали 8 термопар на расстоянии (0,5–1,5) мм от его края. Сопоставление полученных результатов осуществляли с таковыми, полученными при отсутствии активного теплоотвода и охлаждении пластины на воздухе. С целью оценки свойств наплавленного металла осуществляли измерение твердости по Виккерсу (HV) вдоль линии сплавления.

Температурно-временные характеристики процесса дуговой сварки, полученные при обработке параметров построенных СТС, а также измеренные геометрические размеры и значения твердости наплавленного валика приведены в таблице.

Температурно-временные характеристики процесса сварки,
геометрические размеры валика и твердость наплавленного металла

Характеристика процесса сварки	Время охлаждения, $t_{8/5}$, с	Скорость охлаждения, $\omega_{6/5}$, °C/с	Ширина шва, мм	Высота шва, мм	Глубина проплавления, мм	Твердость, HV
Без теплоотвода	5,8	37,4	13,1	3,3	1,1	260
С активным теплоотводом	4,4	57,1	12,6	3,3	1,2	301

Видно, что по сравнению с обычными условиями при наличии активного теплоотвода процесс сварки характеризуется сокращением на 24% времени охлаждения в интервале температур (800-500) °C ($t_{8/5}$), а также ростом в 1,5 раза скорости охлаждения в интервале температур наименьшей устойчивости аустенита ($\omega_{6/5}$).

Результатом этого является уменьшение ширины с 13,1 до 12,6 мм наплавленного валика и увеличение глубины проплавления пластины с 1,1 до 1,2 мм. Кроме того, вследствие активного теплоотвода наблюдается рост на 25% (с 260 до 301 HV) твердости наплавленного металла. Таким образом, активный теплоотвод способствует росту скорости охлаждения наплавленного металла, что может привести к формированию закалочных структур, и, как следствие, образованию холодных трещин. Также по результатам определено, что значения геометрии сечения сварного шва, сварку которых выполняли с активным теплоотводом, составляли в среднем: высота шва – 3,3 мм, ширина шва – 12,6 мм, глубина проплавления – 1,2. Поэтому важное значение для получения работоспособных соединений при установке ремонтных конструкций на действующих трубопроводах приобретает не только выбор режимов сварки, но и учет параметров, влияющих на теплоотвод (скорость потока продукта в трубе, применение сопутствующего подогрева и т. д.).

Список источников

1. Губанова И. Р. Область мониторинга по транспортировке нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам // Проблемы обеспечения безопасности (Безопасность-2022): материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию УГАТУ, Уфа. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2022. – С. 247-251.

2. Парфенов А. А., Мельникова Д. А. Особенности обеспечения безопасности производства сварочных работ на действующих газопроводах // *Advances in Science and Technology: сборник статей XLVII международной научно-практической конференции*, Москва – Москва: ООО «Актуальность.РФ», 2022. – С. 66-68.

3. Каримова И., Амиркулов Н. С. Совершенствование Технологии Ремонта Дефекта Действующих Магистральных Нефтепроводов // *Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science*. – 2022. – Т. 3. – №. 12. – С. 82-89.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ИСПЫТАНИИ НА РАСТЯЖЕНИЕ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ОБРАЗЦОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА FDM/FFF

Князькова В.В.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В статье рассмотрен метод аддитивного производства – изготовление деталей с помощью 3D принтера, работающего по технологии FDM/FFF, а также приведены результаты исследования прочностных характеристик сварного соединения полученных изделий.

Ключевые слова: аддитивные технологии, прочностные характеристики, растяжение, сварка полимеров

Введение

В настоящее время аддитивные технологии являются одним из трендовых направлений развития производства. Печать методом послойного наложения расплавленной полимерной нити (FDM) представляет собой процесс аддитивного производства, который реализуется благодаря экструзии материалов. [1] Изделия, полученные по технологии FDM, не отличаются высокой механической прочностью, что может привести к частичной их поломке. В связи с этим возникает задача оперативного ремонта изделия во избежание его простоя до доставки вновь напечатанного.

Методика исследования

В 3D редакторе была построена модель заготовки для проведения экспериментов (рис. 1).

На 3D принтере «Fortus 250mc Stratasys» были изготовлены 4 образца указанных размеров с разным заполнением – два образца с заполнением 50% и два с заполнением 100%, а также 2 контрольных с размерами

70×10×5 мм с заполнением 50% и 100%. Материал образцов – ABS пластик, нить диаметром 1,75 мм. [4] Полученные образцы были подвергнуты сварке при помощи паяльника и филамента из ABS пластика. Сварке подвергалось 4 образца для получения двух цельных брусков с разным заполнением (50 и 100%).

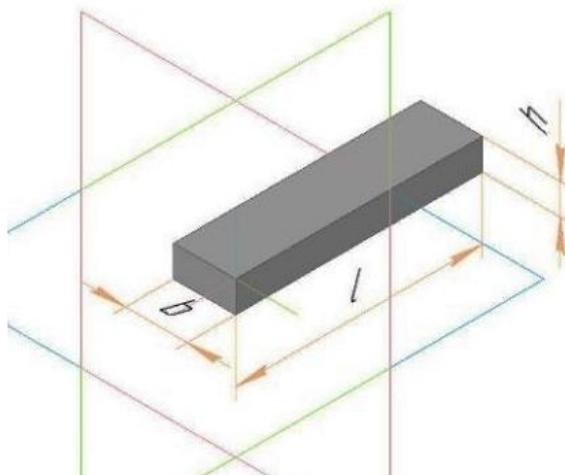


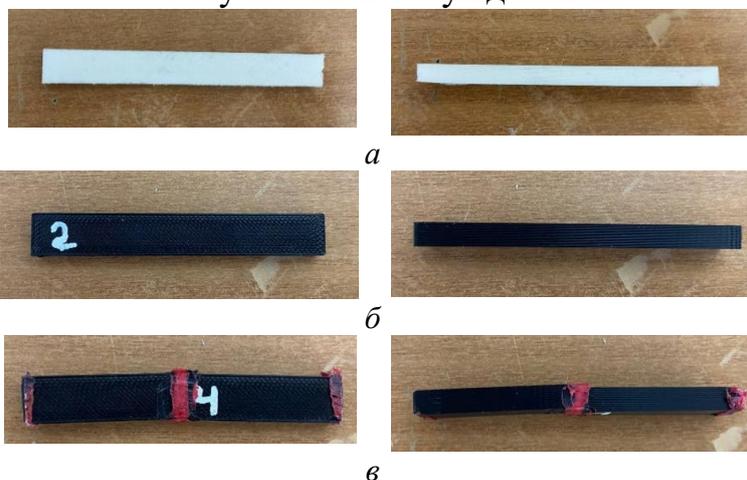
Рис. 1. Модель заготовки: $l = 40$ мм, $b = 10$ мм, $h = 5$ мм

Процесс осуществлялся следующим образом:

- 1) В месте стыка образцов при помощи напильника производилось снятие фаски размерами $0,5 \times 45^\circ$;
- 2) Образцы закреплялись на монтажном столике обработанными торцевыми поверхностями вплотную друг к другу;
- 3) Сверху укладывался пруток из ABS пластика для его плавления при помощи паяльника, нагретого до температуры (100-150) °С. Температура фиксировалась при помощи пирометра Testo 830-T1.

Для исследования прочностных характеристик сварных соединений были проведены испытания на растяжение по ГОСТ 1497-84 при помощи универсальной испытательной машины ИР 5082-100. Образцы нагружались со скоростью 200 мм/мин до разрушения.

Результаты и обсуждение





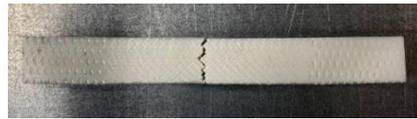
z

Рис. 2. Образцы до испытаний: цельные (а – 100% заполнение, б – 50% заполнение), сварные (в – 50% заполнение, z – 100% заполнение)



а

б

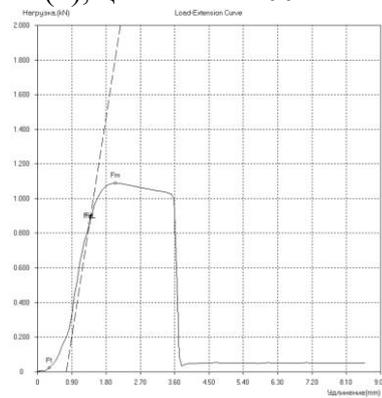


в

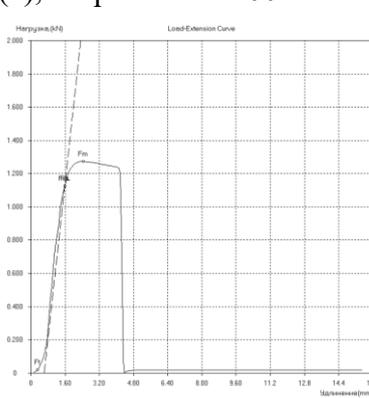


z

Рис. 3. Образцы после испытаний: сваренный – 50% заполнение (а), цельный – 50% заполнение (б), цельный – 100% заполнение (в), сваренный – 100% заполнение (г)

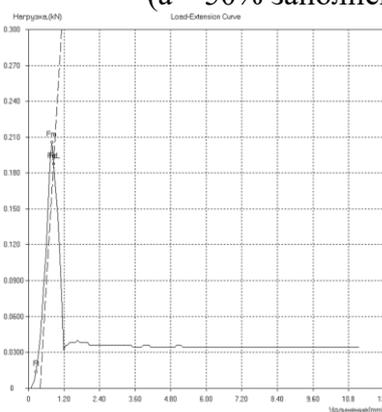


а

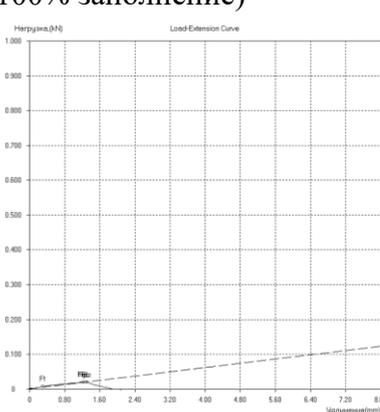


б

Рис. 4. Графики зависимости напряжения от удлинения для контрольных образцов (а – 50% заполнение, б – 100% заполнение)



а



б

Рис. 5. Графики зависимости напряжения от удлинения для сваренных образцов (а – 100% заполнение, б – 50% заполнение)

Графики зависимости напряжения от удлинения (рис. 4-5), по которым определяется модуль Юнга, характеризующий способность материала сопротивляться растяжению при упругой деформации. Расчетные значения модуля Юнга представлены в таблице.

Значения модуля Юнга для исследуемых образцов

Образец	Модуль Юнга E, МПа
Контрольный с заполнением 100%	764,7
Контрольный с заполнением 50%	764,2
Сваренный с заполнением 100%	363,6
Сваренный с заполнением 50%	36,6

Заключение

После проведения испытаний на растяжение было выяснено, что несущая способность с уменьшением заполнения до 50% снизилась незначительно – всего на 0,06%. У сваренного образца с заполнением 100% определено снижение несущей способности на 52,4% относительно цельного образца и для сваренного образца с заполнением 50% показатели оказались критическими – снижение несущей способности на 95,2%.

Список источников

1. 3D TOOL: FDM технология, как это работает. – Москва. – URL: <https://3dtool.ru/stati/fdm-tehnologiya-kak-eto-rabotaet/> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.
2. Промтехгаз: техника сварки пластмасс и перспективы развития. – URL: <http://промтехгаз.пф/slovar/tehnika-svarki-plastmass-i-perspektivy-tehnologii/> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.
3. Print Product: ABS GEO пластик. – URL: <https://printproduct3d.ru/catalog.html#!/ABS-GEO-пластик-PrintProduct/p/111998211/category=32229053> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИГУР ТИПА «КУБ», ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА FDM

Кондрашов А.К.

Научный руководитель: Тимофеев М.Н.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В статье рассмотрен метод аддитивного производства – изготовление деталей с помощью 3D принтера, работающего по технологии FDM, а также исследование прочностных характеристик полученных изделий.

Ключевые слова: аддитивные технологии, прочностные характеристики, 3D принтер

Одной из популярнейших на данный момент аддитивной технологией является FDM (Fused Deposition Modeling). FDM – это наиболее широко используемая технология 3D-печати. FDM принтеры в большом многооб-

разии представлены на рынке Технология FDM подразумевает создание трехмерных объектов за счет нанесения последовательных слоев материала, повторяющих контуры цифровой модели.[1] Процесс проходит внутри изолированной камеры, в которой поддерживается температура около 90°C . Как следствие, материал попадает из горячего экструдера на разогретый стол, следуя через горячую среду. То, что весь процесс проходит при высокой температуре, упрощает контроль механических характеристик изделия. Использование нагревательной камеры защищает его от коробления и скручивания, повышает адгезию слоев.

Целью данной работы является проведение эксперимента физического воздействия на модели напечатанных по технологии FDM на принтере Fortus 250mc и исследование их прочностных характеристик, а именно объемных фигур типа «куб».

Методика исследования

В 3D редакторе была построена модель заготовки для проведения экспериментов, показанная на рис. 1.

Геометрические параметры модели следующие: h (высота куба) – 30 мм, b (ширина куба) – 30 мм, S (площадь поперечного сечения) – 730 мм^2 .

На 3D принтере «Fortus 250mc»(рис 1.) [2] были изготовлены 3 образца изделий с заполнением 10%, 30% и 50%.

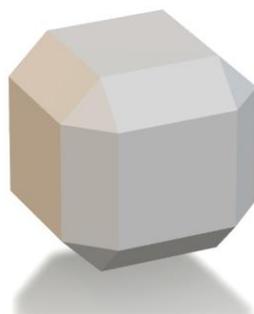


Рис. 1. Модель куба

Модели распечатана со следующими характеристиками настроек: Скорость печати: $15\text{ см}^3/\text{ч}$, температура стола: 55°C , температура экструдера: 220°C , материал изделия ABSplus-P430, толщина слоя – 0,254 мм.

Для исследования прочностных характеристик заготовок были проведены испытания на сжатие готовых изделий по ГОСТ 4651 – 2014 [3] на машине испытательной универсальной Импульс ИР 5082-100. В ходе проведения эксперимента было выявлено, что фигуры типа «куб» хорошо выдерживают нагрузку и после того как модели (рис 2.) деформировались их сопротивление нагрузки начало возрастать, что видно на графиках (рис 3.).



Рис. 2. Образцы до и после испытаний:
a – образцы до испытаний; *б* – образцы после испытаний

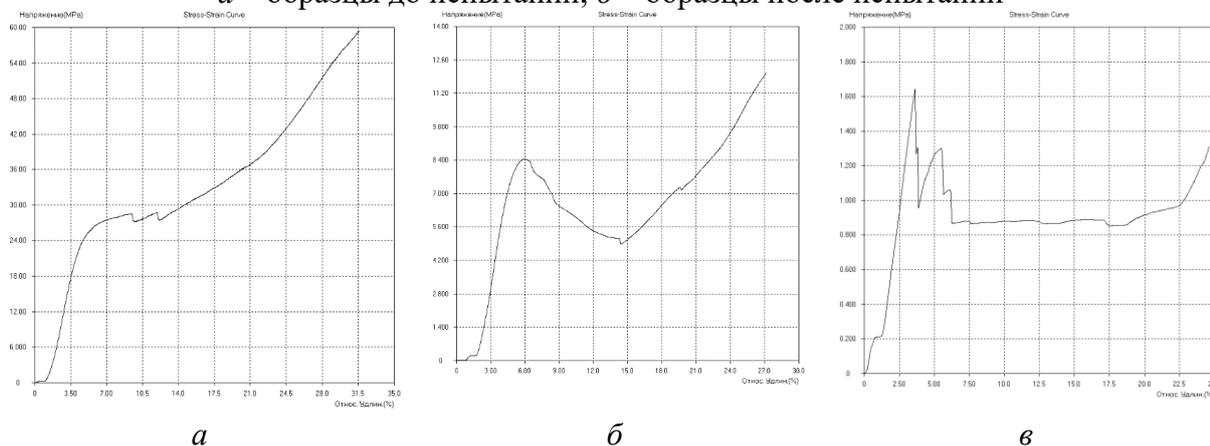


Рис. 3. Графики нагружений образцов: *a* – 1 образца; *б* – 2 образца; *в* – 3 образца

Результат эксперимента

Выдержанное напряжение:

1. Образец с заполнение 50 % выдержал 28МПа после чего начал трескаться и потерял форму.

2. Образец с заполнением 30 % выдержал 8.4 МПа, затем резко понизил свои характеристики и лопнул.

3. Образец с заполнением 10 % начал свою деформацию сразу после начала воздействия и выдержал всего 1.6 МПа.

Из графиков наблюдаем следующее:

Уравнение регрессии модели №1 с коэффициентом корреляции 0.898 и коэффициентом детерминации 0,8064:

$$y = 0.898 \frac{x-13,17}{7,735} 3,925 + 6,69 = 0,456x + 0,689 \quad (1)$$

Уравнение регрессии модели №2 с коэффициентом корреляции 0.58 и коэффициентом детерминации 0.3364:

$$y = 0,58 \frac{x - 19,07}{9,732} 4,686 + 7,49 = 0,279x + 2,166 \quad (2)$$

Уравнение регрессии модели № 3 с коэффициентом корреляции 0,973 и коэффициентом детерминации 0,9467:

$$y = 0,973 \frac{x - 17,6}{12,9} 2,15 + 3,717 = 0,162x + 0,862 \quad (3)$$

Заключение

В работе было представлено исследование прочностных характеристик деталей, напечатанных из материала ABSplus с различным процентом внутреннего заполнения, были изучены графики напряжений, из которых было выявлено, что образец № 1 с максимальным заполнением выдержал наибольшую нагрузку. Таким образом, при использовании данной методики возможно подобрать вариант с подходящими характеристиками, например образец № 3 выдержал нагрузку на несколько порядков ниже № 1 и № 2, но при этом он гораздо легче предыдущих и такой тип заполнения вполне может использоваться в БПЛА, а первые два образца могут использоваться в строительстве из-за своих высоких несущих способностей.

Список источников

1. 3D Today. Моделирование методом послойного наплавления; руководитель проекта Сергей Пушкин ; Разработчик Вячеслав Антонюк : URL : https://3dtoday.ru/wiki/FDM_print/ (дата обращения: 19.05.23)
2. ГОСТ 4651-2014. Пластмассы. Метод испытания на сжатие. – Введ. 2014–12–01. – М.: Изд-во стандартов, 2014.
3. Абдус С.Н Доступная 3D печать для науки, образования и устойчивого развития. – Мирмар : МЦТФ, 2014. – 192 с.
4. Никонов Вячеслав. КОМПАС-3D: создание моделей и 3D-печать. – Москва : ЛитРес, 2020. – 209 с.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКИ В МЕДИЦИНСКИХ АВТОМОБИЛЯХ

Крузе А.А., Лямов И.Н.

Научный руководитель: Нестеренко И.С.

Омский государственный технический университет, г. Омск

Современный транспорт играет огромную роль в нашей жизни. Он позволяет быстро и удобно перемещаться по городу, стране или даже миру. Однако, существуют определенные категории грузов, которые требуют особого подхода при транспортировке. Специальное медицинское оборудование – один из таких грузов. Для его перевозки необходима надежная система подвески, которая обеспечит сохранность и целостность груза. В связи с этим все большее внимание уделяется разработке новых технологий и модернизации транспорта для перевозок специального медицинского оборудования. Одной из самых эффективных и перспективных является пневмоподвеска – система подвески на

воздушной подушке, обладающая высокой устойчивостью и амортизационными свойствами.

Ключевые слова: пневморессора, пневмоподушка, клиренс, амортизация

Современное медицинское оборудование становится все более сложным и требует особого подхода при перевозке. Как правило, это связано с необходимостью сохранения целостности дорогостоящего оборудования, а также обеспечения комфорта пациента при транспортировке.

Одним из наиболее эффективных решений является использование пневмоподвески в транспорте. Пневмоподвеской (пневматической подвеской) называют разновидность подвески, имеющую возможность регулировки дорожного просвета в автоматическом или полуавтоматическом режиме, но без применения физической силы [1]. Она состоит из пневмоподушек, пневморессор и системы управления.

При использовании пневмоподвески для транспортировки медицинского оборудования особенно важно учитывать клиренс – расстояние от нижней точки автомобиля до земли. Чем больше клиренс, тем выше вероятность повреждения оборудования при прохождении неровностей на дороге. При этом слишком маленький клиренс может привести к застреванию автомобиля на препятствиях.

Одним из наиболее популярных решений для транспортировки медицинского оборудования с использованием пневмоподвески является установка пневморессор. Пневморессора (пневматическая рессора, пневмоподушка, пневмобаллон) – упругий элемент пневматической подвески транспортных средств; пневматический баллон с возможностью изменения объема и жесткости, располагающийся между колесной осью и рамой/кузовом автомобиля [2]. Это позволяет более точно настроить систему подвески под конкретные условия эксплуатации.

Важным преимуществом использования пневмоподвески при транспортировке медицинского оборудования является повышение комфорта для пациента. Благодаря более эффективной амортизации ударов и колебаний на дороге, можно значительно снизить нагрузку на организм пациента и уменьшить риск возникновения осложнений.

Еще один важный аспект – это возможность создания комфортных условий для пациентов во время транспортировки. Пневмоподвеска значительно снижает уровень шума и вибрации в кабине автомобиля, что создает более комфортные условия для перевозки пациентов. Пневмоподвеска позволяет значительно снизить вертикальную вибрацию. Пневматическая подвеска по сравнению с рессорной снижает вибронагрузку в 2,5 раза. Общая вибрация первой категории – транспортная вибрация, действующая на человека на рабочих местах самоходных и прицепных машин, транспортных средств при движении по местности и дорогам. Регулируется Санитарными нормами допустимой вибрации – СН2.2.4/2.1.8.566 [3].

Важно отметить, что использование пневмоподвески в медицинских перевозках может значительно повысить эффективность и безопасность таких перевозок. Благодаря улучшению условий транспортировки оборудования и пациентов можно снизить риски возникновения аварийных ситуаций и повреждений оборудования.

Таким образом, применение пневмоподвески при перевозке специального медицинского оборудования имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами. Это позволяет не только защитить дорогостоящее оборудование от повреждений, но и создать более комфортные условия для пациентов во время транспортировки [4].

В условиях современного городского транспорта, особенно в мегаполисах, перевозка специального медицинского оборудования является одной из самых сложных задач. Для решения этой проблемы существует несколько подходов, одним из которых является использование пневмоподвески. Одной из основных причин выбора пневмоподвески является возможность регулировки клиренса. Это очень важно при перевозке тяжелых и габаритных предметов, таких как медицинская аппаратура. Регулировка клиренса позволяет уменьшить вероятность повреждения оборудования на неровностях дороги. Кроме того, пневмоподвеска обладает высокой грузоподъемностью и способна выдерживать значительные нагрузки. Это особенно важно при перевозке медицинского оборудования, так как оно может быть очень тяжелым и требовательным к условиям перевозки. Однако, необходимо отметить, что использование пневмоподвески для медицинских перевозок требует дополнительной экспертизы и контроля безопасности. Важно учитывать все особенности оборудования и его характеристики при выборе подходящей системы пневмоподвески.

В целом модернизация транспорта с помощью пневмоподвески является эффективным решением для перевозок специального медицинского оборудования. Она повышает комфортность и безопасность перевозок, а также уменьшает вероятность повреждения оборудования на неровных дорогах. Однако необходимость контроля безопасности и экспертизы делает ее более сложной в использовании по сравнению с обычными автомобильными подвесками. Но, не смотря на это, такая система является эффективным решением для перевозки медицинского оборудования и пациентов.

Список источников

1. Что такое пневмоподвеска: [сайт]. – URL: https://pikabu.ru/story/chto_takoe_pnevmapodveska_4216597 (дата обращения: 11.05.2023).

2. Пневморессора: основа пневматической подвески // Автоальянс : [сайт]. – URL: <https://www.autoopt.ru/articles/products/40445730> (дата обращения: 11.05.2023).

3. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий / Г.А. Суворов, Л.В. Прокопенко, Л.Н. Шкаринов и др. // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901703281> (дата обращения: 11.03.2023).

4. Нестеренко Г.А., Нестеренко И.С., Цапов В.Ю. Спасательно-эвакуационная машина на базе автомобиля УАЗ 3303 // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 92-11. – С. 89-91.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Лавринович Д.П.

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Данилова Т.В.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

Увеличение разрешения изображения – задача по восстановлению фотографии с высоким разрешением из её аналога с низким разрешением. Задача по восстановлению изображений или улучшению их качества из ее аналога с низким качеством, является задачей актуальной по сей день. В данной статье рассматриваются существующие нейронные сети, которые используются для восстановления и улучшения изображений.

Ключевые слова: нейронные сети, улучшение изображений, GAN

Большинство фотографий, картинок и видеороликов в сети существуют в невысоком разрешении, поэтому их приходится растягивать под размеры экрана, вследствие чего изображение становится мутным и нечётким. Для ее решения стали использовать нейронные сети, которые обучили распознавать, что находится на картинке и, в случае возникновения необходимости «дорисовывали» недостающие фрагменты, и это предоставило удивительные возможности для улучшения качества и восстановления изображения. Так, например, нейронные сети позволили швейцарским ученым получать более четкие изображения из размытых снимков из телескопов, т. к. их мощность ограничена размерами используемых в них линз и зеркал. Применение новейших принципов машинного обучения дало возможность распознавать на снимках образ галактики и восстанавливать из размытого изображения более четкое [1].

Одной из самых популярных нейронных сетей для задачи восстановления и улучшения изображения является Generative Adversarial Network (GAN). Сети GAN, состоят фактически из двух сетей – генератора и дискриминатора, которые обучаются совместно. Цель генератора – синтезировать основываясь на зашумленных данных изображение, наиболее близкое к реальному изображению в обучающей выборке, а цель дискриминатора – определить, какое из двух изображение поступило на его вход, оригинал или синтезированное. После обучения обычно используется только генератор, который синтезирует реалистичные изображения, кроме того, применяется для улучшения разрешения изображений, удаления шума и зернистости с исходного изображения.

В работе [2] задача улучшения изображения решается с применением GAN (Generative Adversarial Network), что позволило улучшить качество текстуры и делать обработанные максимально фотореалистичными.

GAN обеспечивают мощную основу для создания правдоподобных Super Resolution изображений с высоким качеством восприятия. Основные особенности:

- увеличение разрешения изображения с высокими коэффициентами масштабирования (4x);
- использование функции потерь восприятия;
- высокие результаты средней экспертной оценки на общедоступных наборах данных.



Рис. 1. Сравнение оригинала с изображениями разных нейронных сетей (Бикубическая интерполяция, глубокая остаточная сеть, SRGAN)

В статье [11] исследователи провели сравнительный анализ нейросетевых методов улучшения изображения в условиях плохой погоды для нейросетевых детекторов распознавания. В этой статье авторы рассматривали применение генеративной-сопоставительной сети (GAN) для улучшения изображения при наличии тумана, а также сверточную нейронную сеть (SPAN) для устранения последствий дождя. Несмотря на то, что в результате эксперимента, GAN, показал результаты хуже чем, SPAN, авторы отмечают, что использовать GAN можно в детекторах, так как применение сети SPAN достаточно проблематично ввиду их нескольких особенностей: длительное время обучения, потребность в сборе большого набора данных для обучения, низкая скорость работы.

Исследователи в статье [12] использовали нейронную сеть для улучшения качества томографических снимков.

Стоит сказать, что практически у всех GAN методов есть общий недостаток, связанный пусть и с минимальным, но искажением выходного изображения. К достоинству cGAN метода можно отнести высокую скорость работы с изображениями в низком разрешении.

Проблему реконструкции изображения и улучшения его качества не обошли стороной и мировые корпорации. Так, например, от компании Google есть созданный продукт – Google Brain, задачей которой является генерация наиболее правдоподобного изображения с точки зрения человека [4].

Еще один программный продукт для увеличения качества изображения от Google – программа RAISR (Rapid and Accurate Image Super Resolution). Данное программное решение может быть встроено в смартфон и работать в режиме реального времени [5].

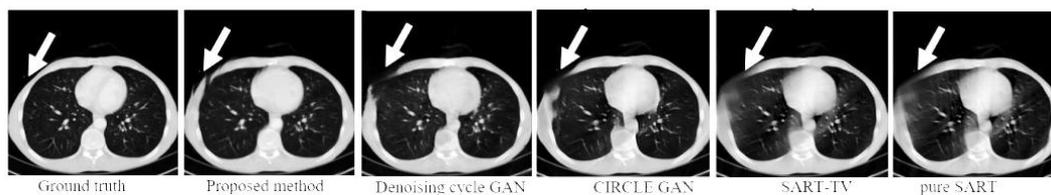


Рис. 2. Сравнение изображений, обработанных разными нейросетями

Не отстает от иностранной компаний и Yandex, которая представила технологию под названием «DeepHD», работающую на основе обучения нейронных сетей, улучшающую качество изображения. «DeepHD» можно применять как для видео, так и для статичных картинок. Целью разработчиков было создать нейросеть, которая бы сама обучалась «дорисовывать» пиксели в изображении, чтобы сделать его более четким [6, 7].

Такие технологии могут использоваться в веб-приложениях и онлайн-сервисах. Среди таких есть онлайн-сервисы Mass-images.pro [8] и Let's Enhance [9].

Нейронные сети предоставляют огромные возможности, не только в сфере обработки данных, но также имеют отличный потенциал в области обработки изображений, улучшая графическую составляющую и даже восстанавливать изображения. Сферой применения достаточно обширна, от простой обработки и улучшения качества до применения в медицине и инженерии.

Список источников

1. Нейронные сети помогают ученым получать четкие изображения из размытых снимков. – URL: <https://www.astronews.ru/cgi-bin/mng.cgi?page=news&news=9432> (дата обращения: 29.04.2023).
2. Photo-Realistic Single Image Super-Resolution Using a Generative Adversarial Network. – URL: arxiv.org/pdf/1609.04802.pdf (дата обращения: 01.05.2023)
3. Bharath Raj N, Venkateswaran N. Single Image Haze Removal using a Generative Adversarial Network // WiSPNET conference, – 2020. – pp. 37-42.
4. Вероятностное улучшение фотографий по нескольким пикселям: модель Google Brain. – URL: <https://habr.com/ru/post/401395/> (дата обращения: 01.05.2023).
5. Google's RAISR sharpens low-resolution images using machine learning. – URL: <https://newatlas.com/google-raisr-image-upscaling-super-resolution/46434/> (дата обращения: 02.05.2023).
6. DeepHD. – URL: <https://yandex.ru/promo/deephd> (дата обращения: 02.05.2023).
7. DeepHD. – URL: <https://yandex.ru/company/technologies/deephd/> (дата обращения: 05.05.2023).

8. Mass-images.pro. – URL: <https://mass-images.pro/ru/batch/tpl/autoimprove> (Дата обращения: 05.05.2023)

9. Let's Enhance. – URL: <https://letsenhance.io> (Дата обращения: 06.05.2023)

10. Улучшение качества изображения с помощью нейронной сети. – URL: <https://habr.com/ru/articles/359016/> (Дата обращения: 06.05.2023)

11. Анализ нейросетевых методов улучшения качества изображений и их влияния на работу системы распознавания объектов /А.А. Еремин, М.А. Митрохин, Я.П. Щеголихин, Е.В. Сальников // Пензенский государственный технологический университет, XXI ВЕК: итоги прошлого и проблемы настоящего. – 2022. – № 4 (60). – Т. 11. – С. 80-84.

12. Self-Attention Generative Adversarial Network for Iterative Reconstruction of CT Images. – URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2112/2112.12810.pdf> (Дата обращения: 06.05.2023)

СВОЙСТВА ПАРАФИНА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЛЫЖ

Лямов И.Н.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Нестеренко Г.А.

Омский государственный технический университет, г. Омск

Катание на лыжах – это не только вид спорта, но и активный вид отдыха, для того, чтобы лыжи имели повышенные качества скольжения и имели способность отталкивать воду – их покрывают специальными мазями, такими как парафин. Свойства и применения парафинов рассмотрены в статье.

Ключевые слова: лыжи, парафин, обработка, скольжение, смазка

Парафины – это смеси из углеводородов, которые получают в качестве стороннего продукта при переработке нефти. Состав парафиновых смесей может отличаться по степени вязкости [1].

Существуют такие виды парафинов:

- мягкий, которые тает при обычной комнатной температуре;
- твердый, для расплавления которого требуется нагрев до 70° С;
- кристаллические парафины, которые проходят процесс кристаллизации при нагреве свыше 70° С.

Парафины по своим свойствам являются одновременно и смазкой, и водостойким составом. Это вещество нашло применение в различных видах лыжного спорта в качестве средства, которое улучшает скольжение.

Парафиновые смеси для смазки лыж обычно подразделяются на следующие типы (рис. 1):

- для катания при низких температурах ниже -12°C ;
- для катания по снегу температурой от -12 до -2°C ;
- Теплые типы, используемые при температуре выше -2°C .

Основное вещество, от которого зависит качество скольжения при теплой погоде, – фтор. Для парафиновых смазок, рассчитанных на теплую погоду, добавляют большее его количество. Чем меньше его концентрация, тем на более низкую температуру рассчитана смазка. Также имеются смазки, которые можно применять вне зависимости от погоды. Например, для использования в температурном диапазоне от 0 до -30°C . В составе таких смазок находятся, помимо фтора, силикон, оксиды металла и различные виды солей.



Рис. 1. Типы парафиновых смазок для различных температур

Существуют два вида нанесения парафина на лыжи в зависимости от хода: классический или коньковый ход.

Для классического стиля передняя и задняя часть лыжи смазывается парафинами скольжения. А центр лыжи смазывается держащей мазью для уменьшения отдачи. Длина средней части (колодки) составляет около пятидесяти сантиметров. Отсчитывается от конца пятки ботинка, поставленного в крепление по направлению к носку лыжи (рис. 2).

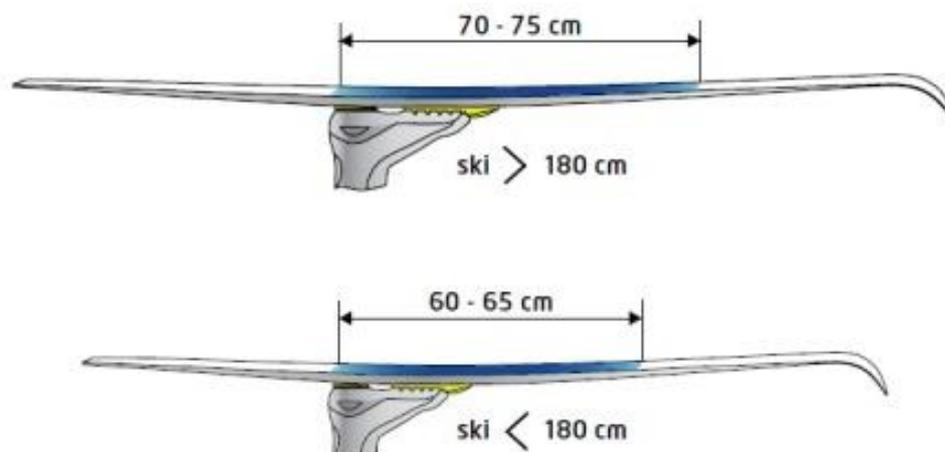


Рис. 2. Зона нанесения мази держания для классического хода

В коньковом стиле лыжи смазываются по всей длине парафинами скольжения [2].

Для того чтобы понять, какая смазка лучше подходит под текущие погодные условия, можно провести простое тестирование. Самым распространенным и простым методом является тест на длину выката, он заключается в том, что каждая лыжа смазывается разным парафином и спускается с общей начальной точки, после чего смотрят, какое расстояние преодолела та или иная лыжа. При этом нужно учесть, что лыжня находится в хорошем состоянии и не создает лишнего сопротивления [3].

Лыжи, которые периодически проходят этап нанесения парафина, не только улучшают свои качества скольжения, но и позволяют отводить влагу, что способствует сохранению лыж.

Список источников

1. Как смазывать лыжи парафином в домашних условиях: какой парафин выбрать // skipedia.ru – URL: <https://skipedia.ru/baza/cross/parafindlya-lyzh.html> (дата обращения: 21.04.2023)
2. Правильный выбор лыжной мази и парафина скольжения // aktivesport.ru – URL: <https://www.aktivesport.ru/blogs/begovye-lyzhi/kak-vybrat-lyzhnuyu-maz-ili-parafin> (дата обращения: 22.04.2023)
3. Тестирование лыж на скольжение // sport-51.com – URL: <https://sport-51.com/article/ski/1057-testirovanie-lyzh-na-skolzhenie.html> (дата обращения: 22.04.2023)

БИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ МОЛЕКУЛЫ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ НАНОЧАСТИЦ СИЛИКАТА ЦИНКА

Маглакелидзе Д.Г., Блинова А.А., Тараванов М.А.,
Вакуленко М.В., Облогин Я.А.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Блинов А.В.

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

В данной работе представлены исследования по разработке и оптимизации метода синтеза наночастиц силиката кальция, стабилизированных аминокислотами. На первом этапе исследовали влияния типа аминокислоты на структуру образцов. Частицы изучали методом ПЭМ-микроскопии. Установлено, что поверхность всех образцов представлена крупными агрегатами, которые состоят из сферических наночастиц с радиусом от 10 до 20 нм. На следующем этапе проводили оптимизацию метода синтеза наночастиц с помощью нейросетевой обработки данных. Стабилизатором выбрали аминокислоту L-лизин. Анализ полученных тернарных поверхностей показал, что оптимальными параметрами синтеза

являются: температура синтеза – 50 °С, скорость перемешивания – 1200 об/мин, концентрация прекурсора 0,01 моль/л и концентрация аминокислоты 0,8 %.

Ключевые слова: силикат цинка, наночастицы, аминокислоты, стабилизатор

В современном мире существует множество перспективных исследований по разработке новых материалов на основе органических молекул и наноразмерных форм минеральных компонентов для остеогенеза кости [1-3]. Данные материалы являются более эффективными и счет уникальных физико-химических свойств, а также обладают оптимальными остеоиндуктивностью и степенью резорбции [4-6]. В целом, костные цементы на основе фосфатно-силикатных наноконструируемых матриц кальция, цинка и магния с внедрением аминокислот представляют собой важный класс биоматериалов для лечения костных дефектов, которые имеют множество преимуществ и применяются в клинической практике уже много лет. На основе представленных данных об актуальном применении такого материала, как $ZnSiO_3$ в регенеративной медицине, целью работы стали синтез и изучение стабилизации наночастиц силиката цинка бифункциональными органическими молекулами (аминокислотами).

Наночастицы силиката цинка получали методом химического восстановления в водной среде [7,8]. В качестве прекурсора цинка использовали ацетат цинка ($Zn(CH_3COO)_2$), а в качестве осадителя – силикат натрия (Na_2SiO_3). Стабилизаторами выступали аминокислоты: *L*-треонин, *L*-лизин, *L*-цистеин, *L*-изолейцин, *L*-валин, *L*-гистидин и *L*-метионин. На первом этапе готовили растворы метасиликата натрия и цинксодержащего прекурсора с концентрацией 0,8 М. Далее, в раствор метасиликата натрия добавляли 0,27% масс. стабилизатора. На следующем этапе в систему добавляли раствор цинксодержащего прекурсора. Полученные золи отмывали методом центрифугирования. Далее, отмытые осадки высушивали в сушильном шкафу при температуре 80°C.

На первом этапе определяли форму и размер частиц методом просвечивающей электронной микроскопии на приборе *Tecnai G2 30F STWIN STEM*. Анализ полученных ПЭМ-микрофотографий показал, что структура частиц представлена крупными скоплениями с размерами от 150 нм до 2 мкм. В свою очередь, агрегаты состоят из частиц силиката цинка сферической формы, диаметр которых варьируется от 10 до 20 нм. Установлено, что внедрение аминокислоты в роли стабилизатора значительно влияет на образование частиц силиката цинка. При этом, формируемый аминокислотой слой препятствует агрегации частиц $ZnSiO_3$. Также установлено, что различие между образцами с различными аминокислотами незначительно, поэтому в качестве исследуемой аминокислоты выбрали *L*-лизин.

Оптимизацию методики синтеза проводили с использованием машинного обучения и многофакторного эксперимента. Данный метод по-

зволяет рассмотреть влияние различных факторов на средний гидродинамический радиус получаемых образцов. В качестве входных параметров выступали: температура синтеза, скорость перемешивания, концентрация прекурсора и концентрация аминокислоты. Осадитель брали в стехиометрических количествах. С помощью прикладного пакета программ *STATISTICA 12* получили тернарные поверхности, которые описывают влияние технологических параметров синтеза на средний гидродинамический радиус образцов. Анализ полученных данных показал, что наименьшим радиусом обладают образцы, которые получены при следующих параметрах: (Т) температура синтеза – 50 °С, (V) скорость перемешивания – 1200 об/мин, (С) концентрация прекурсора 0,01 моль/л и (ω) концентрация аминокислоты 0,8 %.

Таким образом, в ходе работы исследовали влияние вида аминокислоты на морфологию поверхности частиц. Установлено, что различие между аминокислотами незначительно, и размер частиц лежит в диапазоне 10-20 нм.

На следующем этапе провели нейросетевую оптимизацию синтеза наночастиц силиката цинка, стабилизированных L-лизинном. Анализ полученных тернарных поверхностей показал, что оптимальными параметрами синтеза являются: Т – 50 °С, V – 1200 об/мин, С – 0,01 моль/л и ω – 0,8 %.

В дальнейшем планируется исследование медико-биологических свойств полученного наноматериала, а также формирование на его основе биосовместимых имплантатов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (проект СП-476.2022.4).

Список источников

1. Karageorgiou V., Kaplan D. Porosity of 3D biomaterial scaffolds and osteogenesis // *Biomaterials*. – 2005. – V. 26. – N. 27. – P. 5474-5491.
2. Oliveira J. M. et al. Novel hydroxyapatite/chitosan bilayered scaffold for osteochondral tissue-engineering applications: Scaffold design and its performance when seeded with goat bone marrow stromal cells // *Biomaterials*. – 2006. – V. 27. – N. 36. – P. 6123-6137.
3. Bohner M. Calcium orthophosphates in medicine: from ceramics to calcium phosphate cements // *Injury*. – 2000. – V. 31. – P. D37-D47.
4. Suchanek W., Yoshimura M. Processing and properties of hydroxyapatite-based biomaterials for use as hard tissue replacement implants // *Journal of materials research*. – 1998. – V. 13. – N. 1. – P. 94-117.
5. Kaimonov M. et al. Composite Ceramics Based on Pastes Including Tricalcium Phosphate and an Aqueous Solution of Sodium Silicate // *Journal of Composites Science*. – 2022. – V. 6. – N. 9. – P. 267.
6. Ishack S. et al. Bone regeneration in critical bone defects using three-dimensionally printed β -tricalcium phosphate/hydroxyapatite scaffolds is en-

hanced by coating scaffolds with either dipyrnidamole or BMP-2 //Journal of biomedical materials research Part B: applied biomaterials. – 2017. – V. 105. – N. 2. – P. 366-375.

7. Blinova A. A. et al. Synthesis and Characterization of Calcium Silicate Nanoparticles Stabilized with Amino Acids //Micromachines. – 2023. – V. 14. – N. 2. – P. 245.

8. Блинова А.А. и др. Исследование структуры и свойств силиката цинка, стабилизированного L-гистидином // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2022. –Т. 14 – С. 763-770

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПОВТОРНОГО НАНЕСЕНИЯ ПОРОШКА НА КОНСТРУКТИВНЫЕ СВОЙСТВА В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ

Макашин Д.С.

Научный руководитель: к.т.н. Коржова О.П.

Омский государственный технический университет, г. Омск

В лазерном синтезе в порошковом слое параметры осаждения порошка редко настраиваются при нанесении различающихся материалов. Скорость повторного нанесения покрытия обычно варьируется от 150 мм/с до 500 мм/с. Стальной порошки 20X13 обладает лучшей текучестью и более высокой плотностью упаковки, чем ХН60Ю. Это различие отражается на шероховатости поверхности (Ra). Это показывает, что для надежной обработки выборочным лазерным плавлением необходимо учитывать свойства порошка.

Ключевые слова: лазерное плавление, лазерный луч, повторное покрытие, качество, шероховатость поверхности, технология, аддитивное производство

Процесс технологии выборочного лазерного плавления является одним из наиболее широко применяемых в промышленности технологий аддитивного производства благодаря своей универсальности для создания сложных структур с хорошим качеством поверхности на основе моделей автоматизированного проектирования. Во время процесса тонкие слои порошка наносятся на рабочую пластину, а затем расплавляются лазерным лучом.

В процессе технологии выборочного лазерного плавления нанесение однородного и упакованного слоя позволяет избежать дефектов слоя порошка, пустот, расслоения и проблем с общим качеством.

Растекание порошка во время технологии выборочного лазерного плавления зависит от геометрии устройства для повторного нанесения покрытия, скорости, толщины слоя и материала.

Разложение порошка при хранении, обработке, транспортировке и использовании в системах выборочного лазерного плавления может влиять на свойства материала. Например, сыпучесть порошка, размер и распределение частиц, морфология, химический состав и другие [1].

В работе [2] эксперименты проводились на машине EOS M290 для производства горизонтальных блоков и контейнеров для порошка. Контейнеры для порошка были пустыми внутри, чтобы можно было собрать повторно нанесённый порошок для анализа. Во время процесса наносился слой толщиной 40 мкм, применялась схема полосового лазерного сканирования с поворотом между слоями на 67° . Платформа для построения была предварительно нагрета до 80°C .

Морфологию порошка анализировали с помощью сканирующего электронного микроскопа FEI/Philips XL30 (ESEM). Текучесть изучали с помощью анализатора порошков Revolution (RPA) от Mercury Scientific. Образцы одинакового размера по 110 граммов каждой порошковой композиции загружали в барабан (d барабана = 50 мм). Угол наслоения измерялся многопоточным методом.

Плотность упаковки порошков в различных местах рабочей пластины была рассчитана путем измерения веса порошка, захваченного в печатном контейнере в передней, средней и задней частях рабочей пластины, принимая в качестве эталона начальное местоположение повторного покрытия.

Шероховатость поверхности отпечатанных образцов измеряли с помощью конфокального микроскопа Keyence модели с объективом $10\times$. Проведенные исследования Inconel 718 и стали 420 [3] дают основания сравнить аналогичные порошки 20X13 порошки ХН60Ю.

Растекаемость порошка зависит от его свойств, таких как гранулометрический состав, морфология, химический состав и плотность. Например, порошок стали 420 имеет более однородную сферическую морфологию с небольшим количеством сателлитов по сравнению с порошком Inconel 718 [4]. Во многих источниках диапазоне скоростей вращения от 1 до 70 об/мин для сталей 20X13 показывает меньшие углы наслоения, что свидетельствует о лучшей текучести [5].

В источниках [6] образцы стали 20X13 показывают постоянно более низкие значения R_a независимо от расположения образца вдоль направления перекрытия (f-спереди и b-сзади) и скорости перекрытия. Напротив, образцы ХН60Ю демонстрируют высокие вариации R_a и больший разброс в каждом измеренном образце. При скорости перекрытия 150 мм/с изменение R_a с расположением образца повторяется как на параллельных, так и на перпендикулярных сторонах испытуемого куба, т. е. выше R_a спереди и снизу R_a сзади. В работе [7] при скорости повторного покрытия 500 мм/с шероховатость поверхности образцов из инконеля имеет большие внутренние колебания, учитывая неоднородности на обратной стороне рабочей пластины.

Выводы

1. Порошок стали 20X13 по сравнению с порошком ХН60Ю является более прочным, как показывают испытания на сыпучесть.

2. Оба материала были обработаны технологией выборочного лазерного плавления без проблем с растекаемостью при скоростях повторного покрытия 150 мм/с и 500 мм/с.

3. Изменение скорости повторного покрытия для стального порошка 20X13 не оказало существенного влияния на шероховатость поверхности, в то время как для порошка ХН60Ю шероховатость поверхности показывает четкую зависимость от скорости повторного покрытия и местоположения вдоль направления повторного покрытия.

Список источников

1. Investigation of Upgraded Technology for Plasma Spraying of Bronze Powder Using the Combined Process with Hydrocarbon Additions / O. G. Devoino, A. V. Gorbunov, Ch. Wang [et al.] // Science and Technique. – 2023. – Vol. 22, No. 2. – P. 103-112. – DOI 10.21122/2227-1031-2023-22-2-103-112.

2. Формирование фазового состава механосинтезированного сплава (Fe_{0,866}Cr_{0,127}M_{0,007})75C25, полученного из смеси порошков стали 20X13 и графита / В. А. Волков, А. А. Чулкина, А. Л. Ульянов, А. В. Загайнов // Химическая физика и мезоскопия. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 253-261.

3. Масштабирование процессов порошкового синтеза (PBF)– Текст : электронный: [сайт]. – URL: <http://engcrafts.com/item/1662-gibrid> (дата обращения: 30.03.2023).

4. Повышение долговечности деталей путем нахождения рационального состава порошка для напыления / С. Н. Степанов, Т. А. Ларионова, Л. Г. Черных, И. А. Четвериков // Металлообработка. – 2020. – № 1(115). – С. 37-45. – DOI 10.25960/мо.2020.1.37

5. Бирюков В. П. Влияние лазерного легирования и наплавки на механические и триботехнические свойства поверхностей сталей // Фотоника. – 2022. – Т. 16, № 6. – С. 454-463.

6. Оптимизация процесса нанесения покрытий из порошков металлокерамики методом плазменного напыления на воздухе / В. А. Оковитый, Ф. И. Пантелеенко, В. В. Оковитый, В. М. Асташинский // Наука и техника. – 2021. – Т. 20, № 5. – С. 369-374

7. Шевцов Ю. О. Технология электроннолучевой наплавки в вакууме на уплотнительные поверхности трубопроводной и паровой котельной арматуры // Ползуновский альманах. – 2022. – Т. 2, № 4. – С. 27-30.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО Mn (II) В ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЕ

Максимова Л.А.¹, Дурнова Н.В.¹, Антохина В.С.¹,
Саунина С.И.², Васильева А.А.²

Научный руководитель: к.х.н., доцент Третьяченко Е.В.

¹Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

²Челябинский государственный университет, г. Челябинск

В работе исследовано влияния температуры термической обработки полититаната калия, модифицированного Mn (II) на изменение фазового состава. Предложен механизм структурообразования.

Ключевые слова: полититанат калия, рентгенофазовый анализ, механизм структурообразования

Понимание механизма процессов структурообразования в наноматериалах является предпосылкой для разработки методик синтеза керамических материалов, которые находят применение в различных областях электронной промышленности [1, 2, 3]. Керамические материалы включают нескольких фаз, каждая из которых может влиять на свойства получаемых продуктов.

В связи с этим целью настоящей работы является исследование влияния условий термической обработки на структуру полититаната калия, модифицированного Mn (II) в щелочной среде.

В качестве сырьевого материала использовали порошок базового полититаната калия (ПТК), синтезированного по методике [4]. Модифицирование ПТК проводили путем введения в водную суспензию ПТК водного раствора сульфата марганца (II) при значении pH=10. Корректирование значения pH проводили путем добавления раствора гидроксида калия. Полученную суспензию перемешивали в течение 3 часов. После того твердая фаза подвергалась двукратной промывке при перемешивании с последующей фильтрацией и сушке при температуре 40–50°C. Термическая обработка полученных материалов проводилась в течение 2 часов при температурах 500°C, 600°C, и 900°C. Фазовый состав образцов определяли с помощью рентгеновского дифрактометра ARL X'TRA (THERMO FISHER SCIENTIFIC, USA).

Полититанат калия, модифицированный Mn (II) в щелочной среде представляет собой рентгеноаморфный слоистый материал интеркалированный ионами марганца и декорированный наночастицами оксидно-гидроксидных комплексов марганца. Результаты рентгенофазового анализа

модифицированного марганцем полтитаната калия после термообработки представлены на рис. 1 и 2.

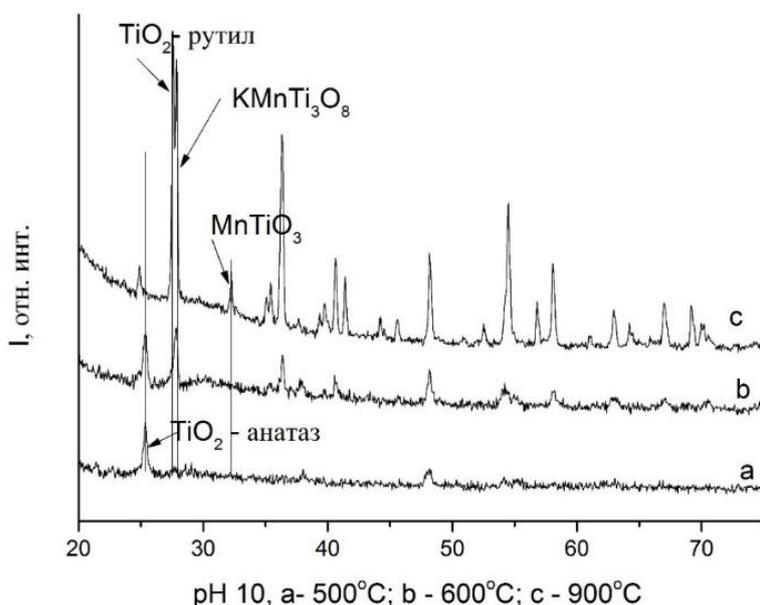


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма ПТК-Мп, термообработанного при различных температурах в течение 2 часов: а – 500° С; б – 600° С; с – 900° С

Так, на рентгенограмме образца после термообработки при 500° С наблюдаются несколько дифракционных максимумов, относящихся к фазе TiO_2 (анатаз) в то время, как при температурной обработке при 600° С присутствуют дифракционные максимумы, соответствующие фазам TiO_2 (анатаз) и KMnTi_3O_8 . При этом надо отметить, что количественное соотношение этих фаз составляет $\sim 1:1$. После термообработки при 900° С в образце присутствуют фазы: TiO_2 модификации рутил и KMnTi_3O_8 со структурой типа голландита, а также фаза, соответствующая перовскиту MnTiO_3 .

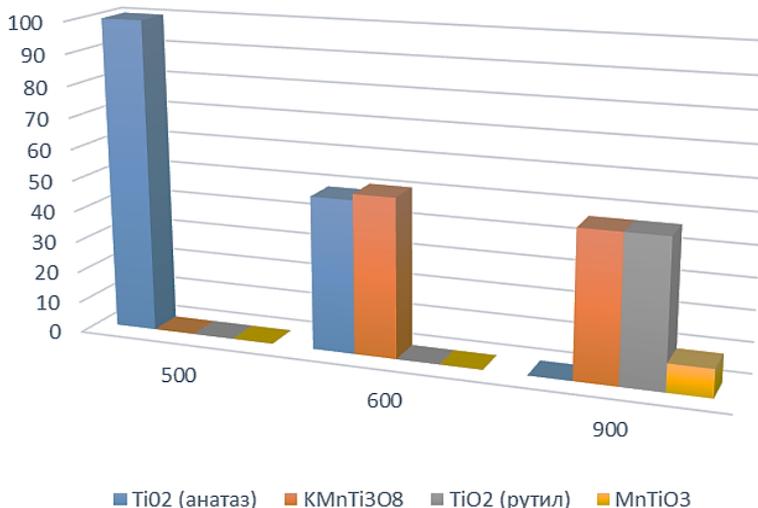


Рис. 2. Гистограмма распределения фаз в образце ПТК-Мп при термической обработке: 500° С; 600° С; 900° С

Анализ рентгеновских дифрактограмм позволил предположить, что при достаточно низких температурах (до 500°C) из рентгеноаморфного полититаната калия, модифицированного марганцем происходит кристаллизация фазы TiO_2 (анатаз). При дальнейшем повышении температуры, при достаточном содержании K_2O и MnO , зародыши кристаллов анатаза способствуют кристаллизации твердых растворов, имеющих голландитоподобную структуру $KMnTi_3O_8$. Появление фазы перовскита $MnTiO_3$ при температуре 900°C связано с частичным разложением голландита.

Таким образом, варьируя условия термической обработки модифицированного полититаната калия можно получить наноструктурированные композиционные материалы различного состава.

Список источников

1. Schmid H. Some symmetry aspects of ferroics and single phase multiferroics. *J. Phys. Condens. Matter.* – 2008, – V.20. –P.434201–434224.
2. Khomskii D. Classifying multiferroics: Mechanisms and effects // *Physics.* – 2009. – V. 2. – P. 20.
3. Shung K. K., Cannata J. M., Zhou Q. F. Piezoelectric materials for high frequency medical imaging applications: A review // *Journal of Electroceramics.* – 2007. – V. 19. – P. 141-147.
4. Sanchez-Monjaras T., Gorokhovskiy A., Escalante-Garcia J. I. Molten salt synthesis and characterization of potassium polytitanate ceramic precursors with varied TiO_2/K_2O molar ratios // *Journal of the American Ceramic Society.* – 2008. – V. 91. – №. 9. – P. 3058-3065.

РЕАЛИЗАЦИЯ АГРЕГАТНО- И ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОЙ СТРУКТУРЫ В КОМПОЗИТНОЙ КЕРАМИКЕ СИСТЕМЫ $Al_2O_3 - YSZ$

Малецкий А.В., Беличко Д.Р.

Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор Константинова Т. Е.

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина, г. Донецк

Представлены результаты исследования влияния высокого гидростатического давления (ВГД) на структурообразование и свойства композитной керамики системы $Al_2O_3 - ZrO_2 + 3mol\% Y_2O_3$ (YSZ), основой которой являются метастабильные фазы Al_2O_3 . Изучены фазовый состав порошков, структура и физико-механические свойства керамики системы $Al_2O_3 - YSZ$ в зависимости от концентрации YSZ и обработки компактов ВГД. Установлено, что в зависимости от величины ВГД при спекании керамики происходят различные кристаллизационные процессы и реализуется два типа структуры – агрегатно- и дисперсно-упрочненная.

Ключевые слова: полиморфные фазы, оксид алюминия, диоксид циркония, структура

Введение. Одним из наиболее перспективных композитных материалов является керамика системы $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{YSZ}$, которая отличается высокой твердостью, прочностью, износостойкостью, теплопроводностью, химической стойкостью, радиационной устойчивостью и биологической совместимостью [1]. Матрицей такой системы выступает Al_2O_3 , а наполнителем служит стабилизированный тремя молярными процентами иттрия диоксид циркония ($\text{ZrO}_2 - 3 \text{ мол.}\% \text{ Y}_2\text{O}_3$) (YSZ). Авторским коллективом было показано [2], что из порошков на основе метастабильных фаз Al_2O_3 можно получать плотную композитную керамику состава $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{YSZ}$ при меньших температурах спекания по сравнению с порошками на основе стабильной фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Целью настоящей работы является исследование влияния высокого гидростатического давления (300-700 МПа) на структуру и физико-механические свойства композитной керамики состава $\text{Al}_2\text{O}_3 + n\text{YSZ}$ (где $n = 0, 1, 5, 10, 15 \text{ масс.}\%$), на основе метастабильных фаз Al_2O_3 .

Результаты и их обсуждение. Порошки для исследования были получены методом совместного химического осаждения из раствора солей хлорида алюминия ($\text{AlCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$), хлористого циркония ($\text{ZrOCl}_2 \times 8\text{H}_2\text{O}$) и азотнокислого иттрия ($\text{Y}(\text{NO}_3)_3$) при комнатной температуре. Методом РСА установлено, что порошковые смеси $\text{Al}_2\text{O}_3 + n\text{YSZ}$ ($n = 1, 5, 10, 15 \text{ масс.}\%$), отожженные при температуре 1000°C , имеют трехфазную структуру: $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и тетрагональный ZrO_2 .

Керамика состава $\text{Al}_2\text{O}_3 + n\text{YSZ}$, где $n = 0, 1, 5, 10, 15 \text{ масс.}\%$ была получена на основе трехфазного порошка ($\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и тетрагональный ZrO_2), отожженного при 1000°C , компакты которого обрабатывались при разных величинах высокого гидростатического давления (от 300 до 700 МПа) и спекались при температуре 1550°C 2 ч. Полученная керамика представляет собой композитную керамику с матрицей в виде $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корунд) и наполнителем – YSZ.

Физико-механические свойства алюмоциркониевой керамики менялись в зависимости от концентрации YSZ и величины ВГД. Максимальные значения плотности ($\rho = 4,10 \text{ г/см}^3$), твердости ($\text{HV} = 20,16 \text{ ГПа}$) и прочности ($\sigma = 338 \text{ МПа}$), были достигнуты в керамике состава $\text{Al}_2\text{O}_3 + 10\% \text{ YSZ}$ при значении ВГД равном 700 МПа, что составило $\approx 98\%$ от теоретической плотности композита ($\rho = 4,192 \text{ г/см}^3$). Также высокими значениями плотности ($\rho = 4,091 \text{ г/см}^3$ и $\rho = 4,09 \text{ г/см}^3$) и прочности ($\sigma = 396 \text{ МПа}$) обладает керамика состава $\text{Al}_2\text{O}_3 + 15\% \text{ YSZ}$, которая подвергалась обработке ВГД при 600 и 700 МПа, соответственно.

Улучшение физико-механических характеристик при $\text{YSZ} \geq 10 \text{ масс.}\%$ объясняется распределением примесного элемента в процессе компактирования композитной керамики. При давлении 600-700 МПа YSZ равномерно распределяется по всему объему матрицы Al_2O_3 с переходом структуры композита из агрегатно-упрочненной (ВГД 300–500 МПа) в со-

стояние сосуществования агрегатной и дисперсно-упрочненной структуры (рис. 1). Это приводит к уплотнению материала и препятствует процессу образования агломератов зерен диоксида циркония в межзеренном пространстве Al_2O_3 во время спекания керамики.

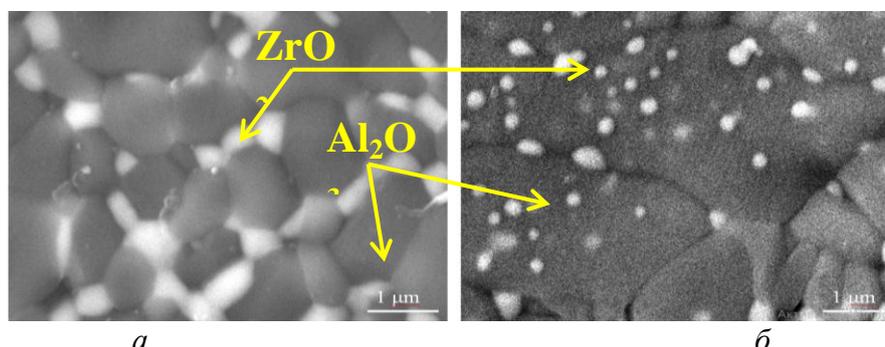


Рис. 1. Структура поверхности керамики: *a* – $\text{Al}_2\text{O}_3+10\% \text{YSZ}$ (300 МПа), *б* – $\text{Al}_2\text{O}_3+10\% \text{YSZ}$ (700 МПа)

При высоких давлениях компактирования (600-700 МПа) структура алюмоциркониевой керамики имеет ярко выраженное бимодальное распределение зерен оксида алюминия по размерам. Распределение зерен по размерам в системах $\text{Al}_2\text{O}_3+10\% \text{YSZ}$ и $\text{Al}_2\text{O}_3+15\% \text{YSZ}$ в зависимости от величины ВГД представлено на рис. 2.

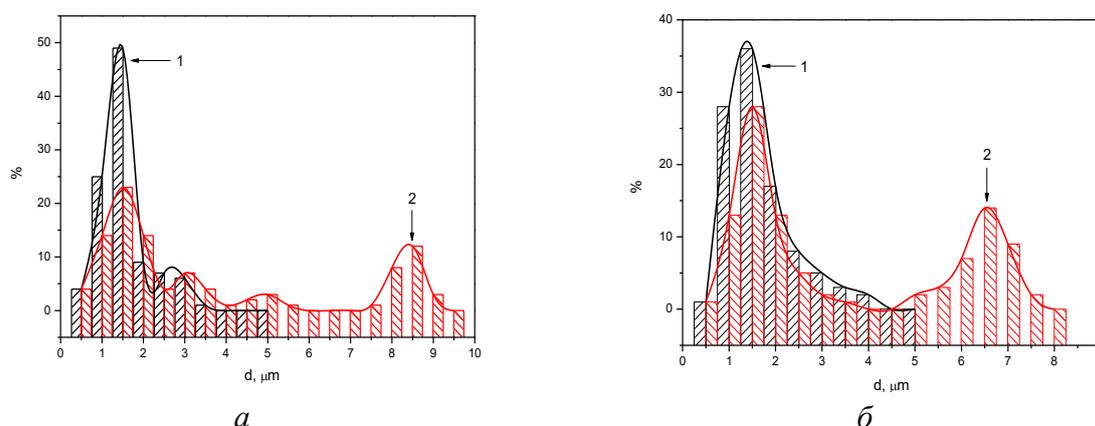


Рис. 2. Распределение зерен оксида алюминия по размерам в системах: *a* – $\text{Al}_2\text{O}_3+10\% \text{YSZ}$ и *б* – $\text{Al}_2\text{O}_3+15\% \text{YSZ}$ при значениях ВГД 300 МПа (кривая 1) и 700 МПа (кривая 2)

Из приведенных данных можно заключить, что от величины ВГД зависит процесс рекристаллизации в керамике при ее спекании. При малых значениях ВГД (300-500 МПа) происходит нормальный рост зерна Al_2O_3 (собирательная рекристаллизация), характерным признаком которой является отсутствие крупных зерен, высокая степень совершенства структуры и равномерная мелкозернистая структура.

При спекании керамики, которая компактировалась при больших значениях ВГД (600-700 МПа), происходит процесс вторичной рекристаллизации, которому соответствует аномальный рост зерна и бимодальное распределение зерен оксида алюминия по размерам. Такая зависимость

структурообразовательного процесса от величины давления компактирования обусловлена тем, что при высоких давлениях прессования появляется избыток деформационной составляющей свободной энергии, повышается плотность упаковки компактов и увеличивается количество граничащих соседей матричного элемента, что является достаточным условием для процесса вторичной рекристаллизации.

Выводы

1. Методом СЭМ показано распределение зерен YSZ в керамике в зависимости от режимов обработки компактов высоким гидростатическим давлением. Установлено, что при давлениях 300-500 МПа зерна YSZ концентрируются в межзеренном пространстве α -Al₂O₃, а при 600-700 МПа зерна YSZ распределяются по всему объему керамической матрицы.

2. Показано, что при спекании компактов, обработанных при ВГД 300-500 МПа, происходит процесс первичной рекристаллизации и реализуется нормальный рост зерен α -Al₂O₃. В компактах, которые обрабатывались при 600-700 МПа, происходит процесс вторичной рекристаллизации, который приводит к бимодальному распределению зерен α -Al₂O₃ по размерам.

Список источников

1. Carter C. Barry, Norton M. Grant, Ceramic Materials // Science and Engineering, Springer, 2007, p. 716.

2. Structure formation and properties of corundum ceramics based on metastable aluminium oxide doped with stabilized zirconium dioxide / A.V. Maletsky, D.R. Belichko, T.E. Konstantinova, et al. // Ceramics International. Vol. 47, 14, pp. 19489 -19495. 2021. ISSN 0272-8842, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.03.286>.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ДИСЛОКАЦИОННЫХ СТРУКТУР В ОБЕДНЕННОЙ ЗОНЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДА Ni₃Al

Липунов В.Н., Маркидонов А.В.¹

*Алтайский государственный технический университет
имени И.И. Ползунова, г. Барнаул*

¹*Кузбасский гуманитарно-педагогический институт
Кемеровского государственного университета, г. Новокузнецк*

В данной статье представлены результаты исследования дислокаций, проведенного методом компьютерного моделирования, образуемых в результате релаксации кристалла, содержащего обедненную зону. Визуализированы возникающие дислокационные структуры при различной концентрации вакансий в кристалле, а также при различной температуре.

Ключевые слова: моделирование, кристалл, вакансия, дислокация, температура

Известно, что область повреждения, образуемая в результате прохождения каскада атомных соударений, имеет дифференциацию распределения атомов. Центр данной области представляет собой обедненную зону, окруженную облаком смещенных атомов. Из-за наличия процессов каналирования и фокусировки возможно проявление анизотропии в распределении межузельных атомов, предотвращающее аннигиляцию дефектов. В результате этого вакансионные скопления, имеющиеся в избытке, начинают перестраиваться в различные кластеры – дислокационные петли, тетраэдры дефектов упаковки и т. п.

Актуальность изучения процессов дефектообразования с последующей кластеризацией в различных металлах и сплавах обусловлена важностью проблемы предотвращения радикального изменения структуры материалов под воздействием высокоэнергетических частиц в целях защиты различных конструктивных элементов от вредного радиационного облучения. Так, например, известно, что радиационная ползучесть, характеризующаяся повышенной скоростью, проявляет себя даже при невысоких температурах, когда роль доля термической ползучести крайне мала. Подобные процессы успешно исследуются с помощью методов компьютерного моделирования [1].

В данной работе методом молекулярной динамики проведено исследование дислокационных структур, формируемых в кристалле, при высокой концентрации вакансий. В качестве исследуемого материала рассматривался интерметаллид Ni_3Al со сверхструктурой $L1_2$. Как конструкционный материал, данный интерметаллид ценен способностью сопротивления к окислению и высокой термостабильностью. Для описания межчастичного взаимодействия использовался потенциал, рассчитанный в рамках метода погруженного атома [2].

Построение модели и последующие вычисления выполнялись с помощью МД-пакета XMD. Модель строилась следующим образом. В прямоугольной системе координат задавался размер расчетной ячейки, имеющей форму параллелограмма, в двух взаимно ортогональных кристаллографических направлениях, совпадающих с координатными осями. Затем формировалась элементарная ячейка, расположение частиц в которой соответствовало ГЦК решетке, и путем трансляция данными ячейками заполнялся весь заданный объем. Так как предполагалось проведение исследования на модели кристаллита Ni_3Al , то параметр решетки задавался равным 3.56 Å. Ориентация расчетной ячейки в пространстве устанавливалась таким образом, чтобы ось X совпадала с кристаллографическим направлением [1-10], ось Y – с направлением [11-2]. Бесконечная протяженность расчетной ячейки моделировалась путем использования периодических граничных условий вдоль всех трех осей. Для создания обедненных зон, представляющих собой скопление вакансий, в расчетной ячейке случайным образом выбиралось заданное число частиц, которые удалялись. В

дальнейшем подготовленная расчетная ячейка, содержащая заданную концентрацию вакансий, выдерживалась при выбранной температуре (изменяемой дискретно) в течение 5000 вычислительных шагов (один временной шаг был равен 5 фс), после чего следовала процедура закалки, путем многократного обнуления скоростей атомов, и осуществлялся анализ структуры. Таким образом, основными варьируемыми параметрами при проведении компьютерного моделирования являлись концентрация вакансий n и температура отжига расчетной ячейки T .

Для структурного анализа и визуализации модели использовался пакет OVITO [3]. В частности для анализа дислокационной структуры применялся алгоритм Dislocation Extraction (DXA) [4], основанный на тесселяции и триангуляции Делоне, который идентифицирует выявленные в расчетной ячейке дислокационные линии.

Результаты компьютерного моделирования показали, что в моделируемых расчетных ячейках начинает формироваться разветвленная сеть дислокационных линий. При этом была выполнена оценка не только общего количества дислокационных сегментов, но и их длина.

Проведенное исследование показало, что при концентрации вакансий $n = 6.25\%$ (наименьшей из рассматриваемых) структурные перестройки, сопровождающиеся образованием вершинных дислокаций, начинаются при рассматриваемой температуре 600 К. По мере повышения температуры начинают идентифицироваться частичные дислокации Шокли и Франка, а число сегментов увеличивается и растет общая длина дислокационных линий (рисунок).

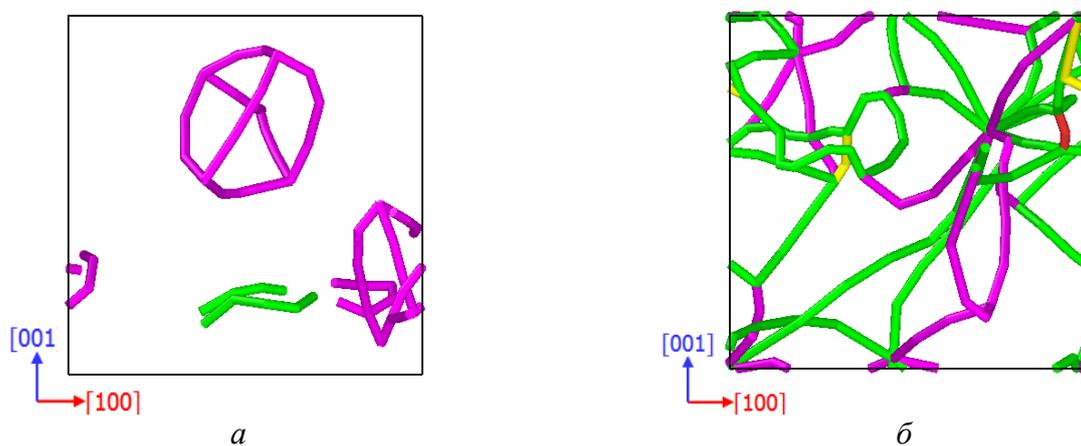


Рис. 1. Распределение дислокационных сегментов в расчетной ячейке ($n = 6.25\%$) после релаксации системы при 900 (а) и 1500 (б) К. Цветовая визуализация обусловлена вектором Бюргерса: зеленый цвет – $1/6 \langle 112 \rangle$, розовый – $1/6 \langle 110 \rangle$, желтый – $1/3 \langle 001 \rangle$

Также нужно отметить, что при невысокой температуре в дислокационных сетках содержится преимущественно краевая компонента, но по мере повышении температуры начинает проявляться и винтовая компо-

нента. По мере увеличения концентрации вакансий дислокационные сетки, включающие в себя винтовую компоненту, наблюдаются при более низких температурах.

Таким образом, в данной работе проанализированы структурные изменения, происходящие в кристалле при наличии высокой концентрации вакансий. Показано, что обедненные зоны в процессе структурной релаксации активно перестраиваются в различные разветвленные дислокационные структуры. При этом общая протяженность дислокационных линий зависит не только от концентрации вакансий, но и от температуры, при которой происходят структурные преобразования.

Список источников

1. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Захаров П.В., Обидина О.В. Перемещение дислокационных ансамблей в ГЦК кристалле при высокоэнергетическом внешнем воздействии // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2015. Т.12. №3. С.373-381.

2. Voter A.F., Chen S.P. Accurate interatomic potentials for Ni, Al and Ni₃Al // *Materials Research Society Symposium Proceedings*. 1987. Vol. 82. Pp.175-180.

3. Stukowski A. Visualization and analysis of atomistic simulation data with OVITO –the Open Visualization Tool // *Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.* 2010. Vol.18. 015012 (7pp).

4. Stukowski A., Albe K. Extracting dislocations and non-dislocation crystal defects from atomistic simulation data // *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*. 2010. Vol.18. No8. 085001 (13 pp).

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МАРГАНЕЦ-ЦИНКОВЫХ ФЕРРИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ДВУХСТАДИЙНОГО СИНТЕЗА

Масс А.В., Хабиров Р.Р.

Научный руководитель: к.т.н. Кузьмин Р.И.

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

В данной работе были изготовлены Mn-Zn ферриты с дополнительным введением 1 масс.% ZnO и 2,7 масс.% MnO после ферритизации. Добавки способствовали значительному уменьшению среднего размера зёрен (с 174,4 до 2,99 мкм). Снижение начальной магнитной проницаемости связано с уменьшением размера зёрен, снижением плотности по сравнению с материалом без добавок.

Ключевые слова: марганец-цинковые ферриты, двухстадийный синтез, микроструктура, границы зёрен

Марганец-цинковые ферриты относятся к магнитомягким ферромагнитным материалам и широко применяются в электронике, медицине. Благодаря высокой магнитной проницаемости, высокой индукции насыщения, низких магнитных потерь делает интерес ученых к этим материалам остаётся на высоком уровне, не смотря на большое количество исследований в этой области [1].

Магнитные свойства Mn-Zn ферритов в значительной степени зависят от микроструктуры, которая чувствительна к параметрам технологического процесса изготовления этих материалов. Применяется способ управления структурой и свойствами ферритов с помощью легирующих добавок [2]. Оседая на границах зёрен или растворяясь в них, добавки влияют на движение границ. В случае неравномерного распределения добавок сдерживание роста отдельных зёрен приведёт к вторичной рекристаллизации. В результате этого сформируется структура с широким распределением размеров зёрен и значительной внутризёрненной пористостью, что негативно отразится на свойствах материала. Растворение добавок в феррите изменяет параметр кристаллической решетки и концентрацию вакансий, создаёт внутренние напряжения. В связи со сложным характером действия добавок затруднительно предсказать их влияние на структуру и свойства ферритов.

В данной работе предложен метод контроля структуры Mn-Zn ферритов с помощью двухэтапного введения основных ферритообразующих компонентов. Большая часть оксидов вводится на этапе смешивания, а остальное – после ферритизации. Оседая на поверхности частиц феррита добавки препятствуют вторичной рекристаллизации, что позволяет получить мелкозернистый материал В работах [3, 4] был изготовлен Mn-Zn феррит с введением 50 масс. % оксидов после ферритизации, что позволило снизить магнитные потери, повысить плотность материала. Авторы работы [5] наблюдали эффект сдерживания роста зёрен при двухэтапном введении основных компонентов на примере Ni-Zn и Mg-Zn ферритов. Целью данной работы является изучения влияния малых добавок основных компонентов после ферритизации на свойства и структуры Mn-Zn ферритов.

Были изготовлены ферриты состава 52,9 мол. % Fe_2O_3 , 14,1 мол. % ZnO , 33,0 мол. % MnO . Порошки Fe_2O_3 , ZnO и MnCO_3 были смешаны в шаровой мельнице и ферритизированы при 980 °C на воздухе. После ферритизации вводили 1 масс. % ZnO и 2,7 масс. % MnO (эквивалентное количество MnCO_3). Проводили измельчение, грануляцию, прессование кольцевых сердечников. Спекание проводили с выдержкой на воздухе при 1265 C, нагревом и охлаждением в вакууме. Микроструктуру изучали на световом микроскопе, измеряли плотность и открытую пористость методом гидростатического взвешивания, начальную магнитную проницаемость рассчитывали из индуктивности сердечников, измеренную LCR-метром.

Образец, полученный без дополнительного введения оксидов (рис. 1, а), имеет крупнозернистую структуру (средний размер зёрен 174,4 мкм). Введение ZnO и MnCO₃ в порошковую смесь после ферритизации способствовало получению мелкозернистой структуры (рис. 1, б). Частицы ZnO и MnCO₃ оседали на границах зёрен и значительно снижали скорость их движения, что привело к формированию структуры со средним размером зёрен 2,99 мкм. В процессе спекания данные частицы растворяются в феррите, что подтверждается однофазной структурой керамики.

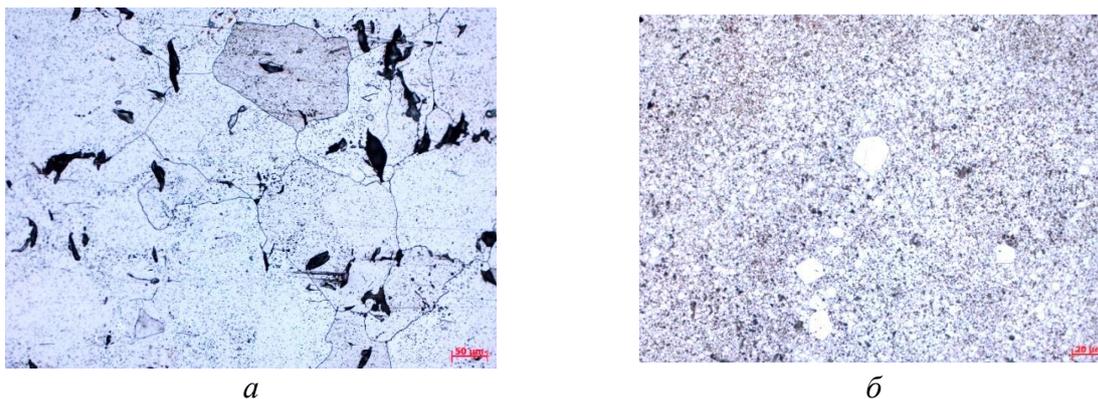


Рис. 1. Микроструктура экспериментальных материалов: а – без дополнительного введения основных компонентов, б – введение основных компонентов в 2 этапа

Введение добавок основных компонентов привело к снижению плотности (с 4,91 до 4,74 г/см³) и росту открытой пористости (с 0,37 до 3,92 %). Это связано со снижением интенсивности залечивания пор в материале из-за сдерживания движения межзёренных границ. Уменьшение среднего размера зёрен и плотности привело к снижению начальной магнитной проницаемости (без добавок $\mu_i=820$, с добавкой ZnO и MnO $\mu_i=700$).

Таким образом, в работе показано, что введение малого количества ZnO и MnO в марганец-цинковый феррит после ферритизации способствует получению мелкозернистой структуры материала. Для повышения плотности и магнитной проницаемости ферритов необходимо подбирать количество вводимых добавок, изучить влияние других этапов технологического процесса изготовления материала.

Исследования проведены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов» НГТУ. (№ 13.ЦКП.21.0034, 075-15-2021-698).

Список источников

1. Interrelation between cationic distribution and electromagnetic properties of vanadium-substituted Mn–Zn ferrites / A. Hossain, I.N. Esha, I.B. Elius, M.N.I. Khan, K.H. Maria // Journal of Materials Science: Materials in Electronics. – 2021. – V. 32. – P. 977-992.

2. Magnetic loss, permeability, and anisotropy compensation in CoO-doped Mn-Zn ferrites / C. Beatrice, S. Dobák, V. Tsakaloudi, C. Ragusa, F. Fiorillo, L. Martino, V. Zaspalis//AIP Advances. – 2018. – V. 8. – №. 4. – P. 047803.

3. Song K. H., Park J.H. Combined effect of partial calcination and sintering condition on low loss Mn-Zn ferrite // Journal of Materials Science: Materials in Electronics. – 1999. – V. 10. – №. 4. – P. 307-312.

4. Chien Y. T., Ko Y.C. Dependence of magnetic properties of Mn-Zn ferrites on the degree of calcination //Journal of materials science. – 1991. – V. 26. – P. 5859-5864.

5. Управление микроструктурой и свойствами ферритов с помощью двухстадийного синтеза / И.И. Канева, В.Г. Костишин, В.Г. Андреев, А.Н. Николаев, Е.В. Луканина, Д.Н. Читанов // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. – 2015. – №. 2. – С. 30-36.

МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ В 10% CR СТАЛИ

Матсинова А.Д.

Научные руководители: к.ф.-м.н., доцент Дудова Н.Р.,
к.т.н. Мишнев Р.В.

*Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, г. Белгород*

В статье проведен анализ микроструктуры 10 % Cr стали после отпуска при 790° С и последующих испытаний на ползучесть при 650 °С при различных приложенных напряжениях.

Ключевые слова: высокохромистая сталь, ползучесть, микроструктура

Введение

Электростанции нового поколения требуют новых конструкционных материалов, которые обладают повышенной стойкостью при ползучести при температурах эксплуатации 650–720 °С. В настоящее время разрабатываются новые высокохромистые мартенситные стали с повышенной длительной прочностью при температурах до 650 °С [1]. Такие стали используются после нормализации и отпуска со структурой мартенсита отпуска, в которой выделены упрочняющие частицы карбидов $M_{23}C_6$ и карбонитриды MX [2]. В данной работе проводилось исследование 10% Cr стали, которая была разработана на основе стали P92 путем дополнения 3% кобальта и повышения содержания бора до 0,008 % и снижения содержания азота до 0,003 % [3]. Ранее в статье [3] было показано, что 10% Cr сталь после отпуска при 770 °С проявляет высокое сопротивление ползучести. Целью данной работы было изучение влияния ползучести на микро-

структуру стали, подвергнутой отпуску при более высокой температуре 790° С.

Материал и методики испытаний

10 % Cr сталь имела химический состав (в вес. %): 0,1 % С; 0,06 % Si; 0,1 % Mn; 10,0 % Cr; 0,17 % Ni; 0,7 % Mo; 0,05 % Nb; 0,2 % V; 0,003 % N; 0,008 % В; 2,0 % W; 3,0 % Со; 0,002 % Ti; 0,006 % Cu; 0,01% Al. Термическая обработка стали состояла из нормализации при 1060°С (время выдержки 1 ч) и последующего отпуска при 790° С (время выдержки 3 ч, охлаждение на воздухе). Испытания на ползучесть проводились при температуре 650° С при приложенных напряжениях 120, 140, 160 МПа на плоских образцах с длиной рабочей части 25 мм, поперечным сечением 7×3 мм. Образцы для микроструктурных исследований (фольги) были изготовлены методом электрополирования на установке Struers TENUPOL-5 в 10 %-м растворе хлорной кислоты в уксусной. По фотографиям структуры стали, снятым в режиме Z-контраст с помощью сканирующего электронного микроскопа Quanta 600, определяли размеры частиц вторых фаз и ширину реек методом секущих.

Результаты исследований и их обсуждение

Структура 10% Cr стали после отпуска при 790°С представляет собой исходные аустенитные зерна (ИАЗ) размером 35 мкм, разделенные на пакеты, блоки, которые, в свою очередь, делятся на рейки, средняя ширина которых 421 нм (рис. 1а). По границам ИАЗ и реек в процессе отпуска выделились карбиды $M_{23}C_6$, средний размер которых на границах ИАЗ превышает средний размер частиц на рейках (110 нм и 104 нм соответственно). Численная плотность частиц на границах ИАЗ почти в два раза больше, чем на границах реек. Границы ИАЗ также больше заполнены частицами (37%), чем рейки (17,5%).

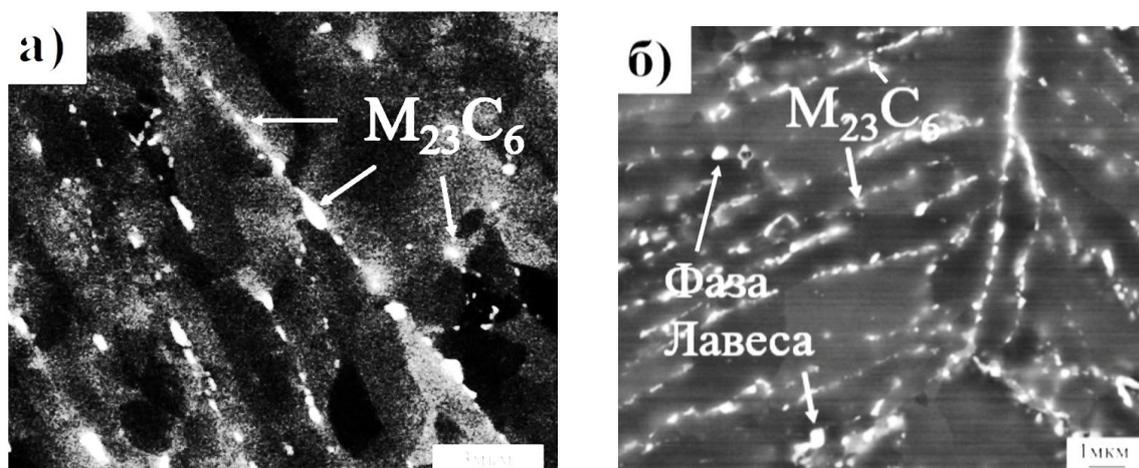


Рис. 1. Фотографии растровой электронной микроскопии микроструктуры 10% Cr стали в исходном состоянии после отпуска при 790°С (а) и после ползучести при 650° С при различных напряжениях: 120 МПа (б)

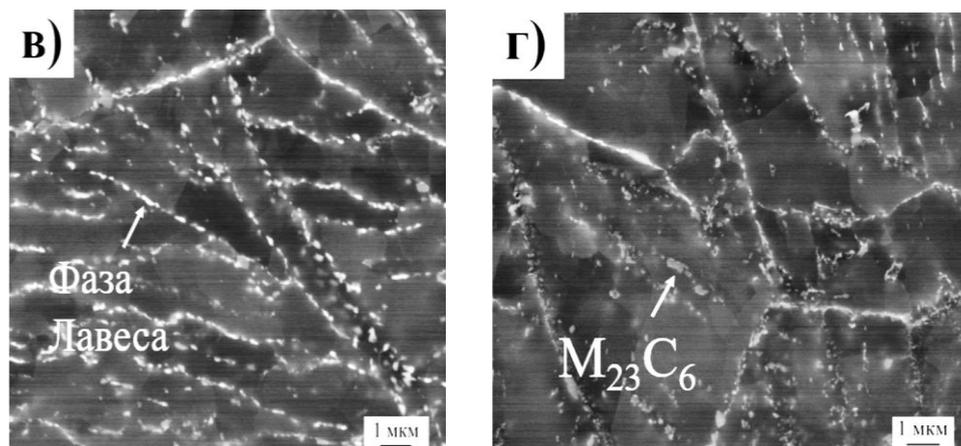


Рис. 1 (окончание). Фотографии растровой электронной микроскопии микроструктуры 10% Cr стали в исходном состоянии и после ползучести при 650° С при различных напряжениях: 140 МПа (в), 160 МПа (г)

Параметры микроструктуры 10% Cr стали после испытаний на ползучесть

Параметры микроструктуры		Исходное состояние	160 МПа	140 МПа	120 МПа
Время до разрушения, ч		-	29,5	155	2845
Ширина реек, нм		421	623	635	747
Средний размер частиц, расположенных по границам, нм	M ₂₃ C ₆	ИАЗ	110	112	134
		рейки	104	107	121
	Фаза Лавеса	ИАЗ	-	116	138
		рейки	-	125	147
Численная плотность частиц, расположенных по границам, мкм ⁻¹	ИАЗ	2,698	2,236	4,8928	4,2284
	рейки	1,966	1,284	2,7143	3,2236
Заполненность границ частицами, %	ИАЗ	37	49,187	51,622	45,4
	рейки	17,5	47,37	40,129	37,45

В процессе ползучести с увеличением времени испытания с 29,5 ч до 2845 ч увеличивается средняя ширина реек с 623 нм до 747 нм (рис. 1, рис. 2). Карбиды M₂₃C₆ укрупняются, причем на границах ИАЗ размер карбидов все так же превышает размер частиц на рейках. На границах ИАЗ и реек выделяются частицы фазы Лавеса (Fe₂W). Они выглядят на снимках более яркими белыми частицами из-за большого количества таких элементов как W и Mo. Частицы фазы Лавеса интенсивнее растут по границам реек, чем по границам ИАЗ. Так, их размер после 2845 ч испытания при 120 МПа составляет 312 нм и 208 нм соответственно. В отличие от границ ИАЗ границы реек становятся примерно в 2 раза более заполненными частицами. Это свидетельствует об интенсивном выделении частиц и их укрупнении по границам реек при ползучести.

Таким образом, укрупнение реек в процессе ползучести в 10 % Cr стали при температуре 650°C сопровождается более заметным укрупнением частиц фазы Лавеса по границам реек, чем по границам ИАЗ. При этом карбиды $M_{23}C_6$ по границам реек остаются более мелкими, чем по границам ИАЗ.

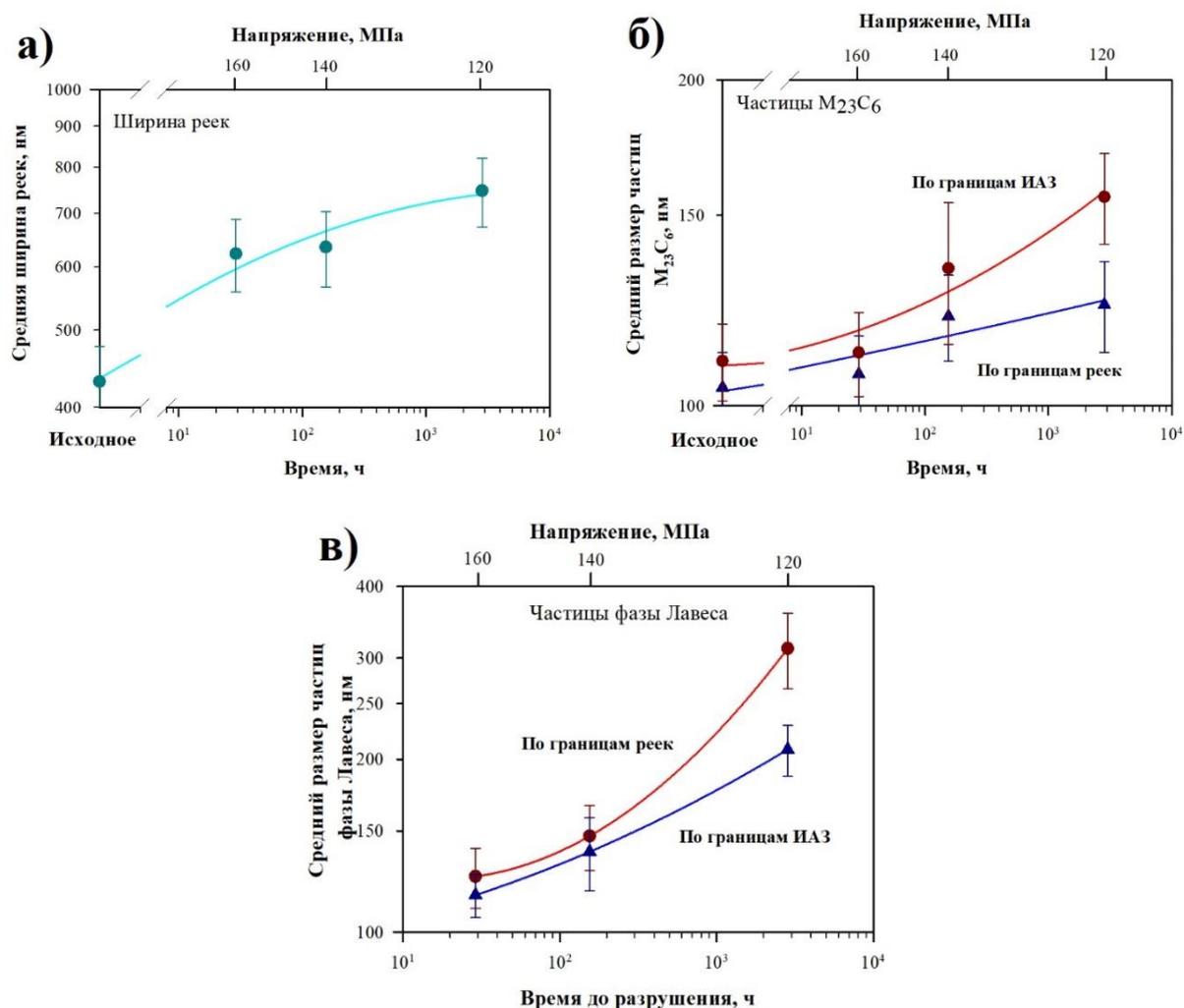


Рис. 2. Зависимость средней ширины реек (а), среднего размера частиц $M_{23}C_6$ (б) и частиц фазы Лавеса (в) от времени до разрушения

Список источников

1. Abe F. Research and development of heat-resistant materials for advanced USC power plants with steam temperatures of 700° C and above. Engineering. 2015. 1. P. 211–224.
2. Maruyama K, Sawada K, Koike J. Strengthening mechanisms of creep resistant tempered martensitic steel. ISIJ Int, 2001, 41. P. 641–653.
3. Dudova N, Mishnev R, Kaibyshev R. Creep behavior of a 10% Cr heat-resistant martensitic steel with low nitrogen and high boron contents at 650 °C. Mater. Sci. Eng. A., 2019, 766, 138353.

ОСОБЕННОСТИ ПРОТОКОЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ MODBUS RTU И TCP В АСУ ТП

Муратова А.М.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Борисова О.В.

*Казанский государственный энергетический
университет, г. Казань*

В работе рассматриваются способы и особенности использования протоколов передачи данных Modbus RTU и TCP для АСУ ТП (автоматизированная система управления технологическим процессом). В результате анализа определяется, в каких системах лучше будет применение Modbus RTU, а в каких – Modbus TCP.

Ключевые слова: Modbus, данные, АСУ, протокол, оборудование

В современном мире устройств автоматизации общение или диалог между различным оборудованием встречается повсеместно, при этом используются всякого рода сети и протоколы. В зависимости от производителя для АСУ (автоматизированная система управления) могут быть задействованы специфические или закрытые протоколы, хотя это также может быть общий открытый промышленный протокол. Последний вариант изготовители внедряют на рынок технического оборудования, чтобы в дальнейшем интегрировать свою продукцию в уже существующие системы.

Протокол Modbus, функционирующий по модели «клиент – сервер», за десятилетия существования стал де-факто стандартом для организации связи между промышленными устройствами и модернизировался в широкий набор протоколов, использующих различные способы физической связи устройств, например, последовательные линии связи RS-485, RS-422, RS-232, а также и сети TCP/IP (Modbus TCP) [1]. Одним из плюсов Modbus выступает отсутствие необходимости использовать определенные интерфейсные контроллеры, вдобавок стоит отметить понятность программной реализации. Перечисленные преимущества уменьшает время, затрачиваемое на освоение и изучение стандарта.

В зависимости от типа интерфейса связи (физических линий связи) и способа кодирования, различают такие виды ADU (Application Data Unit) как:

- 1) Modbus TCP – для передачи данных через TCP/IP-соединение;
- 2) Modbus RTU – компактный двоичный вариант, в котором сообщения разделяются паузами в несколько символов, а проверка целостности сообщения осуществляется с помощью контрольной суммы (CRC), которая находится в конце каждого сообщения и занимает 2 байта [2].

Рассмотрим подробнее особенности Modbus TCP: он не имеет широковещательного или многоабонентского режима, соединение осуществля-

ется только между двумя устройствами [3]. Для работы с Modbus TCP нет необходимости в дополнительном обучении при условии наличия знаний Modbus RTU, так как структура кадра и смысл их полей «Код функции» и «Данные» абсолютно одинаковые.

Говоря о Modbus RTU, можно отметить, что одним из самых сложных аспектов реализации данного протокола является контроль паузы между байтами и фреймами: передаваемые фреймы должны разделяться интервалом тишины определенной длительности на линии связи, при этом если в течение «межсимвольного таймаута» не приходит новых символов, то устройство может приступить к его проверке на корректность [4]. В случае, когда приходит хотя бы один новый символ в промежуток времени, превышающий «межсимвольный таймаут» и не достигающий до «паузы между фреймами», приходит сигнал, данный фрейм будет восприниматься неправильно.

Также отметим следующие различия: протокол Modbus RTU использует последовательные линии связи (RS-232 или RS-485), в то время как Modbus TCP работает в сетях Ethernet; пакет данных протокола Modbus TCP применяет дополнительный заголовок для TCP-соединения [5].

Исходя из особенностей рассматриваемых протоколов, можем выделить некоторые варианты систем для применения каждого из них. Из-за своих особенностей Modbus RTU не используется в медленных сетях, таких как модемные. В остальном использование того или иного протокола не ограничено конкретными факторами, однако от понимания функциональных возможностей протоколов будет зависеть эффективность их работы в АСУ.

Список источников

1. Мирошников Р.С., Крамаренко В.А., Вильцан А.О. Выбор протокола передачи данных технологического оборудования // Будущее науки – 2018. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2018. – С. 153-157.
2. Сорокин В. А., Бакаев А. А. Организация передачи данных по протоколу Modbus RTU // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: материалы XII Всероссийской научно-технической конференции, Оренбург, 28–30 октября 2021 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. – С. 136-139..
3. Денисенко В. Протоколы и сети Modbus и Modbus TCP // В записную книжку инженера. – 2010. – № 4. – С. 90-94.
4. Заметки о Modbus. URL: https://ftp.owen.ru/CoDeSys3/98_Books/ModbusTips.pdf. © 1991-2021 ОВЕН.
5. Лин Э. Преобразование протоколов Modbus // Control engineering Россия. – 2015. – Т. 4, № 58. – С. 66-71.

КОРРОЗИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ОКСИДИРОВАННОГО СПЛАВА АМГ6

Мурычев Г.А., Саркисян А.Э., Гоц И.Ю.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В статье произведен анализ коррозионного поведения сплава АМГ6 в зависимости от длительности анодирования, проведено исследование морфологии оксидных пленок и их толщины.

Ключевые слова: анодирование, оксидная пленка, коррозионная стойкость, плотность тока

В современном мире изучение и разработка новых видов технологий, позволяющих наносить покрытия с различными свойствами и характеристиками на металлические конструкции и изделия, является одной из значимых и перспективных задач. С целью повышения эксплуатационных характеристик конструкций, в том числе и газовых установок, применяются различные упрочняющие технологии, целью которых повысить такие свойства как коррозионно- и износостойкость, и другие прочностные характеристики [1-3].

Одним из таких методов модифицирования поверхностных слоев является анодирование. Данный метод является наиболее востребованным ввиду распространенности алюминия в строительстве, он относится к электрохимическому процессу за счет формирования оксидной пленки при воздействии электрических разрядов в электролите на поверхности упрочняемого изделия [4-6].

Целью работы является проведение анализа целесообразности использования оксидирования, в качестве упрочняющей операции, а также исследовать зависимость коррозионной стойкости от длительности анодирования.

Исходя из вышесказанного было проведено исследование зависимости коррозионной стойкости от времени анодирования. Используемый режим: $i=1,5 \text{ А/дм}^2$ и $t=25 \text{ }^\circ\text{С}$.

Определение коррозионной стойкости проводилось капельным методом согласно ГОСТ 9.302-88 с использованием раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – показателем оценки проведенного эксперимента являлось изменение цвета капли с оранжевого на зеленый. Рассчитанные значения скорости коррозии приведены в таблице. Исследование морфологии поверхности и толщины анодной пленки проводили методом металлографического анализа.

Для контроля и визуализации данных о линейных размерах микрообъектов, форме микрочастиц и создания архива изображений микрообъектов использован анализатор изображения микроструктур АППМ-6М

ФУЛК 401163.001-01. Поле изображения, получаемого с использованием АГПМ-6М, составляет 510 мкм.

Результаты исследований коррозионной стойкости сплава АМг6

t, мин	Δm , г/см ²	H, мкм	Коррозионная стойкость, мин
Эталон	-	-	0,5
30	0,00036	5,04	7
40	0,00097	7,55	10
50	0,00116	8,2	10
60	0,00131	10,48	12
70	0,00153	11,98	13
80	0,00163	14,37	13

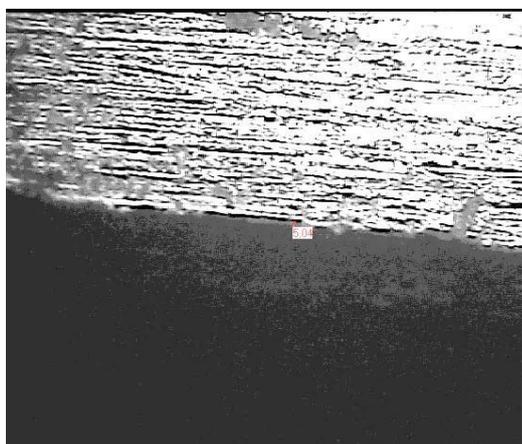


Рис. 1. Толщина оксидной пленки при 30 минутах анодирования, ширина кадра 510 мкм

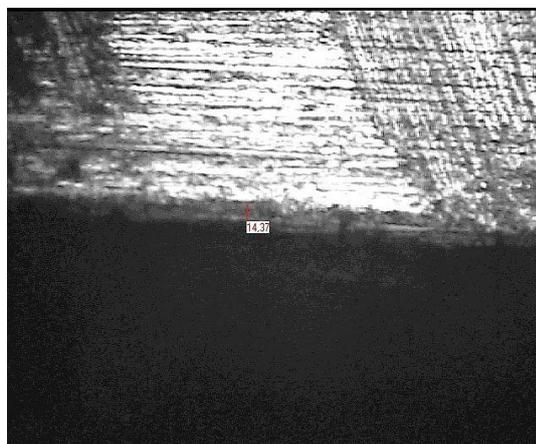


Рис. 2. Толщина оксидной пленки при 80 минутах анодирования, ширина кадра 510 мкм

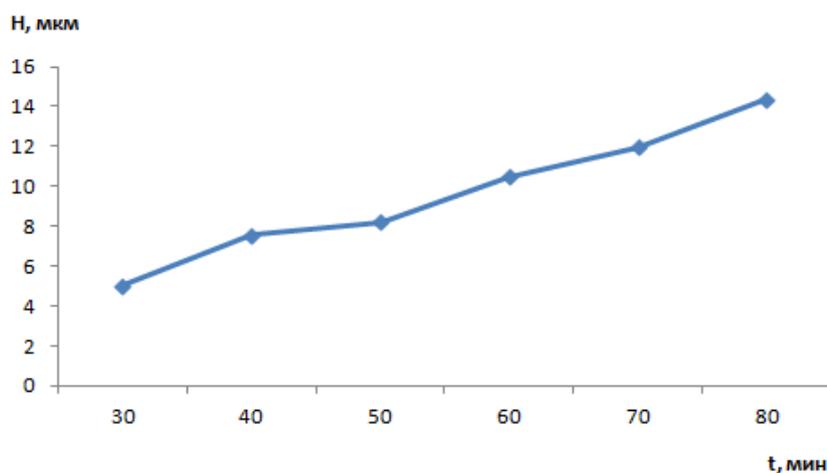


Рис. 3. График зависимости толщины оксидного покрытия от времени

Согласно результатам, представленным в таблице и на рис. 1-3, с увеличением длительности анодного процесса толщины оксидной пленки монотонно возрастает. Коррозионная стойкость после 70 минут оксидирования не меняется. Таким образом, дальнейшее увеличение длительности процесса электролиза является не целесообразным.

В ходе проведенного эксперимента установлено, что время анодного оксидирования существенно влияет на толщину оксидного слоя, тем самым повышая коррозионные свойства полученных оксидных покрытий. На основании проведенных опытов, рекомендуемое время анодирования составляет 70 минут при $i=1,5 \text{ А/дм}^2$ и $t=25 \text{ }^\circ\text{С}$. Данный режим позволяет повысить коррозионную стойкость.

Список источников

1. Байрачный Б.И., Андриященко Ф.К. Электрохимия вентильных металлов. – Харьков: Вища шк. Изд-во при Харьков. ун-те, 1985. – 144 с.
2. Мирзоев Р.А. Давыдов А.Д. Анодные процессы электрохимической и химической обработки металлов: учебное пособие. – 2-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2016. – 384 с.
3. Филяк М.М. О.Н. Каныгина Получение и исследование анодного оксида алюминия: практикум / Оренбургский гос. ун-т – Оренбург: ОГУ, 2014. – 104с.
4. Тимирязев В.А., Вороненко В. П., Схиртладзе А.Г. Основы технологии машиностроительного производства: учеб. – СПб.: Лань, 2012. – 448 с.
5. Томашов Н.Д., Тюкина М.Н., Ф.П. Заливалов Толстослойное анодирование алюминия и его сплавов. – М.: Машиностроение, 1968. – 150 с.
6. Пат. 2424381 РФ, МПК7 С 25 D 11/12, С 25 D 11/24. Способ получения износостойкого покрытия на алюминии и его сплавах / Болотов А.Н., Новиков В.В., Новикова О.О., Васильев М.В., Горлов А.И.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ТГТУ. – № 2010123097/02; заявл. 07.06.2010; опубл. 20.07.2011, Бюл. № 20 – 5 с.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

Насыров Р.Р.

Научный руководитель: Нестеренко И.С.

Омский государственный технический университет, г. Омск

Материалы и покрытия играют важную роль во многих отраслях промышленности, таких как авиация, машиностроение, энергетика и другие. В настоящее время существует потребность в создании материалов повышенной прочности и покрытий, которые могут увеличить срок службы и снизить расходы на ремонт и замену оборудования.

Ключевые слова: нанотехнологии, композитные материалы, углеродные материалы, покрытия, прочность, долговечность, промышленность

Введение

В России проводятся исследования по созданию прочных и долговечных материалов и покрытий. Проблемой существующих материалов является их низкая устойчивость к коррозии и износу. Исследования показывают, что ультратонкие покрытия на основе диоксида титана могут повысить стойкость к коррозии и износу до 10 раз, а магнитно-импульсная обработка может улучшить прочностные свойства материалов на 30-50 %. Использование покрытий на основе аморфных углеродных пленок также может увеличить прочность и износостойкость материалов.

Также проводятся исследования в области композитных материалов на основе наночастиц металлов, таких как медь, железо и алюминий. Эти материалы обладают высокой прочностью и твердостью, что позволяет им выдерживать большие нагрузки и удары. Все эти исследования имеют важное значение для развития промышленности и повышения качества материалов. Перспективным материалом является композит на основе наночастиц железа и графена с высокой термической стабильностью и твердостью при низких температурах. Он применяется в машиностроении и электронике. Также изучаются композитные материалы на основе наночастиц меди и полимеров, обладающие высокой термической стабильностью и прочностью, применимые в авиации и космосе.

Основная часть

Из-за недостаточной долговечности и прочности многих промышленных материалов требуется их постоянная замена, что неэффективно и увеличивает экологический след. Поэтому исследования в области создания материалов повышенной прочности и покрытий являются актуальными и важными. Графен – пример такого материала с уникальными механическими и электропроводными свойствами. Российские ученые активно занимаются исследованиями графеновых материалов и покрытий, находящих применение в различных отраслях промышленности, например, разработка графенового покрытия с высокой термостойкостью и стойкостью к механическим повреждениям.

Кроме того, в России ведутся исследования в области создания биокompозитных материалов, которые получают из натуральных источников, таких как целлюлоза и линейное растительное масло. Такие материалы не только обладают высокой прочностью и долговечностью, но и биоразлагаемы и не имеют негативного воздействия на окружающую среду. В 2018 году исследователи из Новосибирского научного центра СО РАН и Института химии полимеров имени М.М. Виноградова РАН опубликовали статью, в которой они описывают создание биокompозитных материалов на основе целлюлозы и линейного растительного масла.

Также стоит отметить исследования, проводимые в рамках Национальной технологической инициативы. Например, в рамках проекта «Авангард» проводится работа по созданию новых технологий производства прочных и легких композитных материалов, которые могут быть использованы в авиационной и космической промышленности. В рамках проекта «Технологии легкой промышленности» исследуется использование новых материалов и технологий в легкой промышленности, включая создание новых покрытий, которые имели бы повышенную прочность, чем существующие на данный момент.

Помимо этого, важно отметить, что для достижения повышенной прочности и долговечности материалов и покрытий, необходимо учитывать их взаимодействие с окружающей средой и работающими с ними системами. Например, в авиационной промышленности необходимо учитывать воздействие высоких температур, агрессивных сред, а также динамические нагрузки. Для этого проводятся специальные исследования, направленные на выявление влияния этих факторов на свойства материалов и покрытий.

В частности, исследователи из России провели исследование прочности покрытий на основе титана и алюминия. В ходе исследования было выявлено, что добавление кремния в покрытие на основе титана увеличивает его прочность и снижает износ, что делает его долговечным и устойчивым к воздействию внешних факторов. Кроме того, исследование показало, что покрытие на основе алюминия, содержащее добавки из оксида алюминия и циркония, обладает высокой прочностью и стойкостью к коррозии.

Однако, как отмечают исследователи, проблемой современных материалов и покрытий является их сложность в производстве и высокая стоимость. В связи с этим, важно развивать методы производства, которые позволят снизить стоимость материалов и покрытий, при этом не ухудшая их свойства. Например, исследователи из Института физики твердого тела РАН предложили метод получения покрытий на основе нитрида титана, который позволяет снизить их стоимость и увеличить прочность.

Заключение

Исследования в разработке прочных материалов и покрытий важны для промышленности и экономики. Успех в этой области приведет к новым материалам и технологиям, улучшающим качество, долговечность и снижающим затраты. Необходимо учитывать экологические аспекты производства и использования. Российские исследования также значимы для развития отечественной промышленности. Важно продолжать исследования и разработки для повышения качества и эффективности производства и использования изделий.

Список источников

1. Шведов В.В., Чернышов А.В. Использование нанотехнологий в разработке композитных материалов для авиационной и космической техники // Вестник Российского государственного технического университета имени Косыгина. 2019. Т. 22. № 1. С. 186-194.
2. Разработка новых прочных и долговечных материалов на основе углеродных нанотрубок / М.В. Белов, А.А. Бухтиярова, А.Н. Демин и др. // Нанотехнологии в России. 2020. Т. 15. № 3. С. 10-15.
3. Наноструктурирование как метод повышения прочности и долговечности металлов и сплавов / А.Г. Семенов, В.А. Головачев, Е.И. Ковалева и др. // Материаловедение и технологии обработки материалов. 2018. № 4. С. 13-17.
4. Хорев И.В., Болдырева О.Ю. Методы создания нанокомпозитов и их применение в промышленности // Нанотехнологии в промышленности. 2018. № 4. С. 23-28.

**ВЛИЯНИЕ ГРАФЕНОВОЙ СМАЗКИ НА ТРЕНИЕ
В ПАРАХ ГРАФЕН-ГРАФЕН И ГРАФЕН-МЕТАЛЛ**

Насыров Р.Р.

Научный руководитель: Нестеренко И.С.

Омский государственный технический университет, г. Омск

Графеновая смазка – это новый и перспективный материал, который может использоваться для снижения трения в парах графен-графен и графен-металл. Он обладает уникальными свойствами, такими как высокая термическая и электрическая проводимость, механическая прочность и химическая стойкость.

Ключевые слова: графеновая смазка; трение; пары графен-графен; пары графен-металл; долговечность; нанотехнологии; материал будущего

Введение

В парах графен-графен, где поверхности соприкасаются непосредственно друг с другом, графеновая смазка может использоваться для уменьшения трения и износа. Графеновая смазка обладает низким коэффициентом трения и может снизить износ поверхностей графена, что может привести к увеличению их срока службы. Это может быть особенно полезно в применениях, где требуется высокая производительность и долговечность, таких как механизмы двигателей и инструменты для резки.

В парах графен-металл, где поверхности имеют различные химические свойства, графеновая смазка может использоваться для предотвращения реакций между металлом и графеном, которые могут привести к изно-

су поверхностей. Графеновая смазка может образовать защитный слой на поверхности металла, который может снизить износ и уменьшить трение между поверхностями.

Основная часть

Исследования показывают, что графеновая смазка может значительно снизить коэффициент трения в парах графен-графен и графен-металл. Например, исследования, проведенные на парах графен-медь, показали, что использование графеновой смазки может снизить коэффициент трения на 25%. Также было показано, что графеновая смазка может улучшить стойкость к износу и уменьшить риск застревания поверхностей.

Несмотря на то, что графеновая смазка имеет большой потенциал для применения в различных областях, включая авиацию, автомобильную промышленность, энергетику и многие другие, ее применение все еще находится в стадии исследования.

Дальнейшие исследования графеновой смазки могут помочь оптимизировать ее свойства и разработать новые методы ее производства. Например, исследования могут быть направлены на оптимизацию толщины слоя графеновой смазки и выбор наиболее эффективного метода нанесения.

Также можно исследовать влияние условий эксплуатации на свойства графеновой смазки, такие как влажность, температура и давление. Это позволит оптимизировать применение графеновой смазки в различных условиях эксплуатации. Кроме того, графеновая смазка может быть комбинирована с другими материалами, такими как твердые смазки, полимеры или жидкие смазки, чтобы создать более эффективные и универсальные смазочные материалы.

Графеновая смазка может иметь важное применение в нанотехнологиях, где малые размеры требуют эффективного контроля трения и износа. В частности, графеновая смазка может использоваться для снижения трения в наноразмерных механизмах, таких как микроэлектромеханические системы (MEMS) и нанороботы.

Кроме того, графеновая смазка может быть применена в производстве электроники и электротехники, где ее свойства могут помочь снизить износ и повысить эффективность устройств. Например, графеновая смазка может использоваться для снижения трения в контактах между электродами, уменьшения энергопотребления и увеличения срока службы электронных устройств.

Заключение

В заключение, графеновая смазка имеет большой потенциал для снижения трения в парах графен-графен и графен-металл, что может привести к созданию более эффективных и долговечных механизмов и инструментов. Несмотря на то, что ее применение все еще находится в стадии исследования, дальнейшие исследования могут помочь оптимизировать ее свойства и расширить области применения.

Кроме того, графеновая смазка может иметь важное применение в нанотехнологиях, электронике и электротехнике, где ее свойства могут помочь снизить износ, повысить эффективность устройств и увеличить их срок службы. Однако необходимо продолжать исследования и учитывать экологические аспекты производства графеновой смазки и ее безопасность для здоровья и окружающей среды. Только так можно будет максимально эффективно использовать ее потенциал в будущем.

Таким образом, графеновая смазка является перспективным материалом, который может сыграть важную роль в различных областях техники и науки. С учетом быстрого развития технологий и необходимости создания более эффективных и долговечных материалов, графеновая смазка может стать ключевым материалом будущего.

Список источников

1. Оценка и управление прочностью сцепления на границе раздела многослойный графен-медь с помощью плазменной функционализации. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509322007845> (дата обращения 08.05.2023)

2. Графен как смазочная добавка для снижения трения и износа в жидкой форме. URL: <https://www.mdpi.com/2075-4442/11/1/29> (дата обращения 08.05.2023)

3. Квашнин Д.Г. Управление физико-химическими свойствами низкоразмерных нанобъектов. Предсказание новых двумерных материалов с уникальной кристаллической структурой: дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2020. 307 с.

4. Хорев И.В., Болдырева О.Ю. Методы создания нанокомпозитов и их применение в промышленности // Нанотехнологии в промышленности. 2018. № 4. С. 23-28.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ГЕТЕРОСТРУКТУРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА НЕТКАНЫХ НОСИТЕЛЯХ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИТИТАНАТОМ КАЛИЯ ДЛЯ БАКТЕРИЦИДНОГО ДЕЙСТВИЯ

Галишникова Ю.О.

Научный руководитель: к.х.н., доцент Никитюк Т.В.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В статье предложен способ получения гетероструктурных наноматериалов на основе полититаната калия и антисептических препаратов, изучены адсорбция и десорбция хлоргексидина и мирамистина в физиологическом растворе на поверхности полититаната калия.

Ключевые слова: полититанат калия, адсорбция, десорбция, хлоргексидин, мирамистин, физиологический раствор.

Широкую известность в последнее время приобрели композиционные материалы на основе модифицированного полититаната калия (ПТК), обладающие биоцидными свойствами [1]. Перспективными носителями бактерицидных препаратов в качестве раневых повязок в настоящее время являются салфетки из нетканых материалов. Одними, из самых распространенных бактерицидных средств, являются хлоргексидин и мирамистин. Нами предполагается для бактерицидных целей использование в составе нетканых перевязочных материалов систем: частично протонированных порошков полититаната калия, синтезированных по методикам [2,3] и модифицированных мирамистином и хлоргексидином в физиологическом растворе, имитирующем плазму крови. Выбор протонированного ПТК в качестве носителя обусловлен его безопасностью для организма ($\text{pH}_{\text{поверхности}} = 7$), наличием слоистой структурой с большой удельной поверхностью (до $120 \text{ м}^2/\text{г}$) и высокой сорбционной емкостью по отношению к органическим соединениям катионного типа, к которым относятся мирамистин и хлоргексидин. Изучены физико-химические свойства полученных систем: порошков протонированного полититаната калия в физиологических растворах мирамистина и хлоргексидина.

Изучение адсорбции мирамистина и хлоргексидина проводилось из рабочих растворов с разными концентрациями мирамистина и хлоргексидина в физиологическом растворе на 1 г ПТК. при постоянном перемешивании в течение 1 часа, далее растворы отфильтровывались. Концентрации определялись титриметрическим методом с гидроксидом натрия. По полученных изотермам адсорбции моделей Ленгмюра и Фрейндлиха установлено, что модель Ленгмюра, применимая для монослойной адсорбции на однородной поверхности, не работает для данных веществ, в то время как модель Фрейндлиха описывает сорбцию мирамистина и хлоргексидина, с помощью нее рассчитаны сорбционная емкость и интенсивность адсорбции (рис. 1, таблица).

Для изучения десорбции мирамистина и хлоргексидина с поверхности ПТК в физиологическом и водном растворах порошки протонированного ПТК выдерживали в течение часа в физиологических растворах мирамистина и хлоргексидина, затем растворы фильтровали, осадки заливали физиологическим раствором и дистиллированной водой и проводили десорбцию в течение часа, при этом каждые 10 мин титриметрическим методом измеряли концентрации растворов (рис. 2). Установлено, что при комнатной температуре десорбция как мирамистина, так и хлоргексидина в физиологическом растворе идет одинаково. Препарат медленно уходит с поверхности ПТК и дает возможность сохранять его некоторое время. В водном растворе мирамистин быстрее уходит с поверхности ПТК.

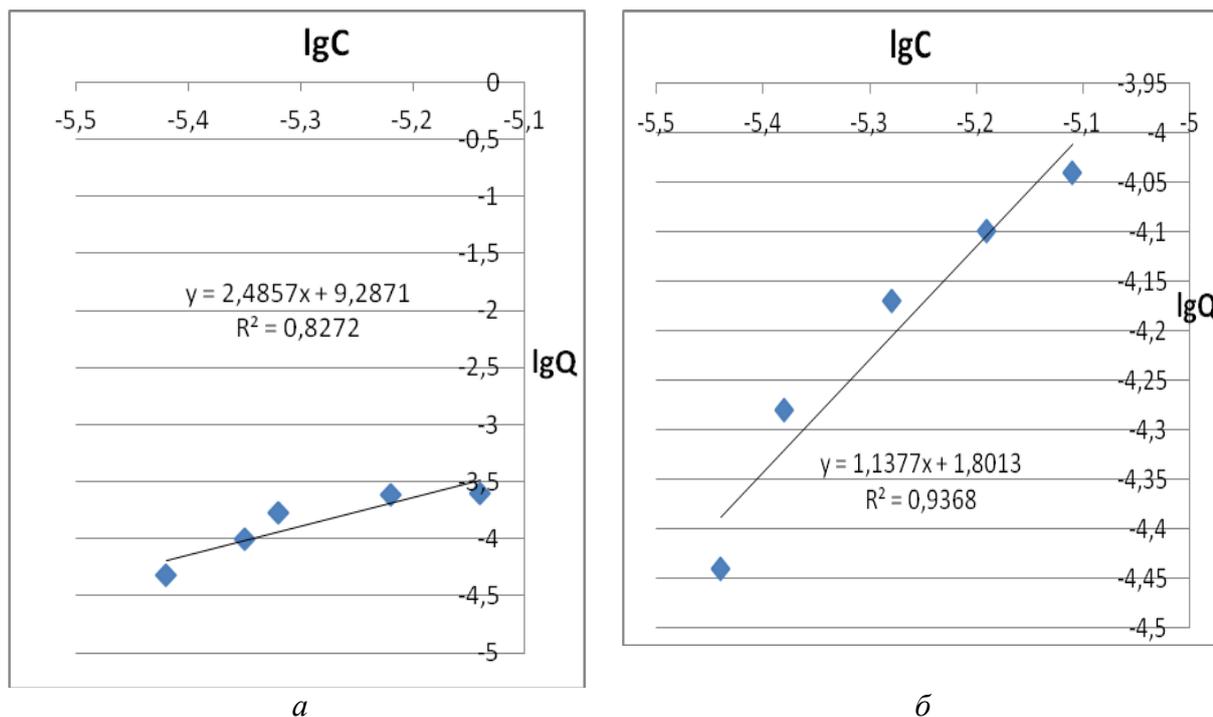


Рис. 1. Изотерма адсорбции мирамистина (а) и хлоргексидина (б) на поверхности полититаната калия в координатах Фрейндлиха

Рассчитанные параметры уравнений изотерм адсорбции

Бактерицидный препарат	Параметры изотерм адсорбции (модель процесса адсорбции)			
	Изотерма адсорбции Ленгмюра		Изотерма адсорбции Фрейндлиха	
	K_L	Q_{∞} , моль/мг	K_F , мл/моль	n
Хлоргексидин	-	-	0,26	0,88
Мирамистин	-	-	0,97	0,4

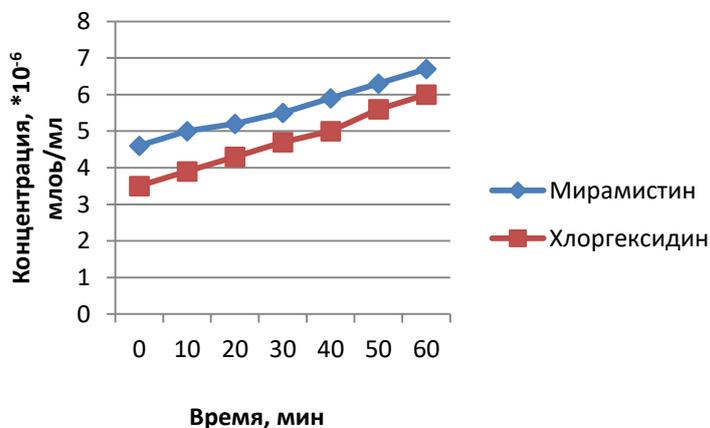


Рис. 2. График зависимости концентрации от времени выхода мирамистина и хлоргексидина с поверхности ПТК в физиологическом растворе

Для изучения влияния температуры на процесс десорбции хлоргексидина и мирамистина с поверхности ПТК в физиологических растворах композиционные материалы выдерживали в физиологическом растворе при 25, 35 и 40° С в течение 1 часа. Каждые 10 мин титриметрическим методом определяли концентрации мирамистина и хлоргексидина в растворе. Установлено, что температура напрямую влияет на процесс десорбции (рис. 3). Чем она выше, тем десорбция с поверхности ПТК идет быстрее. Мирамистин быстрее десорбируется с поверхности ПТК в раствор, а хлоргексидин сильнее задерживается на ПТК. При воспалительном процессе в организме человека мирамистин сможет быстро десорбироваться на рану и обеззаразить ее.

Предложены два способа нанесения суспензии ПТК/мирамистин и ПТК/хлоргексидин на нетканые салфетки.

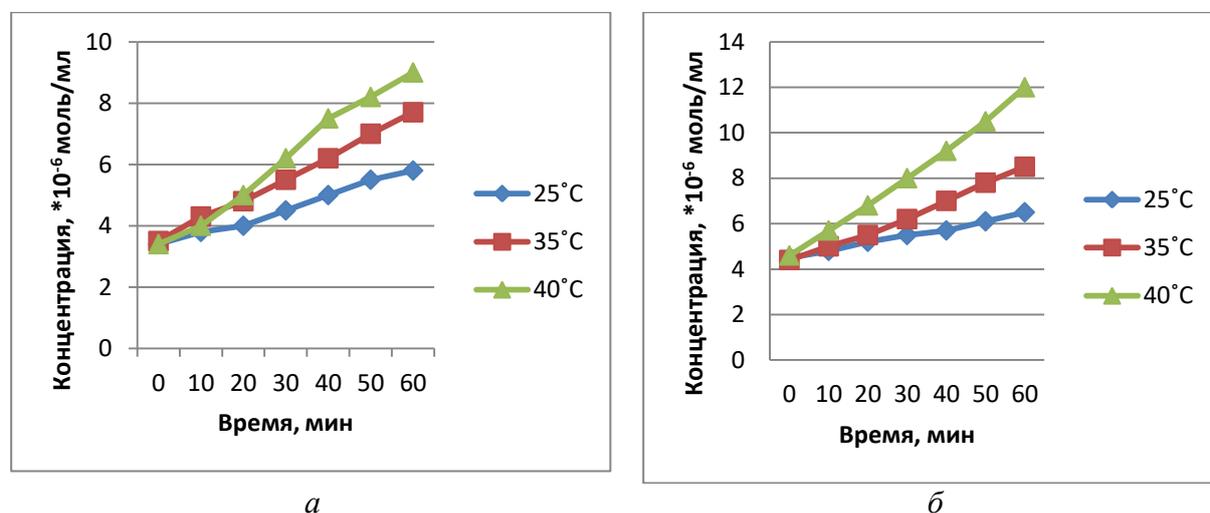


Рис. 3. Кинетика процесса десорбции хлоргексидина (а) и мирамистина (б) при разных температурах

Способ механического погружения и перемешивания салфетки в стаканах с суспензиями ПТК/мирамистин и ПТК/хлоргексидин показал их неоднородное распределение на поверхности салфетки по сравнению нанесением порошков на салфетки при помощи ультразвуковой ванны.

Список источников

1. Синтез и биоцидные свойства модифицированных полтитанатов калия / Гороховский А.В., Чепель А.А., Морозова Н.О., Хазова А.Б., Тихомирова Е.И., Викулова М.А., Растегаев О.Ю. // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 5-1 (107). С. 179-183.

2. Sanchez-Monjaras T., Gorokhovskiy A.V., Escalante-Garcia J.I. Molten salt synthesis and characterization of polytitanate ceramic precursors with varied TiO₂/K₂O molar ratio // Journal of the American Ceramic Society. 2008. № 9. P. 3058-3065.

3. Твердый протон – проводящий керамический электролит для накопителей энергии / Гоффман В. Г., Макарова А. Д., Максимова Л. А., Гороховский А. В., Третьяченко Е. В., Горшков Н. В., Викулова М. А., Байняшев А. М. // Электрохимическая энергетика. 2021. Т. 21. № 4. С. 197–205.

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Орлова А.И.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Нестеренко Г.А.

Омский государственный технический университет, г. Омск

В статье рассказано об автоматизации в машиностроении, указаны положительные стороны автоматизации, а также условные показатели трудоспособности предприятия при внедрении систем автоматизации.

Ключевые слова автоматизация, машиностроение, готовая продукция, производительность, эффективность, предприятие, сборка

Основным аспектом в развитии машиностроения является автоматизация. Благодаря ей поднимается производительность труда, а также увеличиваются положительные свойства продукта, уменьшается себестоимость, сокращается количество сотрудников [1]. Само понятие производительности труда означает изготовление продукта в единицу времени.

Чтобы достигнуть максимальной производительности необходимо уменьшение количества сотрудников, уменьшение рабочих циклов выпускаемой продукции.

Термин «Автоматизация» означает замену деятельности работников, на машинную. Для того чтобы автоматизация была максимально продуктивна и экономически выгодной предпринимаются следующие мероприятия: отработка технологичности продукта; обеспечение технологичной работы, со стороны стоимости; безопасности автоматизированных агрегатов, используемых в производственном цикле.

Из этого следует, что применение машин в производстве соединяет в себя систему процессов, ориентированных на уменьшение количества сотрудников, для увеличения эффективности работы предприятия. Принцип автоматизации включает производственные процессы с небольшим количеством сотрудников. Автоматизация связана с производственным планом, который со временем меняется и требует доработок и улучшений.

В настоящее время автоматизация приобрела следующие аспекты:

1. Стала более гибкой (из-за быстрого изнашивания продукции, а также повышения разновидностей машин, увеличения требований к качеству машин).

2. Развивается из-за инновационных технологий, это упрощает процесс изготовления.

3. Концентрируется на изготовлении заготовок высокой точности.

В машиностроении сложность сборки заготовок находится в пределах от 15 до 30%, а степень автоматизации около 5-20%. Сборочное производство включает большое количество персонала, из этого следует, что качество продукции и эффективность работы предприятия снижается.

Чтобы более эффективно использовать труд и сырье, применяется автоматизация.

Систематизация управления запасами позволяет сократить их количество. Также это предотвращает потери из-за неисправностей и простоев оборудования. Еще одна особенность автоматизации – сокращение количества бумажной документации при применении электронно-вычислительной машин, благодаря этому сокращается время на производство продукции [2].

Также необходимо учесть один из важных этапов автоматизации – анализ и отработка продукта на технологичность. Устройство изделия, и его конструкция является технологичной, если:

- при производстве расход сырья минимален;
- затрачивается малое количество времени на изготовление изделия;
- тратится небольшой объём материальных средств.

При оценке на технологичность обращают внимание на критерии качества и количества единичных заготовок, обработанных элементов и др.

Для того чтобы повысить устойчивость автоматизации промышленности, следует достичь минимального количества дефектов на каждом этапе изготовления. Обрабатываемые элементы должны быть легки по изготовлению, изготавливаться из недорогих материалов, обладать высоким показателем коэффициента использования материала.

Чтобы сборка деталей была наиболее эффективна, необходимо иметь более простые элементы конструкции сборочных единиц.

Главное внимание занимает вопрос о технологичности сборочных элементов при работе на станках с числовым программным управлением (ЧПУ), в этом случае необходимо выбрать оптимальное количество размеров и типов продукции. Также стандартизировать все этапы изготовления изделия в автоматизированном производстве [3, 4].

Подводя общий итог, можно сказать, что критерии оценки изделия (количественные и качественные), при обновлении автоматизированного производства нуждаются в сложном изменении технологического процесса. Решение данного вопроса заключается в формировании и использовании стандартных технологических процессов, современных методик, которые позволяют уменьшить количество работ, увеличить производительность (например, технология-CALS). Увеличение результативности производства происходит за счет большего применения моделирования автома-

тизированных процессов, кроме того, регулированием промышленными процессами предприятия. Причем требуются большие требования к качеству производимого изделия. При развитии производственной системы уделяется внимание контролю готовой продукции.

Сам технологический процесс и его проведение может быть обеспечено за счет эффективных систем вычисления, их применение образуют базу информационного обеспечения процесса производства.

Список источников

1. Сафиуллин Р.К. Основы автоматики и автоматизация процессов: учеб. пособие. – Казань: Изд-во Казан. гос. арх.-строит. ун-та, 2013. – 187 с.
2. Автоматизация технологических процессов: Учеб. пособ. для студ. сред. проф. образования / Владимир Юрьевич Шишмарев. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 352 с.
3. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учеб. для втузов / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов, А.Г. Схиртладзе и др.; под ред. Н.М. Капустина. – М.: Высш. шк., 2004. – 415 с.
4. Нестеренко Г.А., Артюх Р.Л. Технологическое обеспечение автоматизированной подготовки производства: учеб. пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. – 96 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ

Орлова А.И.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Нестеренко Г.А.

Омский государственный технический университет, г. Омск

В статье рассказывается об наноматериалах и нанотехнологиях, а также рассматриваются строение, состав и свойства наноматериалов.

Ключевые слова: наноматериалы, нанотехнология, наночастицы, нанопроизводство

В современном мире нанотехнологии и наноматериалы набирают все больше популярность, развивается и становится передовой задачей в развитии человечества. Нанотехнологии перестраивают свойства тел.

Термин «нанотехнология» определяется как умение направленно изготавливать и применять сырье, видоизменять структуру и конструкцию, состав которых имеет размер примерно 1–100 нм [1]. Данная технология регулирует образование и изменение наноматериалов, а также обеспечивает полную работу их модификаций. Наноматериалы можно встретить в природе, в виде частиц, которые входят в состав дыма, пепла и в гемо-

глобине крови. К ним относят материалы, которые квалифицируются нанометровым размером. Они же могут иметь разные агрегатные структуры [2].

Для того чтобы глубже изучить проблему статьи, обратимся к задачам нанотехнологий:

- использование наноматериалов по назначению с учетом его конструкции;
- создание самих наноматериалов с определенной конструкцией;
- проверка и контроль всех этапов изготовления наноматериалов.

Чтобы создавать сами наноматериалы, ученые разработали два подхода: снизу вверх и сверху вниз. Методика первого способа заключается в создании наноматериалов из атомных и молекулярных масштабов, данный этап является наиболее сложным, и второй метод основывается на измельчении материи до частиц с нано масштабом. Главной особенностью наноматериалов является то, что за счёт малого масштаба в частицах появляются иные необычные свойства.

В современном мире все больше стремятся использовать нанотехнологии в различных сферах наук, это вызвано тем, что:

- новыми конструкциями и структурой материала в нано масштабном состоянии;
- процессом создания и применения инновационных технологий;
- целью создания и внедрения миниатюрных продуктов;
- реализация новых свойств в материалах;
- необходимость применения новых более усовершенствованных приборов для наноматериалов [3].

Область применения нанотехнологий достаточно масштабна. Они применяются в медицине, энергетике, электронике и в других отраслях промышленности.

В медицине нанотехнологии добились уровня снижения масштаба таблеток для увеличения количества лечебных свойств в организме. Благодаря наночастицам в организме будет осуществляться доставка лечебных средств в пораженное место. Также процесс обеззараживания ран происходит за счет наночастиц серебра, которое добавляют в различные гигиенические средства (зубная паста, влажные салфетки и т. д.)

В энергетике используют металлические наноантенны для поглощения энергии в инфракрасном спектре. Таким образом, данная технология увеличивает эффективность поглощения солнечной энергии в 8 раз. Также были изучены так называемые нановолокна кремния, благодаря которым появляется возможность увеличения емкости батарей аккумулятора.

В электронике происходит уменьшение размеров транзисторов, простой ячейки, для того чтобы полная собранная конструкция устрой-

ства была весьма влагозащитной, имела высокий срок службы, большой КПД и обладала ударопрочной особенностью.

Подводя итог вышесказанного, можно сказать, что современная наука весьма интересна и разностороння, она подтверждает связь конструкции и химического состава материала. Сами структурные преобразования возникают на поверхности слоя. Процесс диссипации энергии и релаксации напряжений проходят одновременно. Они зависят от внешних факторов, которые определяются скоростью сравнительного движения, и внешней нагрузкой.

Изучение физиологических правил развития конструкции, а также напряженного условия поверхности элемента, увеличение и объединение итогов экспериментов и навыков использования промышленных структур позволило основать физические принципы структурного изменения и улучшения материала. В роли физиологических принципов структурного улучшения проявляется правила фазовые переходы, характеризующие степень независимой энергии. А трансформация одного состояния в другое сопровождается значимыми модификациями внутренней структуры, а также физическими качествами.

В различных сферах промышленности нанотехнологии будут являться незаменимыми, ведь благодаря им можно увеличить эффективность поглощения солнечной энергии, что не мало важно в современном мире. Также можно повысить емкость аккумуляторных устройств, что происходит за счет нановолокон кремния. Благодаря созданным наноматериалам возможно увеличение срока службы устройств и их физических характеристик. В результате создания наночастиц серебра и наночастиц золота появляется способы обеззараживания и лечения опухолей организма человека соответственно.

Исследование итогов теории и практики помогло достичь главного прогресса в представлении начала процесса коммуникации разных материалов при разных обстоятельствах. На основе этого были разработаны инновационные структурные материалы, в качестве наноматериала, и в нанотехнологии были разработаны высокого качества и эффекта материалы позволяющие еще более эффективные наноматериалы.

Список источников

1. Машков Ю. К., Малий О. В. Материалы и методы нанотехнологии: конспект лекций / Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. – 136 с.
2. Наноматериалы и нанотехнологии / В. М. Анищик[и др.]; под ред. В. Е. Борисенко, Н. К. Толочко. – Минск: Изд. центр БГУ, 2008. – 375 с.
3. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения / Б. М. Балоян, А. Г. Колмаков, М. И. Алымов, А. М. Кротов. – Москва, 2007. – 125 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧЕТЫРЕХСТРОННЫХ ПИРАМИД, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА FFF/FDM

Петров С.С., Тимофеев М.Н.
Научный руководитель: ассистент Тимофеев М.Н.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В статье проведено описание метода исследования прочностных характеристик образцов из материала ABS.

Ключевые слова: аддитивные технологии, прочностные испытания, 3D-печать, ABS

В настоящее время одним из наиболее используемых методов экструзионной печати является FDM (Fused Deposition Modeling). Технология FDM печати характеризуется созданием трехмерных объектов за счет последовательного формирования слоев материала, контур которых соответствует заданной цифровой модели [1]. Под воздействием экструдера исходный материал нагревается до заданной температуры и выдавливается через сопло, формируя слой за слоем изделие [2].

Цель работы: изучение и сравнение прочностных характеристик образцов с различной конфигурацией внутреннего заполнения.

Методика исследований: по созданной цифровой модели фигуры (рис. 1а) на принтере FORTUS 250 mc [3] с использованием нитевидного пластика ABS номинальным диаметром 1,75 мм были напечатаны 3 объекта в виде четырехсторонней пирамиды (рис. 1б) со следующими размерными характеристиками:

1. Модель № 1. Размеры: 26 × 15 × 26 мм, угол наклона сторон 60°, со степенью заполнения: Sparse High Density (~70%)

2. Модель № 2. Размеры: 26 × 15 × 26 мм, угол наклона сторон 60°, со степенью заполнения : Sparse Low Density (~60%)

3. Модель № 3. Размеры: 26 × 15 × 26 мм, угол наклона сторон 60°, со степенью заполнения : Sparse Double Dense (~50%)

После завершения процесса печати полученные фигуры были испытаны на прочностные характеристики по ГОСТ 4651-20154 [4]. Определение степени сопротивления образцов внешней нагрузке проводили на универсальной испытательной машине ИР 5082-100. В ходе эксперимента нагрузка непрерывно возрастала, под действием которой фигуры сминались, плотность материала увеличивалась, соответственно, и сопротивление нагрузке возрастало, рис. 2. Под действием нагрузки они сминаются, но не теряют своих прочностных свойств и продолжают сопротивляться нагрузке.

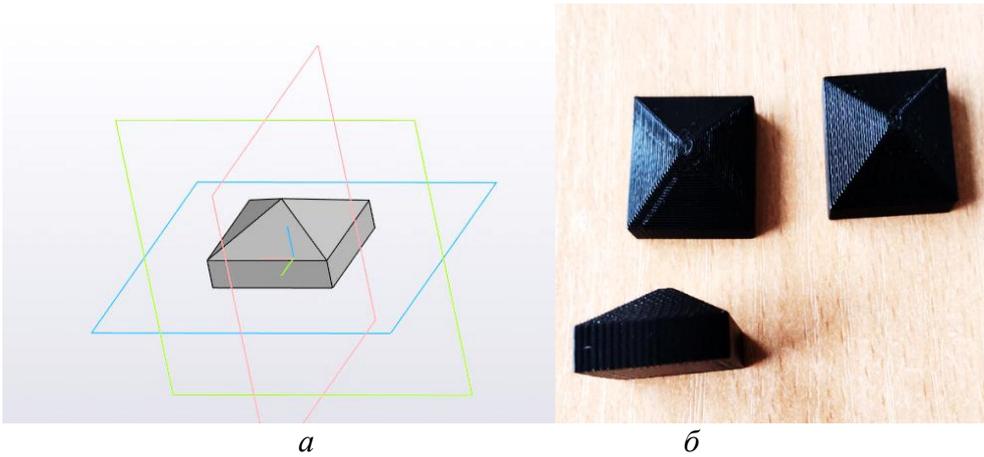


Рис. 1. Цифровая модель (а), напечатанные фигуры (б)

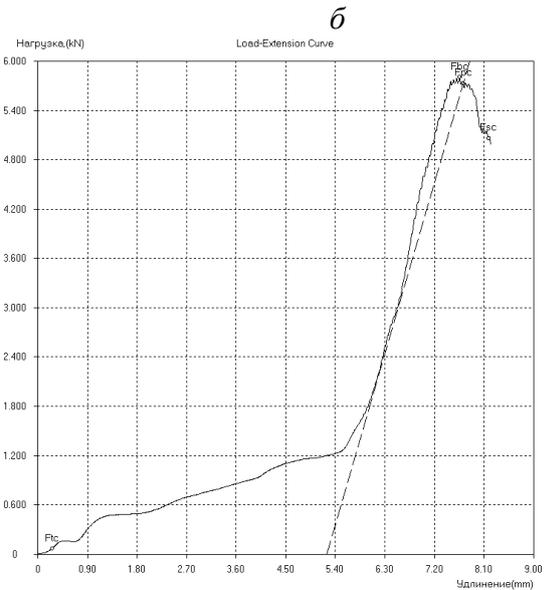
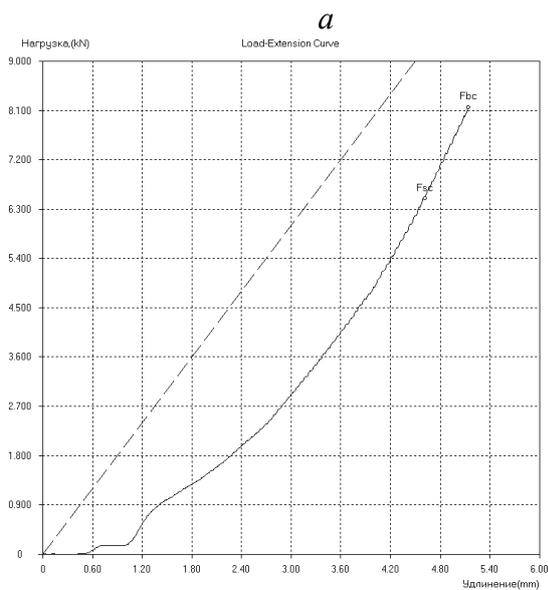
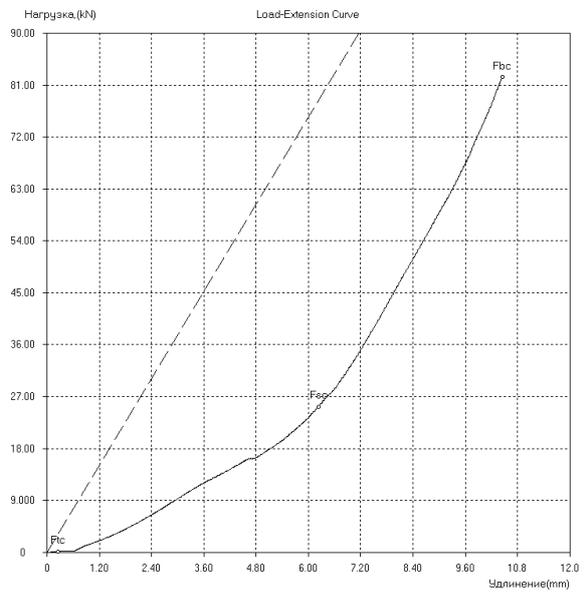
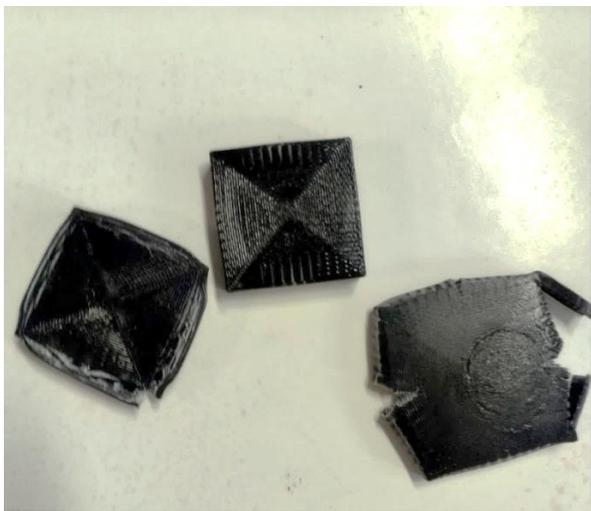


Рис. 2. а – образцы № 3, № 2, № 1 после проведения испытаний;
 б – график напряжений образца № 1; в – график напряжений образца № 2;
 г – график напряжений образца № 3

Визуальный осмотр последствий нагружения (рис. 2а) показывает, что все модели были сплюснены, примечательно, что вершина пирамиды модели №3 была вдавлена в основание из-за имеющихся пор возникших при минимальной степени заполнения (Sparse Double Dense). По результатам сжатия моделей были получены следующие зависимости напряжения и удлинения:

1. Получено уравнение зависимости величины деформации от нагрузки модели №1 с коэффициентом корреляции 0.99531 и коэффициентом детерминации 0.990641:

$$y = -0.0012x^2 + 0.205x + 1.1493. \quad (1)$$

2. Получено уравнение зависимости величины деформации от нагрузки модели №2 с коэффициентом корреляции 0.999935 и коэффициентом детерминации 0.999871:

$$y = -0.3968x^2 - 0.65714x + 1.1971. \quad (2)$$

3. Получено уравнение зависимости величины деформации от нагрузки модели №3 с коэффициентом корреляции 0.9682 и коэффициентом детерминации 0.93823:

$$y = 0.3025x^2 - 2.093x + 4.0821. \quad (3)$$

Заключение

В ходе работы было представлено исследование прочностных характеристик деталей, напечатанных из материала ABS с различным процентом внутреннего заполнения, которые подвергались нагрузкам на сжатие, были изучены графики напряжений, из которых было выявлено, что образец №1 с максимальным заполнением выдержал наибольшую нагрузку. Таким образом можно сделать вывод, что такая конструкция с максимально возможной степенью заполнения достаточно устойчива и прочна и при использовании данной методики возможно подобрать оптимальную конфигурацию и спрогнозировать поведение деталей в реальных условиях нагружения.

Список источников

1. Смирнов М. А., Рыбкин Н. О., Ксенофонтова О. Л. FDM-технология: особенности применения, преимущества, недостатки // Проблемы экономики, финансов и управления производством: сборник научных трудов вузов России. – 2021. – № 48. – С. 115-122.

2. 3D-принтеры FDM и FFF: в чем разница // top3dshop.ru. – URL: <https://top3dshop.ru/blog/fdm-fff-3d-printers-review.html>: свободный, дата доступа 20.05.2021.

3. User Guide – EN – Fortus 250mcpc – URL: <https://www.manualslib.com/manual/1200413/Stratasys-Fortus-250mc.html>: свободный, дата доступа 18.05.2022.

4. ГОСТ 4651-2014. Пластмассы. Метод испытания на сжатие. – Введ. 2014–12–01. – М.: Изд-во стандартов, 2014.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЁНОК НАНОЧАСТИЦ ГЕКСАЦИАНОФЕРАТА КОБАЛЬТА

Пирогов М.А.¹, Жуковский Д.А.¹, Кузнецов Е.С.²,
Леонтьев П.С.¹, Эркинов Ф.Г.У.¹
Научный руководитель: к.т.н., доцент Блинов А.В.

¹Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

²Ставропольский государственный медицинский
университет, г. Ставрополь

В рамках данной работы проведён синтез и исследование тонких плёнок наночастиц гексацианоферрата кобальта, стабилизированных различными поверхностно-активными веществами. Синтез наночастиц гексацианоферрата кобальта проводился путём смешивания растворов прекурсоров и поверхностно-активного вещества. Получение тонких плёнок проводилось путём погружения токопроводящего покрытия в раствор наночастиц гексацианоферрата кобальта и последующего осушения. В результате исследования тонких плёнок, установлено, что тонкая плёнка наночастиц гексацианоферрата кобальта, стабилизированных Tween 80, формируется из частиц наименьших размеров.

Ключевые слова: гексацианоферрат кобальта, тонкие плёнки, Tween 80

В настоящее время разработка химических сенсоров с повышенными характеристиками является актуальным направлением, что обусловлено острой необходимостью их использования в области медицины и научных исследований [1]. Особое внимание при разработке сенсоров уделяется созданию рабочего элемента сенсора, отвечающего за электрохимическую реакцию. Гексацианоферрат кобальта благодаря своим уникальным физическим, химическим, электрокаталитическим свойствам является перспективным материалом для различных химических сенсоров [2].

Таким образом, целью работы является синтез и исследование плёнок наночастиц гексацианоферрата кобальта как перспективного материала для химических сенсоров. В рамках данного исследования рассматривалось влияние поверхностно-активных веществ, используемых в качестве стабилизаторов наночастиц гексацианоферрата кобальта, на формирование тонких плёнок на поверхности токопроводящего покрытия.

Синтез наночастиц гексацианоферрата кобальта проводился путём смешивания эквимольных 0,01 М растворов гексацианоферрата калия и нитрата кобальта и 0,3 % дидецилдиметиламмония хлорида, кокаמידопропил бетаина, лауретсульфата натрия или *Tween 80*.

Получение тонких плёнок наночастиц гексацианоферрата кобальта, стабилизированных различными поверхностно-активными веществами, на поверхности токопроводящего покрытия проводилось путём равномерного погружения токопроводящего покрытия в раствор наночастиц гексацианоферрата кобальта, и последующего осушения с помощью перистальтического насоса.

Морфологию полученных тонких плёнок наночастиц гексацианоферрата кобальта на поверхности токопроводящих покрытий исследовали с помощью атомно-силовой микроскопии.

В результате получены 3D-изображения поверхности плёнок и распределения шероховатости, представленные на рис. 1, 2.

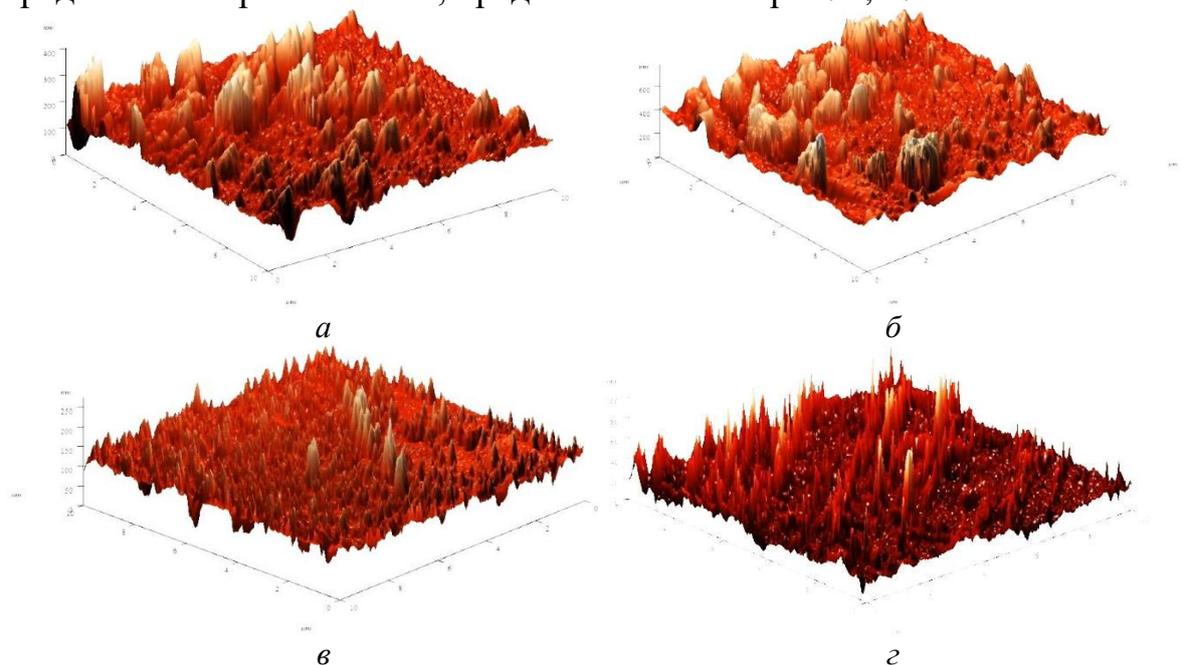


Рис. 1. 3D-изображения поверхности плёнки наночастиц гексацианоферрата кобальта, стабилизированных различными поверхностно-активными веществами: а – дидецилдиметиламмония хлорид; б – кокамидопропил бетаин; в – лауретсульфат натрия; г – *Tween 80*

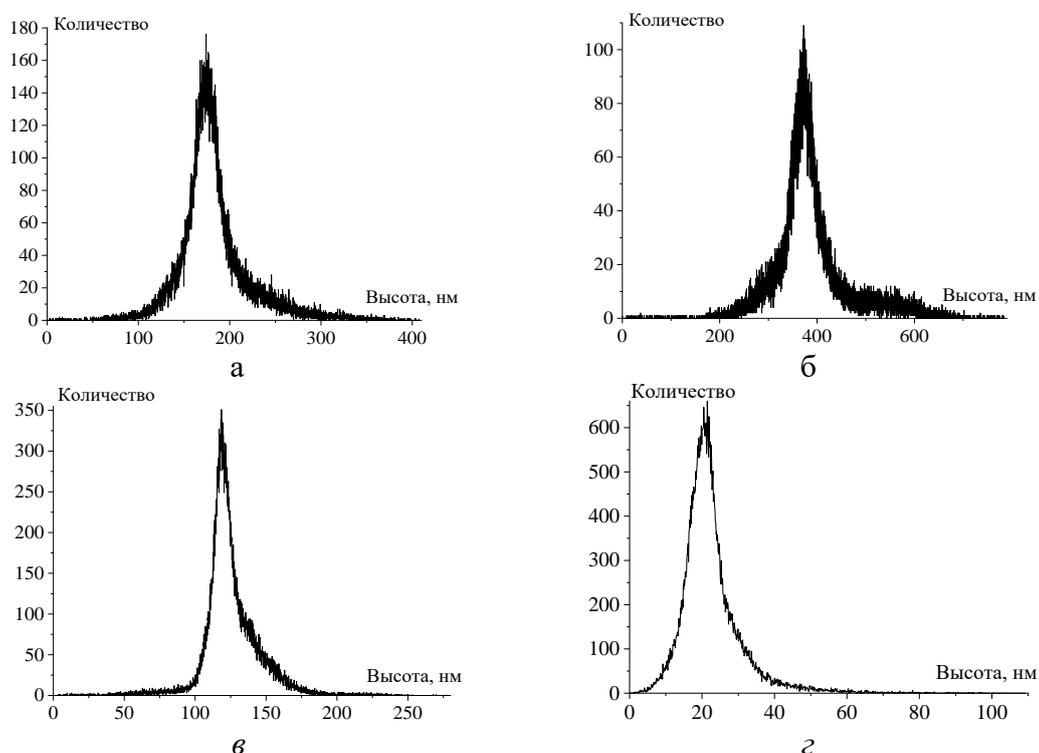


Рис. 2. Распределение шероховатости плёнки наночастиц гексацианоферрата кобальта, стабилизированных различными поверхностно-активными веществами: а – дидецилдиметиламмония хлорид; б – кокамидопропил бетаин; в – лауретсульфат натрия; г – *Tween 80*

В результате анализа полученных изображений установлено, что плёнки наночастиц гексацианоферрата кобальта, стабилизированных дидецилдиметиламмония хлоридом и кокамидопропил бетаином, формируются из агрегатов частиц гексацианоферрата кобальта диаметром до 2,5 мкм, в то время как поверхность плёнки наночастиц гексацианоферрата кобальта, стабилизированных лауретсульфатом натрия, представляет собой как частицы, так и их агрегаты диаметром от 0,2 до 1 мкм. Морфология поверхности плёнка наночастиц гексацианоферрата кобальта, стабилизированных *Tween 80*, представляет собой множество частиц диаметром до 0,3 мкм.

Исходя из полученных графиков распределения шероховатости можно сделать вывод, что плёнка наночастиц гексацианоферрата кобальта, стабилизированных *Tween 80*, обладает наименьшим распределением толщины плёнки с наиболее интенсивной толщиной, равной 21 ± 1 нм.

В результате установлено, что использование *Tween 80* для получения наночастиц гексацианоферрата кобальта является оптимальным для получения тонких плёнок.

Исследования проводятся при финансовой поддержке Федерального государственного бюджетного учреждения «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия инновациям)», Договор № 17164ГУ/2021 от 16.12.2021.

Список источников

1. Петрухин О. М., Максименко О. О. Сенсоры в аналитической химии // Российский химический журнал. – 2008. – Т. 52. – №. 2. – С. 3-6.
2. Блинов А. В. И др. Исследование влияния мольного соотношения реагентов на размерные и структурные характеристики наночастиц гексацианоферрата кобальта // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2022. – № 14. – С. 39-49.

ВЛИЯНИЕ СТЕХИОМЕТРИИ НА ХЕМОРЕЗИСТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАКСЕНОВЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР Ti_xV_yC

Плугин И.А.¹, Симоненко Н.П.², Варезников А.С.¹, Сысоев В.В.¹
Научный руководитель: д.т.н., профессор Сысоев В.В.

¹ *Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

² *Институт общей и неорганической химии
имени Н.С. Курнакова РАН, г. Москва*

В работе изучены хеморезистивные характеристики наноразмерных максеновых гетероструктур $Ti_{1.5}V_{0.5}C$ и $Ti_{1.0}V_{1.0}C$ в составе однокристалльных мультисенсорных газоаналитических линеек. Показано, что из-

менение соотношения Ti/V с 1.5/0.5 на 1.0/1.0 в составе максеновых гетероструктур Ti_xV_yC приводит к уменьшению чувствительности, но увеличению селективности к физосорбированным молекулам аммиака, спиртов и влажного воздуха.

Ключевые слова: мультисенсорная линейка, двумерные титан-ванадиевые гетероструктуры, максены, хеморезистор

Тенденции XXI века направлены на сохранение и улучшение состояния окружающей среды, в том числе и воздушной атмосферы. Причем условия нашего времени требуют, чтобы устройства мониторинга окружающей среды обладали компактностью, селективностью к видам газов и способностью работать при комнатной температуре. Как показывают последние исследования, наиболее перспективными для данного приложения являются газоаналитические мультисенсорные линейки, выполненные на поверхности одного кристалла, в конструкцию которых входит набор хеморезистивных элементов, газочувствительные свойства которых зависят главным образом от материала хеморезистивного слоя. Причем, для обеспечения наилучших функциональных свойств такой материал должен обладать большим соотношением поверхности к объему. В связи с этим в данной работе были изучены хеморезистивные свойства максеновых структур вида $Ti_{1.5}V_{0.5}C$ и $Ti_{1.0}V_{1.0}C$ в составе мультисенсорных линеек.

Для создания мультисенсорных линеек производился синтез максенов путем селективного травления Al из прекурсоров $Ti_{1.5}V_{0.5}AlC$ и $Ti_{1.0}V_{1.0}AlC$, согласно известным протоколам, после чего полученные структуры наносились на различные участки рабочей поверхности мультieleктродного чипа с помощью микроэкструзионной печати (рис. 1а) [1].

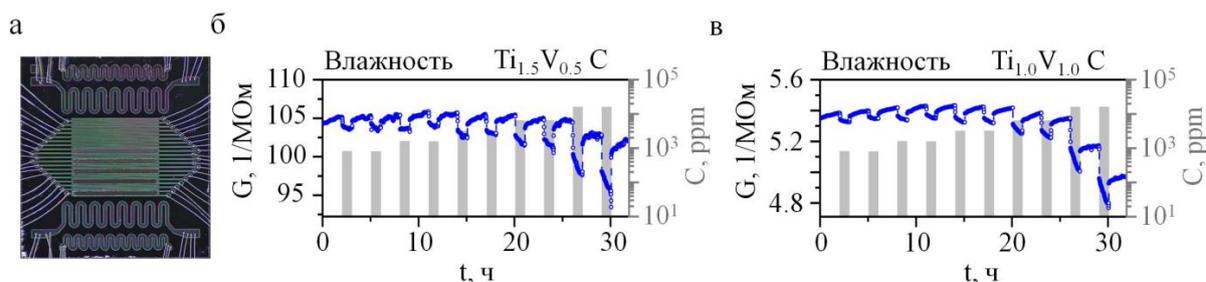


Рис. 1. Мультисенсорный чип с хеморезистивным слоем на основе максенов: а) электронная фотография; б) изменение $G(t)$ типичных сегментов на основе $Ti_{1.5}V_{0.5}C$ и $Ti_{1.0}V_{1.0}C$ при взаимодействии с влажным воздухом в различных концентрациях

Физическая охарактеризация разработанных линеек показала, что газочувствительный слой состоит из равномерно распределенных двумерных чешуек $Ti_{1.5}V_{0.5}C$ и $Ti_{1.0}V_{1.0}C$ с продольными размерами до 800 нм, создающих перколяционные дорожки между измерительными электродами. Каждая пара электродов с нанесенным максеновым слоем образует хеморезистивный элемент, а набор хеморезистивных элементов – мультисенсорную линейку.

Во время хеморезистивных исследований на максеновые слои в составе мультисенсорной линейки поочередно подавались сухой воздух и пары аммиака, изопропанола, бутанола и влажного воздуха в концентрациях 803, 1606, 3213, 6424 ppm (Рис. 1б,в). Как видно из графиков, наблюдались стабильные, воспроизводимые сигналы. Взаимодействие с парами соединений приводило к уменьшению проводимости.

Для количественной оценки регистрируемых сигналов были рассчитаны хеморезистивные отклики в виде относительного изменения проводимости по отношению к базовой величине в процентах и построена их зависимость от концентрации паров (рис. 2а). Из графиков видно, что при увеличении концентрации паров аналитов хеморезистивные отклики возрастают. Анализ полученных зависимостей, например, при использовании концентраций 3213 ppm (рис. 2б) показал, что наибольшие отклики как у $Ti_{1.5}V_{0.5}C$ так и у $Ti_{1.0}V_{1.0}C$ наблюдаются при взаимодействии с влажным воздухом, и составляют 2.4 % и 1.9 %, соответственно. Также из представленного анализа видно, что увеличение содержания V при уменьшении Ti в составе максеновых структур приводит к уменьшению хеморезистивных откликов на 21 % для влажного воздуха, 46 % для паров аммиака, 46 % для паров изопропанола и 35 % для паров бутанола.

Помимо этого, в работе была произведена обработка совокупных сигналов хеморезистивных элементов на основе $Ti_{1.5}V_{0.5}C$ и $Ti_{1.0}V_{1.0}C$ при взаимодействии с парами соединений в концентрации 6424 ppm методом линейного-дискриминантного анализа (рис. 2в), которая показала что оба материала обладают селективностью к видам газов, однако увеличение содержания V при уменьшении Ti в составе максеновых структур приводит к увеличению Махолонобисова расстояния с 40 ед. до 600 ед.

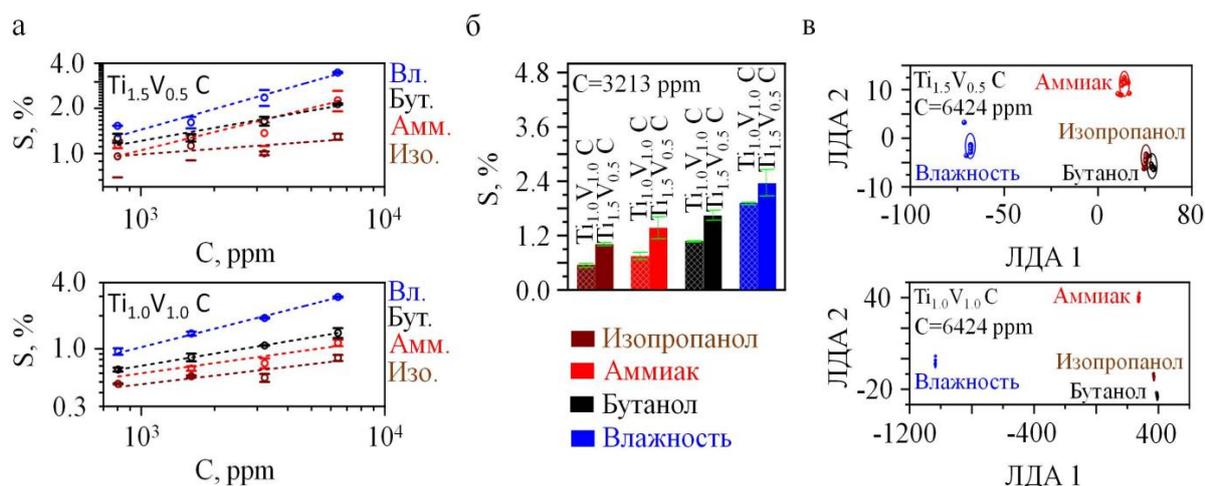


Рис. 2. Хеморезистивные характеристики сенсоров: а) зависимость хеморезистивных откликов от концентрации паров аналитов; б) сравнительная диаграмма хеморезистивных откликов от вида паров при концентрации 3213 ppm и материала; в) обработка совокупных сигналов методом линейного-дискриминантного анализа при взаимодействии паров аналитов в концентрации 6424 ppm

Таким образом, можно отметить, что изменение соотношения Ti/V с 1.5/0.5 на 1.0/1.0 в максеновых гетероструктурах Ti_xV_yC в составе мульти-сенсорных газоаналитических линеек приводит к уменьшению чувствительности, но увеличению селективности к видам газов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10251, <https://rscf.ru/project/21-73-10251/>.

Список источников

1. The $Ti_{0.2}V_{1.8}C$ MXene ink-prepared chemiresistor: from theory to test with humidity versus VOCs / N. P. Simonenko et al. // Chemosensors. – 2023. – V. 11. – No. 1. – P. 007 (17). DOI 10.3390/chemosensors11010007.

МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВОГО НАСОСА

Пономарев О.И.

Научные руководители: к.т.н., доцент Орлик Г.В.,
к.т.н., доцент Орлик А.Г.

Калужский филиал МГТУ имени Н. Э. Баумана, г. Калуга

В статье рассмотрены основные способы получения поверхностных покрытий деталей машин путем наплавки порошковыми проволоками, на основе композиционных материалов. Проведен эксперимент по определению наиболее рационального способа для восстановления поврежденной поверхности распределительного блока аксиально-поршневого насоса 11 серии.

Ключевые слова: наплавка, композиционные покрытия, аксиально-поршневой насос, гидромашинны, восстановительная наплавка, гидроабразивный износ, поверхностное упрочнение.

На сегодняшний день все большее количество предприятий машиностроительной области обращается к восстановлению изношенных деталей машин и агрегатов, а не приобретению нового узла или детали. Данная тенденция вызвана нарушенными логистическими и партнерскими путями между иностранными поставщиками и отечественными предприятиями. Вне зависимости от сложности агрегата, отечественные предприятия применяют различные способы продления службы устройства, в конкретном случае в работе говорится про методы восстановления, к которым относятся наплавка, плазменное напыление, плакирование, насыщение поверхности (цементация) и прочие [1].

К таким устройствам относят аксиально-поршневые насосы 11 серии. Такие устройства получили широкое распространение в гидроприводе

станков, асфальтовых катков, строительной техники и самолётов. Таким образом износ данного разборного узла ведет к ухудшению рабочих качеств машины, а также может привести к происшествиям. Однако из методов ремонта таких узлов можно выделить лишь полную замену узла, ремонт поршней (плунжеров), а остальные элементы не подлежат частичной замене или их качество значительно ниже базовой модели.

В данном случае абразив попал в картер насоса и повредил распределительный блок (рис. 1) из-за чего появился нехарактерный шум, насос перестал выходить на рабочие обороты, появилась вибрация.



Рис. 1. Повреждение распределительного блока аксиально-поршневого насоса

В конкретном случае материал распределительного блока – сталь 12ХНЗА. Её химический состав приведен в таблице ниже.

Химический состав стали 12ХНЗА

C	Si	Mn	Cr	Ni
0,09-0,16	0,17-0,37	0,30-0,60	0,60-0,90	2,75-3,15

Сталь этой марки относится к основным представителям конструкционной стали. Сочетание никеля и хрома обеспечивают этой стали характеристики позволяющие изготавливать из нее ответственные детали. Она обладает запасом износостойкости и коррозионной стойкостью.

К способам восстановления данного узла путем наплавки можно отнести следующие методы:

1. Использование таких присадочных материалов, которые обеспечат формирование мартенситной структуры в наплавленном металле. Следует учитывать, что мартенсит как структура закалки является наиболее твердым структурным образованием, однако склонна к отрыву слоя при ударных нагрузках.

2. Наплавка композитов на железной основе с применением тугоплавких фаз. В данном способе применяют порошковые проволоки, в состав которых входят «твердые металлы» на основе сочетания карбида вольфрама и кобальтовой связки [1].

3. Получение покрытий на железной основе с формированием наполнителя непосредственно в наплавленном металле. В состав порошковых проволок, формирующих покрытие такого типа входят Cr, Mo и Nb [2].

Для определения наиболее рациональной методики восстановления были проведены испытания. Для них были подготовлены образцы (рис. 2, 3).

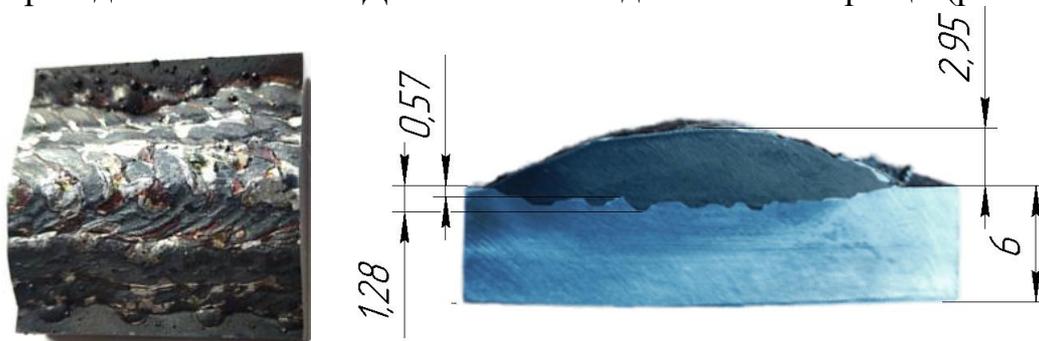


Рис. 2. Образец № 1 – восстановление с применением «твердых материалов»

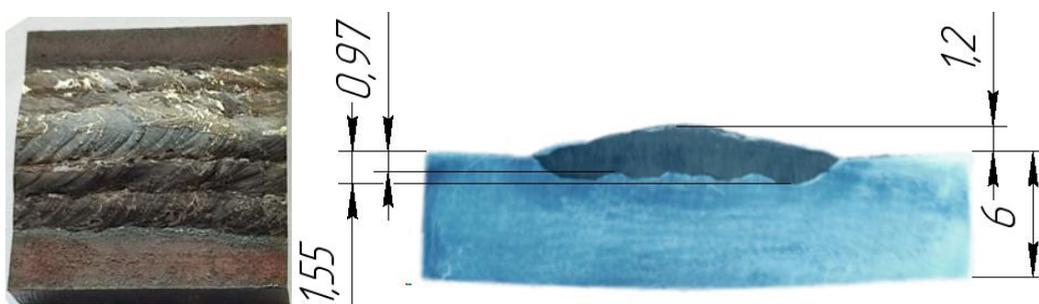


Рис. 3. Образец № 2 – восстановление по методу выращивания структуры

По результатам на гидроабразивный износ (относительную потерю массы) была построена диаграмма (рис. 4).

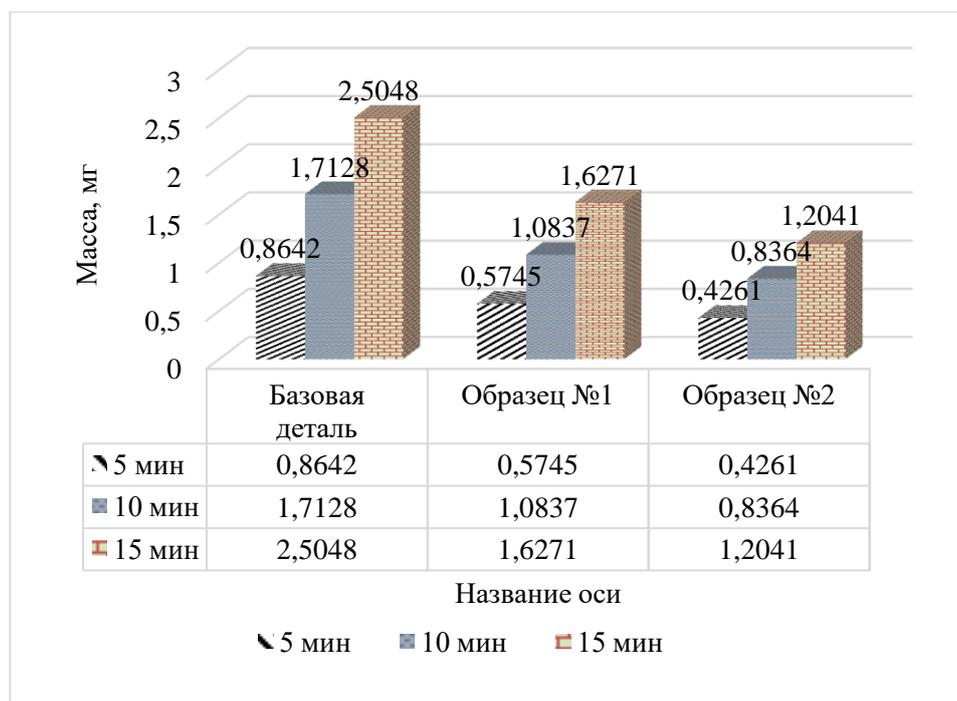


Рис. 4. Результаты гидроабразивных испытаний

Таким образом, получение необходимого комплекса свойств при наплавке поверхности распределительного блока аксиально-поршневого насоса обеспечивается при полуавтоматической наплавке в среде защитных газов (смеси защитных газов) по технологии, заключающейся в формировании армирующей структуры непосредственно в сварочной ванне.

Список источников

1. Microstructural characteristics of cold-sprayed nanostructured WC-Co coatings / R.S. Lima, et al. //Thin Solid Films 416 (2002), 129-135.
2. Branagan D.J., «Formation of Nanoscale Composite Coating Via HVOF and Wire-Arc Spraying» ITSC 2005, Basel, Switzerland, Mai 2-4, 2005, p 539-544.

ПЛАСТИФИКАТОРЫ ПЛАСТМАСС

Попова Е.Д.

Научный руководитель: д.х.н., доцент Бузаева М.В.

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

Пластификация является одним из способов физической модификации полимеров, заключающимся во введении жидких веществ (пластификаторов) с целью повышения эластичности, пластической деформации, морозостойкости, ударной прочности и снижения вязкости для улучшения перерабатываемости пластмасс.

Ключевые слова: пластификация, антипластификация, пластификатор, пластмассы, полимеры, пластизоли, пластикаты

Органические вещества, именуемые пластификаторами, находят применение в производстве полимерных материалов для изменения их свойств. В литературе встречаются указания на возможность придать полимерам повышенной эластичности, устойчивости к низким температурам и снижения температуры обработки. Для того чтобы пластмассы обладали нужными свойствами, пластификаторы должны быть сочетаемы с полимерами. Это связано с тем, что необходимо иметь низкую летучесть и содержание молекулярных фракций. Кроме того, важной характеристикой является высокая эффективность пластифицирующего воздействия. В некоторых областях применения материалов с пластификаторами требуются дополнительные свойства, такие как отсутствие цвета и запаха, которые не являются признаком токсичности, а также устойчивость к маслам, жирам, моющим веществам, воде и возможность выполнения функций при воздействии на материал радиации, света, огня и плесени. Пластификаторы – это вещества, которые добавляются в по-

лимеры для изменения их свойств. Они используются в производстве различных материалов, включая пластмассы, резины и клеи. Пластификаторы могут улучшать гибкость, прочность, устойчивость к воздействию различных факторов и другие свойства материала. Однако, при выборе пластификатора необходимо учитывать его сочетаемость с полимером и требования к конечному продукту. Наконец, следует отметить, что низкая стоимость – это один из важных дополнительных факторов выбора пластификатора. Механизм пластификации заключается в разрыве связей между молекулами полимера, что увеличивает его подвижность и облегчает процесс переработки в пластмассовые изделия. При добавлении пластификаторов свойства полимеров изменяются, в том числе снижается модуль упругости, температура текучести и вязкость [2].

Для достижения наилучшего эффекта необходимо учитывать химическое строение, структуру и физическое состояние полимера и пластификатора, а также их взаимодействие. Пластификация – это важный процесс в области переработки полимерных материалов, который позволяет улучшить их свойства и облегчить процесс изготовления пластмассовых изделий. Однако, при выборе пластификатора необходимо учитывать его взаимодействие с полимером, чтобы достичь наилучшего результата.

Некоторые полимеры, такие как аморфные, подвержены пластификации с большей легкостью, чем кристаллические. В этом случае пластичность происходит только в аморфной части кристалла, и ее эффективность зависит от того, насколько сильно она кристаллизуется. При этом пластичность сетчатых полимеров (сшитые термопласты и вулканизированные) зависит от параметров их структуры, а не от свойств самих полимеров. Если сшивание низкое, полимер способен удерживать большое количество растворителя, и пластификация может быть очень эффективной. Однако с увеличением степени склеивания, пластификатор теряет свою активность и становится неустойчивым к растворению в полимерном материале.

Таким образом, пластификация является важной технологией для переработки полимеров и оптимизации их свойств. При этом необходимо учитывать ряд факторов, таких как химическое строение, структуру и физическое состояние полимера и пластификатора, степень кристалличности, а также структуру полимера (сетчатая или нет) и степень его сшивания [1–3].

В промышленности широко используются пластифицированные полимерные материалы, которые могут быть представлены в виде пластизолов и пластикатов. Пластизолы представляют собой высококонцентрированные дисперсии полимеров в пластификаторах. Они получают путем смешивания полимеров с пластификаторами и последующей обработкой полученной смеси. Пластикаты, в свою очередь, являются тер-

мопластичными полимерными материалами, полученными путем пластификации полимера пластификатором.

Применение пластифицированных полимерных материалов позволяет получить изделия с различными свойствами: от мягких и эластичных до твердых и прочных. Эти материалы широко применяются в автомобильной, электронной, строительной и других отраслях промышленности благодаря их способности к обработке различными методами: формование, экструзия, литье и другие. Кроме того, пластифицированные полимеры обладают хорошей стойкостью к механическим и химическим воздействиям, что делает их более долговечными и эффективными в эксплуатации.

Пластификаторы могут быть смешаны с полимерами в различных количествах, в зависимости от совместимости и распределения пластификатора в полимере. Если пластификатор полностью совместим с полимером, то такая смесь называется молекулярной пластификацией. Если пластификатор ограниченно совместим с полимером, то используется пластификация с использованием ограниченно совместимых пластификаторов. Временная пластификация используется для улучшения вторичной переработки полимеров без снижения их физико-механических свойств. Существуют также пластификаторы-смазки, которые могут быть внутренними или внешними. Некоторые пластификаторы, особенно при небольших количествах, могут вызывать антипластификационный эффект, который проявляется в уменьшении деформации полимера и повышении его модуля упругости и прочности. Для регулирования технологических и эксплуатационных свойств полимеров часто используются смеси пластификаторов различной природы и совместимости. Пластификаторы широко используются в промышленности для производства различных изделий из полимеров, таких как пленки, трубы, кабели, обои и т. д. Они также могут быть использованы в медицине для создания медицинских изделий, таких как шприцы и инфузионные системы. Однако некоторые пластификаторы могут быть токсичными и вызывать вредное воздействие на здоровье человека, поэтому необходимо тщательно выбирать пластификаторы для конкретных приложений [1, 3].

Список источников

1. URL: <https://tmth.ru/plastificplast.html> (дата обращения: 04.05.2023)
2. URL: <https://thepresentation.ru/himiya/plastifikatory-i-plastifikatsiya-polimerov> (дата обращения: 04.05.2023)
3. URL: <https://present5.com/3-plastifikaciya-polimerov-1-plastifikaciya-sposob/> (дата обращения: 04.05.2023)

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ, ДЛЯ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Марахов Я.Н.

Научный руководитель: д.х.н., профессор Растегаев О. Ю.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

Получены композиционные материалы модифицированием полититаната калия тяжелыми металлами (медью, никелем, железом, кобальтом) для десульфуризации нефтепродуктов, которые изучены физико-химическими методами.

Ключевые слова: полититанат калия, тяжелые металлы, медь, никель, железо, кобальт, физико-химические методы, композиционный материал, десульфуризация нефтепродуктов

В настоящее время широко применяются композитные и нанокompозитные материалы, которые позволяют развиваться современной технологии в направлении разработки новых функциональных изделий, в связи с этим разработки новых видов нанокompозитных материалов, которые могли бы обладать высокой каталитической активностью и практически важными свойствами, уделяется большое внимание. В качестве исходного компонента для синтеза таких материалов может быть использован аморфный полититанат калия [1,2].

Общая химическая формула полититанатов калия может быть представлена как $K_2O \cdot nTiO_2$, где n изменяется в пределах от 2 до 8. Полититанаты калия представляют собой аморфные или слабокристаллические материалы, имеющие чешуйчатую форму частиц с эффективным диаметром 50-600 нм и толщиной 10-25 нм. Структура самих частиц ПТК подобна искажённой структуре лепидокрокита и построена из двойных слоёв, сформированных титан-кислородными октаэдрами. В межслойном пространстве ПТК расположены ионы калия, гидроксония и некоторое количество молекулярной воды [3,4].

Синтез ПТК проводился в соответствии с методикой [1], модификация ионами тяжелых металлов по методике [3]. Идентификация полученных образцов проводилась следующими физико-химическими методами. ИК-спектры регистрировали на ИК-Фурье-спектрометре ФТ-801 фирмы Симекс (Россия) с фокусирующей приставкой МКФ-Ю в диапазоне волновых чисел 500-4000 cm^{-1} . Рентгеновский фазовый анализ проведен на дифрактометре ARL X'TRA фирмы Thermo Scientific (Швейцария) с использованием $CuK\alpha$ -излучения ($\lambda_{CuK\alpha} = 0,15412$ нм) в диапазоне углов 2Θ (5-60

градусов). Использована геометрия измерений Брегга-Брентано, пошаговый режим сканирования со скоростью 2 градуса, время накопления сигнала – 1 секунда.

Распределение частиц изучалось на анализаторе размера частиц Analysette 22 MicroTec PLUS. Например, ИК-спектр ПТК, модифицированного Cu (2+), указывает на идентичность образцов, описанных ранее (рис. 1).

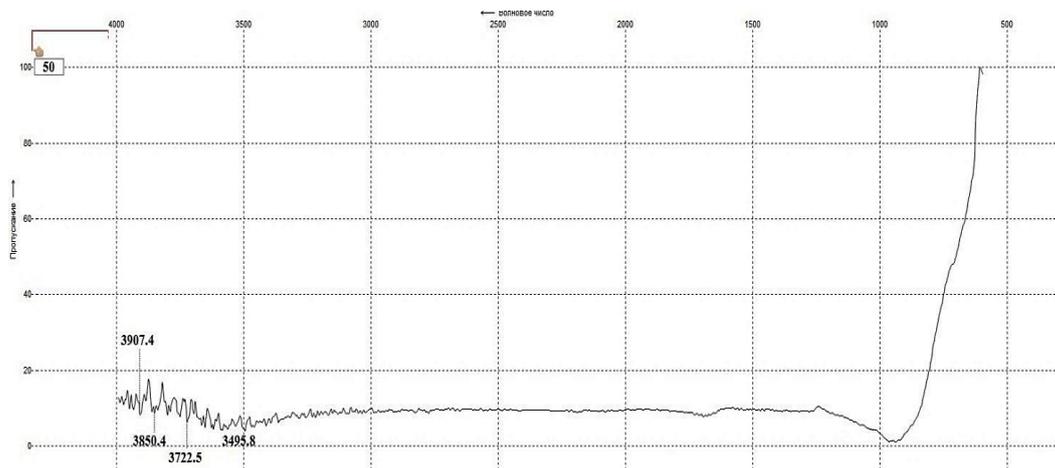


Рис. 1. ИК-спектр ПТК, модифицированного Cu (2+)

Рентгенофазовый анализ ПТК и ПТК, модифицированного Cu (2+), указывает на то, что кристаллические фазы в полученном продукте не появились; образцы являются аморфными (рис. 2).

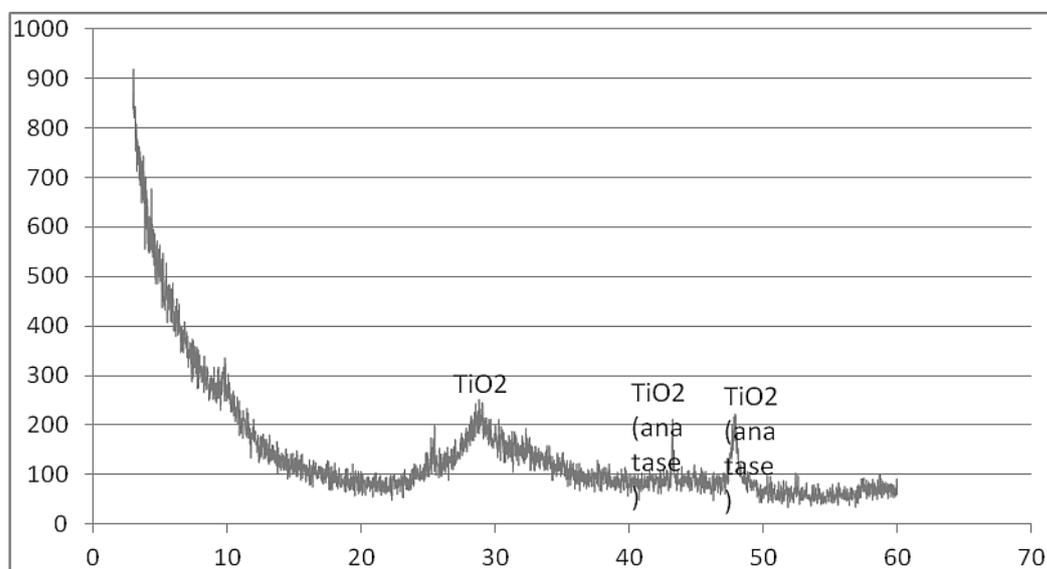


Рис. 2. РФА ПТК, модифицированного Cu (2+)

Фракционное распределение частиц по размерам показывает, что при переходе от ПТК к ПТК, модифицированному Cu (2+), увеличивается доля более мелких частиц средней фракции (1-10 мкм), приблизительно на 30%, за счет крупной фракции (рис. 3, табл.).

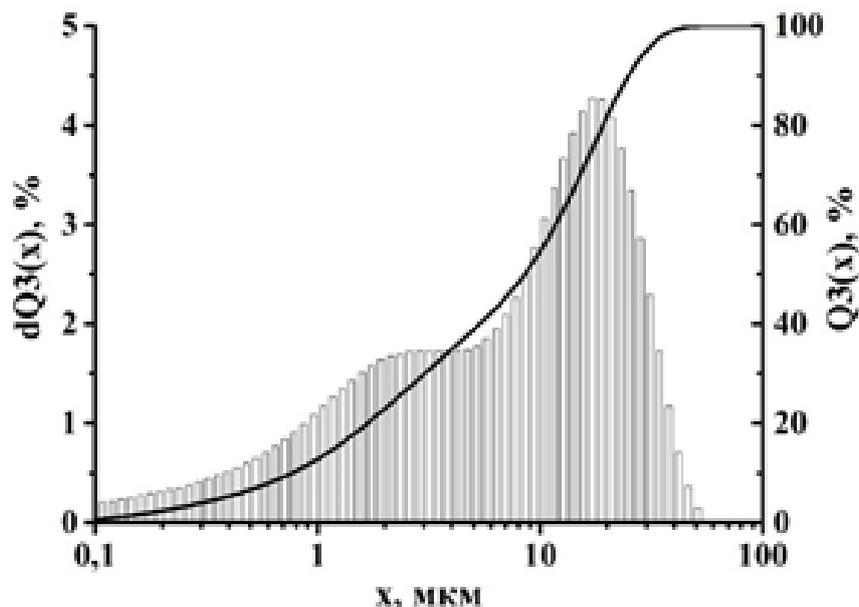


Рис. 3. Распределение частиц по размерам ПТК, модифицированного Cu (2+)

Фракционное распределение частиц по размерам ПТК и ПТК, модифицированного Cu (2+)

Наименование образца	Доля фракции (об.%)		
	< 1 мкм	1-10 мкм	> 10 мкм
ПТК	10	30	60
ПТК-Cu (2+)	10	39	51

Методика десульфуризации нефтепродуктов композиционным материалом. В колбу объемом 25 мл, снабженную обратным холодильником, помещают 1 г порошка композита, 10 мл нефтепродукта и греют 3 часа при 50-60 °С, смеси дают остыть до комнатной температуры, потом отфильтровывают осадок через бумажный фильтр, а отфильтрованное топливо испытывают по ГОСТ 32329-2013 «Нефтепродукты. Определение коррозионного воздействия на медную пластинку». Степень десульфуризации составляет от 10 до 70% в зависимости от вида использованного композита.

Таким образом, разработана методика десульфуризации нефтепродуктов с помощью композиционных материалов, полученных модифицированием полтитаната калия тяжелыми металлами (медью, никелем, железом, кобальтом) для десульфуризации нефтепродуктов.

Список источников

1. Gorokhovskiy A. V., Escalante-García J.I., Sánchez-Monjarás T., Gutiérrez-Chavarría C.A. Synthesis of potassium polytitanate precursors by treatment of TiO₂ with molten mixtures of KNO₃ and KOH // Journal of the European Ceramic Society. – 2004. – № 24. – P. 3541–3546.

2. Кособудский И.Д., Гороховский А.В., Никитина Л.В. Синтез нанокпозиционных никельсодержащих соединений на основе полититаната калия // IX Международная научная конференция. – 2009. – С.427.

3. Взаимодействие наноразмерных полититанатов калия с растворами солей переходных металлов / Третьяченко Е. В., Смирнова О. А., Никитюк Т. В., Викулова М. А., Ковалева Д. С. // Башкирский химический журнал. – 2012. – Т. 19, № 1. – С. 38-41.

4. Импедансная спектроскопия полимерного композита на основе базового полититаната калия / Гоффман В.Г., Гороховский А.В., Горшков Н.В., Телегина О.С., Ковнев А.В., Орозалиев Э.Э., Слепцов В.В.// Электрохимическая энергетика. – 2014. – Т. 14. № 3. – С. 141-148.

ИССЛЕДОВАНИЕ АГРЕГАТИВНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НАНОЧАСТИЦ СЕЛЕНА, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ TWEEN-80

Рехман З.А., Маглакелидзе Д.Г, Блинов А.В.,
Филиппов Д.Д., Яковенко А.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Блинов А.В.

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

В статье представлено исследование агрегативной устойчивости наночастиц селена, стабилизированных Tween-80. Показано влияние активной кислотности среды и ионной силы на средний гидродинамический радиус частиц, измерение которого проводили методом динамического рассеяния света.

Ключевые слова: наночастицы селена, поверхностно-активные вещества, агрегативная устойчивость, средний гидродинамический радиус

Селен (Se) является важным микроэлементом для здоровья человека, который может быть получен в природе из нескольких источников. В настоящее время большое количество работ посвящено изучению биологической активности, токсичности, а также применению органических и неорганических форм селена [1]. Наночастицы селена имеют преимущества перед другими формами из-за уникальных свойств: низкая токсичность, высокая биодоступность, антиоксидантная активность [2]. Исследование методов синтеза и стабилизации наночастиц селена, а также применение полученных частиц в различных областях науки и техники является актуальным и перспективным для ученых всего мира [3].

Целью данной работы является исследование агрегативной устойчивости наночастиц селена, стабилизированных Tween-80.

Наночастицы селена получали методом химического восстановления в водной среде. Прекурсором выступала селенистая кислота, стабилизатором – tween 80, а восстановителем – аскорбиновая кислота [4].

Для оценки агрегативной устойчивости наночастиц селена проводили исследование влияния активной кислотности среды и ионной силы на средний гидродинамический радиус частиц [5].

Исследование размера наночастиц селена проводили методом динамического рассеяния света (*DLS*) на приборе *Photocor-Complex* (ООО «Антек-97», Российская Федерация). Результаты исследования влияния рН и ионной силы представлены на рис. 1, 2.

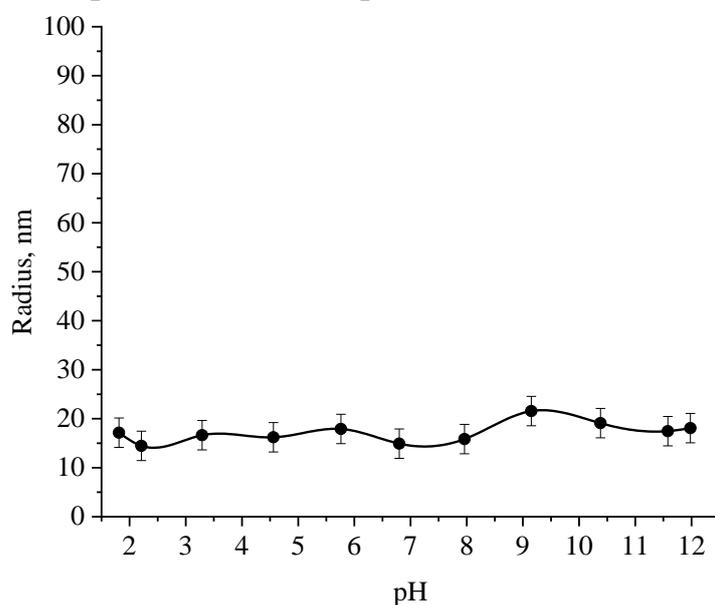


Рис. 1. Зависимость влияния активной кислотности среды от радиуса частиц

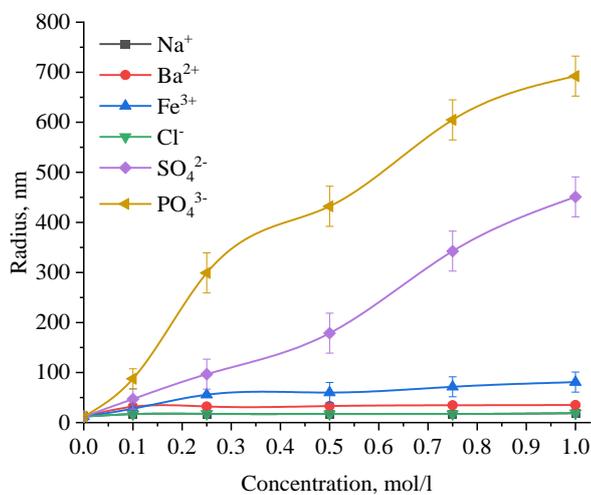


Рис. 2. Зависимость влияния ионной силы от радиуса частиц

Анализ полученных данных показал, что изменение активной кислотности среды незначительно влияет на средний гидродинамический радиус наночастиц селена, стабилизированных Tween-80. В свою очередь, при исследовании влияния ионной силы выяснено, что на агрегативную устойчивость частиц наибольшее влияние оказывают анионы SO_4^{2-} , PO_4^{3-} . Изменение радиуса происходит вплоть до 750 нм, что сопровождается немедленной коагуляцией. Наименьшее влияние на размер наночастиц селена оказывают ионы металлов: Na^+ , Ba^{2+} , Fe^{3+} .

В дальнейшем планируется исследование медико-биологических свойств полученных образцов.

Список источников

1. Khurana A. et al. Therapeutic applications of selenium nanoparticles //Biomedicine & Pharmacotherapy. – 2019. – Т. 111. – С. 802-812.
2. Nayak V. et al. Potentialities of selenium nanoparticles in biomedical science //New Journal of Chemistry. – 2021. – Т. 45. – №. 6. – С. 2849-2878.
3. Скоринова К. Д., Кузьменко В. В., Василенко А. И. Перспектива создания лекарственных препаратов на основе наночастиц селена (обзор) // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2020. – Т. 9. – №. 2. – С. 33-44.
4. Блинов А. В. и др. Оптимизация методики получения наночастиц селена, стабилизированных кокаמידопропилбетаином //Российский химический журнал. – 2022. – Т. 66. – №. 1. – С. 86-92.
5. Blinov A. V. et al. Investigation of the Effect of Dispersion Medium Parameters on the Aggregative Stability of Selenium Nanoparticles Stabilized with Catamine AB //Micromachines. – 2023. – Т. 14. – №. 2. – С. 433.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ КОМПОЗИТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ТОНКОСТЕННОГО ЛЕЙНЕРА В ПРОЦЕССЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ НАМОТКИ БАЛЛОНА ДАВЛЕНИЯ

Рыжова Т.М.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Склезнаев А.А.

*Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет), г. Москва*

В статье предложен алгоритм оценки влияния силы натяжения жгута композиционного материала на технологическую оснастку в процессе автоматизированной «мокрой» намотки.

Ключевые слова: технология производства композитных изделий, автоматизированная намотка, устойчивость лейнера

Вопросы создания новых перспективных изделий авиационной и ракетно-космической техники неразрывно связаны с повышением их весовой эффективности. Композитные баллоны высокого давления в отличие от баллонов, изготовленных из традиционных конструкционных материалов, например, металлов, обладают значительно (до 2-3 раз) более низким весом. В баллоне высокого давления, выполненном с применением армированных полимерных композиционных материалов (КМ), кроме КМ используется металлический тонкостенный герметизирующий элемент – лейнер, представляющий собой тонкостенную оболочку вращения. КМ же используется для обеспечения заданной прочности баллона и воспринимает внутреннее давление содержимого баллона.

К сожалению, в настоящий момент в связи с ограничениями, наложенными на экономику РФ, выбор армирующего наполнителя для ПКМ не очень широк. Для дальнейшего повышения технических характеристик баллонов высокого давления из ПКМ кроме использования более тонких металлических лейнеров, необходимо без увеличения количества используемого композита повышать физико-механические характеристики изготавливаемого материала.

Одним из путей такого повышения характеристик является управление технологическими параметрами изготовления изделия, чему и посвящена настоящая работа. Объект исследования в данной работе – технологический параметр «сила натяжения нити» при «мокрой» автоматизированной намотке баллона давления; выбор оптимального значения данного параметра является важным для двух взаимосвязанных задач. При слабом натяжении жгута не обеспечивается необходимая траектория намотки, а при неоправданно высоком натяжении жгута – возможно повреждение или разрушение тонкостенного металлического лейнера [1].

Моделируя технологический процесс намотки баллона давления, можно сделать вывод, что наибольшие по величине усилия возникают в металлокомпозитном баке (и его металлическом лейнере) в кольцевом направлении. Исходя из этого для моделирования процесса технологической намотки баллона достаточно рассмотреть бесконечную тонкостенную цилиндрическую оболочку, нагруженную внешними силами, вызванными силой натяжения жгута при намотке в кольцевом (окружном) направлении, так как превышение возникающими в материале лейнера напряжениями некоторого критического значения может вызвать потерю устойчивости конструкции лейнера в кольцевом направлении и, как следствие, разрушение конструкции баллона давления.

Математическая модель решаемой задачи заключается в следующем. На первом этапе определяется напряжение, возникающее в металлическом герметизирующем лейнере баллона давления в процессе намотки силового композитного слоя σ_y , зависящее от толщины оболочки, углов намотки спиральных слоёв, толщины спиральных и кольцевых слоёв, модулей уп-

ругости материалов и собственно силы натяжения жгута композиционного материала. На втором этапе вычислений, определяется критическая величина натяжения жгута, которая может привести к потере устойчивости металлического лейнера σ_{cr} [1]. Таким образом, вычисляя величину напряжений σ_y для различных расчётных случаев:

– минимальное натяжение, которое обеспечивает работоспособность нитепропиточного тракта намоточного оборудования, $\sigma_{\min} = 0,12$ МПа;

– натяжение с величиной 10-15% от разрушающего натяжения сухой нити, $\bar{\sigma}_{10-15\%} = 65-100$ МПа – для обеспечения наилучших характеристик отверждённого материала [2];

– натяжение потери устойчивости металлического лейнера σ_{cr} , по формуле:

$$\sigma_{cr} = \frac{\lambda_{cr}^2 D}{R^2 h},$$

а затем производя их сравнение можно определить наиболее подходящую с конструктивно-технологической стороны задачи силу натяжения жгута композитного материала, которая будет отвечать следующему соотношению:

$$\sigma_{\min} < \sigma_y \leq \bar{\sigma}_{10-15\%} < \sigma_{cr}.$$

Описанный алгоритм решения задачи представлен на рис.1.



Рис. 1. Алгоритм оценки влияния силы натяжения на устойчивость тонкостенного лейнера баллона давления

В заключение можно отметить, что предложенный в работе алгоритм расчёта технологических параметров позволяет значительно сократить трудоёмкость и стоимость создания новых конструкций баллонов давления и снизить расходы на отработку процесса их изготовления, избежав вероятных повреждений тонкостенного герметизирующего лейнера баллонов в процессе автоматизированной мокрой намотки

Список источников

1. Васильев В.В., Салов В.А., Склезнев А.А. Устойчивость бесконечно длинной цилиндрической оболочки под действием наружного давления, создаваемого намоткой гибких нитей // Изв. РАН. МТТ. 2022. № 6. С. 63-71.
2. Харченко Е.Ф., Протасов В.Д., Филипенко А.А., Поляков В.Л.. Исследование механизма влияния натяжения волокнистого наполнителя на структуру и прочность намоточных стеклопластиков // Механика композитных материалов. 1977. № 3. С. 439-444.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО ИОНАМИ Al

Маслов О.Р.¹, Плеханова Е.С.¹, Третьяченко Е.В.², Викулова М.А.²,
Козина О.Е.², Бредихина Т.А.², Клевцевич А.А.²
Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Саунина С.И.¹

¹Челябинский государственный университет, г. Челябинск

²Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

В работе было проведено сравнение фазового состава полититаната калия, модифицированного ионами Al^{3+} , термообработанного на воздухе и в условиях вакуума. Представлены результаты рентгенофазового анализа и приведены качественные объяснения физико-химических процессов, изменение цвета образца при различных условиях термообработки.

Ключевые слова: полититанат калия, термообработка, алюминий, структура типа голландита

Полититанат калия (ПТК) является хорошим антифрикционным материалом и фотокатализатором. Благодаря слоистой структуре обладает высокой интеркаляционной и каталитической активностью. Но практически нет исследований по получению керамических пигментов на основе модифицированного ПТК. При модификации ПТК катионами переходных металлов, могут образовываться новые энергетические переходы в видимой области, в результате чего, возможно получить высокотемпературные пигменты.

Целью данной работы было исследование влияния условий термообработки (ТО) на фазовый состав ПТК, модифицированного ионами Al^{3+} на возможность получения материала с новыми функциональными свойствами. Образцы базового полититаната калия синтезированы в соответствии с методикой работы [1]. Модифицирование ПТК раствором, содержащим сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3$, проводили путем введения в суспензию полититаната калия аликвоты модифицирующего раствора при контролируемом значении $pH=7$. Фазовый состав образца определяли с применением программного обеспечения «EVA» и картотеки PDF-2. Термообработка образца в вакууме с использованием вакуумного универсального поста ВУП-5. Изменение цвета образца в процессе ТО определяли с помощью программного обеспечения Color Grab.

По данным рентгенофазового анализа (рис. 1) после ТО на воздухе и в условиях вакуума, изменение фазового состава при всех температурах ТО образца не наблюдается, (TiO_2 -модификации анатаз и рутил, $K_2Al_2Ti_6O_{16}$).

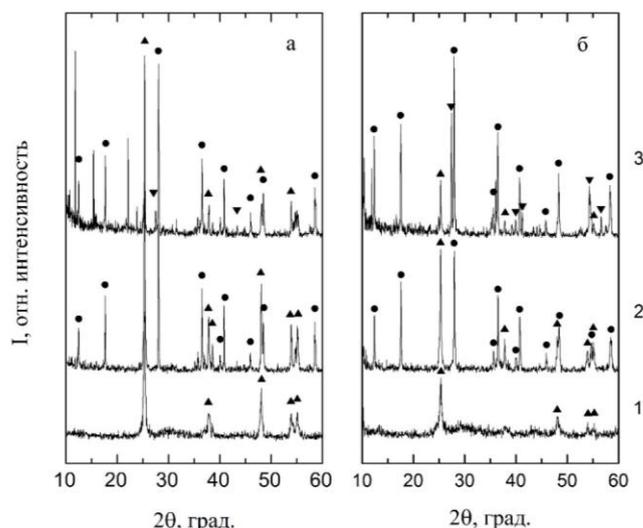


Рис. 1. Фрагменты рентгенограмм образца ПТК-А1, рН=7, ТО на воздухе (а) и в условиях вакуума (б): 1 – 700°C, 2 – 900°C, 3 – 1100°C; ▲ – TiO₂ (анатаз), ▼ – TiO₂ (рутил), ● – K₂Al₂Ti₆O₁₆

В случае ТО образца на воздухе (рис. 1а) при всех температурах отжига основной фазой является фаза TiO₂ – модификации анатаз. Образуется фаза со структурой типа голландита K₂Al₂Ti₆O₁₆. Фаза TiO₂ – модификации рутил, является фазой малой концентрации.

После термообработки образца в условиях вакуума (рис. 1б) при 900°C, количественное соотношение между фазами TiO₂–модификация анатаз и фазой со структурой типа голландита K₂Al₂Ti₆O₁₆ 1:1. При ТО 1100°C в образце образуются фазы: со структурой типа голландита K₂Al₂Ti₆O₁₆, TiO₂–модификации анатаз, TiO₂–модификации рутил.

В таблице показано изменение окраски образца ПТК, интеркалированного ионами Al³⁺, рН=7, прошедших термообработку в условиях вакуума.

Изменение окраски образца ПТК–А1, рН=7, прошедшего термообработку в условиях вакуума

			
Исходный	T=700°C	T=900° С	T=1100° С
	TiO ₂ (анатаз)	TiO ₂ (анатаз), K ₂ Al ₂ Ti ₆ O ₁₆	TiO ₂ (анатаз), TiO ₂ (рутил), K ₂ Al ₂ Ti ₆ O ₁₆
Белый цвет	Светло-серый цвет с оттенком желтого	Светлый серовато- голубой оттенок	Серо-синий цвет

Таким образом, после ТО в вакууме образец приобрел насыщенный серо-синий цвет. Существует несколько причин, определяющих наличие окраски образцов, содержащих оксиды титана. Такими причинами могут являться как образование кислородных вакансий (TiO_{2-x}), Ti³⁺, так и включение катионов переходных металлов и редкоземельных металлов в меж-

слоевое пространство полтитанатов. Это может приводить к сужению запрещенной зоны и в результате появлению, изменению цвета образца. Для нашего случая появление окраски в основном связано с образованием кислородных вакансий Ti^{3+} и включением в решетку Al^{3+} [2, 3, 4, 5].

Цвет образца можно изменять, контролируя ТО образца и условия ТО. Таким образом, после ТО в вакууме ($1100^{\circ}C$) образец приобрел насыщенный серо-синий цвет. Полученный материал возможно использовать в качестве пигмента.

Список источников

1. Sanchez-Monjaras, T. Molten salt synthesis and characterization of polytitanate ceramic precursors with varied TiO_2/K_2O molar ratio / T. Sanchez-Monjaras, A.V. Gorokhovskiy, J.I. Escalante-Garcia // J. Am. Ceram. Soc. – 2008. – Vol. 91, № 9. – P. 3058–3065.

2. Sun, P. Vacuum heat treated titanate nanotubes for visible-light photocatalysis / P. Sun, Y. Wei, C. Wang, X. Zhang // New Journal of Chemistry. – 2015. – Vol. 39(2). – P.1281–1286.

3. Guillén, E. Tailoring Crystalline Structure of Titanium Oxide Films for Optical Applications Using Non-Biased Filtered Cathodic Vacuum Arc Deposition at Room Temperature / E. Guillén, M. Krause, I. Heras, G. Rincon-Llorente, R. Eskobar-Galindo // J. Coatings. – 2021 – Vol. 11(2). – P. 233.

4. Chen, Y. Sol-gel preparation and characterization of black titanium oxides Ti_2O_3 and Ti_3O_5 / Y. Chen, J. Mao // Journal of Materials Science: Materials in Electronic. – 2014. – Vol. 25. – P. 1284–1288.

5. Tan, H. A facile and versatile method for preparation of colored TiO_2 with enhanced solar-driven photocatalytic activity / H. Tan, Z. Zhao, M. Niu, C. Mao, D. Cao, D. Cheng, P. Feng, Z. Sun // J. Nanoscale. – 2014. – Vol. 5(17). – P. 10216–10223.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА МОРФОЛОГИЮ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ

Бекмансуров. Т.А.¹, Жуковский Л.И.¹, Макаров А.А.², Третьяченко Е.В.², Викулова М.А.², Максимова Л.А.²

Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент Саунина С.И.¹

¹Челябинский государственный университет, г. Челябинск

²Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

В работе было проведено исследование влияния условий термообработки (воздух, вакуум и гидротермальный синтез) на изменение фазового состава и морфологии полтитаната калия ПТК. Представлены резуль-

таты, полученные с помощью сканирующей электронной микроскопии, и результаты рентгенофазового анализа.

Ключевые слова: полититанат калия, гексатитанат калия, гидротермальный синтез, вакуум, сверхкритический флюид

Полититанаты калия являются перспективным функциональными материалами, которые в зависимости от условий получения и термообработки обладают слоистой либо волокнистой структурой. В случае волокнистой структуры их используют как армирующую добавку в полимерных композитах. Слоистая структура полититаната способствует высокой интеркаляционной способностью, что позволяет изменять их физико-химические свойства [1].

Целью работы было изучение влияния различных условий термообработки на морфологию и степень совершенства кристаллической структуры полититаната калия.

Объектом исследования являлся полититанат калия, полученный по методике [2], прошедший термообработку (ТО) на воздухе, в вакууме (600 и 900°C) и в условиях гидротермального синтеза (500°C), согласно [3]. В качестве гидротермальной среды использовали дистиллированную воду. Форму частиц определяли по изображениям, полученным на сканирующем электронном микроскопе (JEOL JSM-6510).

По данным рентгенофазового анализа (рис. 1) в образце ПТК при всех условиях ТО образуется гексатитанат калия $K_2Ti_6O_{13}$. Однако, количество дифракционных максимумов, относящихся к гексатитанату калия в образце, прошедшем ТО на воздухе максимально. Также наблюдается уменьшение полуширины дифракционных максимумов, и увеличение их интенсивности по сравнению с образцами ТО в гидротермальных условиях и в вакууме (рис. 1).

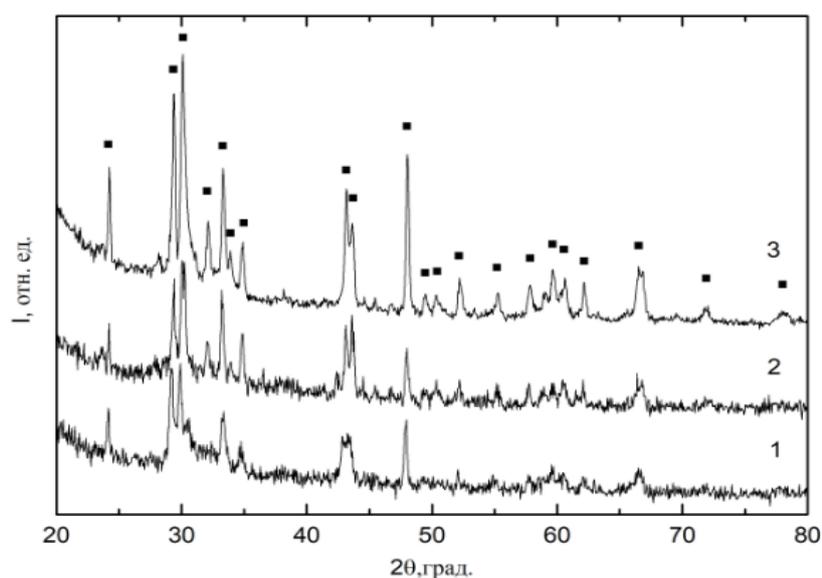


Рис. 1. Фрагмент рентгенограмм полититаната калия ТО при 900°C: 1 – гидротермальный синтез, 2 – в вакууме, 3 – на воздухе. ■ – $K_2Ti_6O_{13}$

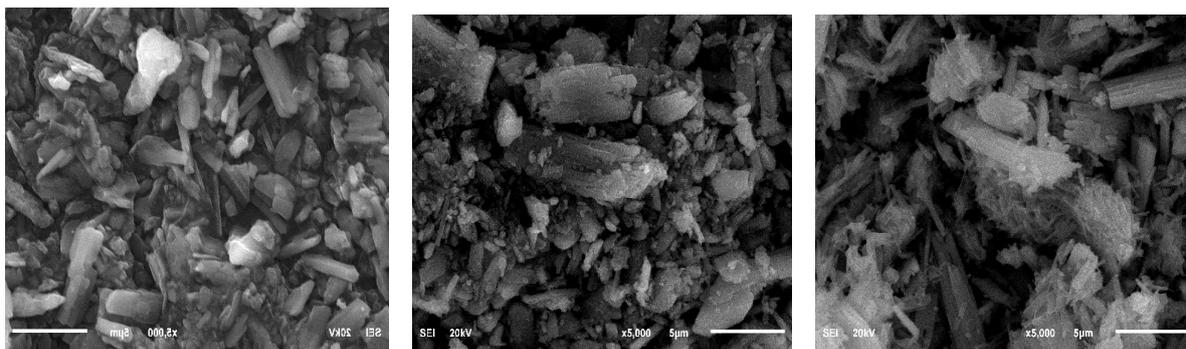


Рис. 2. Микроструктура полтитаната калия, термообработка на воздухе: 1 – исходный, 2 – 600°С, 3 – 900°С

Изменение морфологии образца ПТК прошедшего ТО в различных условиях показано на рис. 2 – 4. Так, для образца термообработанного на воздухе характерно наличие слоистых агрегатов частиц (рис. 1, 2). После термообработки при 900° С наблюдаются отдельные области, состоящие из тонких волокнистых частиц (рис. 2, 3). В образце ПТК, ТО в вакууме, (рис. 3), образуются агрегаты из слоистых, а также вытянутых частиц. Увеличение ТО до 900° С приводит к расслоению агрегатов.

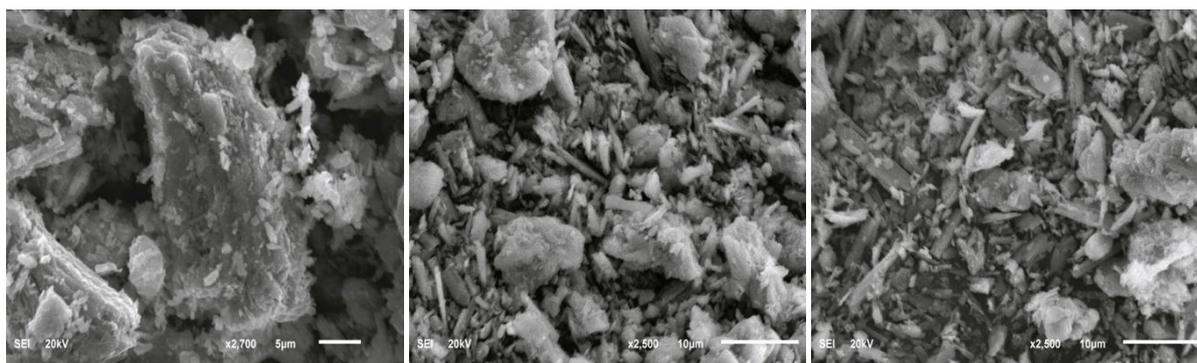


Рис. 3. Микроструктура полтитаната калия ТО в вакууме: 1, 2 – 600° С, 3 – 900° С

На рис. 4 представлены микрофотографии образца ПТК после гидротермального синтеза. На изображениях образца можно видеть тонкие частицы – «вискеры» (рис. 4 (1), 4 (3)) и их агрегаты (рис. 4 (2), 4 (3)). Слоистые агрегаты частиц, которые можно наблюдать в образцах после термообработки на воздухе и в условиях вакуума (рис. 2, 3) не наблюдается.

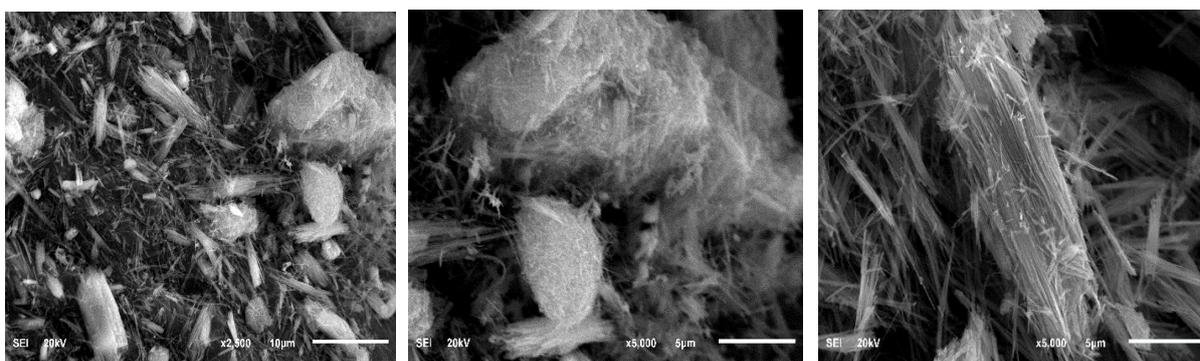


Рис. 4. Микроструктура полтитаната калия после гидротермального синтеза

Известно, что для образования вискеро́в $K_2Ti_6O_{13}$ используют методы синтеза: традиционное прокаливание, гидротермальную реакцию и вытяжку из расплава [4-6]. В качестве основных исходных объектов для получения используют TiO_2 и K_2CO_3 , для гидротермального синтеза используют КОН. В нашем случае в качестве объекта исследования, был использован прекурсор ПТК.

Таким образом, процессы, протекающие в среде сверхкритического водного флюида, приводят к образованию и росту вискеро́в гексатитаната калия.

Список источников

1. Гороховский, А.В. Субмикро- и наноразмерные титанаты калия и перспективы их применения / А.В. Гороховский, А.Н. Палагин, Д.В. Аристов // Нанотехника. – 2009. – № 20 – С. 90–93.
2. Sanchez-Monjaras, T. Molten salt synthesis and characterization of polytitanate ceramic precursors with varied TiO_2/K_2O molar ratio / T. Sanchez-Monjaras, A.V. Gorokhovsky, J. I. Escalante-Garcia // J. Am. Ceram. Soc. – 2008. – Vol. 91, № 9. – P. 3058–3065.
3. Граменецкий Е.Н., Котельников А.Р., Батанов А.М., Щекина, Т.И. Плечов П.Ю. Экспериментальная и техническая петрология. – М.: Научный мир, – 2000. – С. 417.
4. Hayashi, H. Hydrothermal Synthesis of Metal Oxide nanoparticles in Supercritical Water / H. Hayashi, Y. Nakuta // Materials. – 2010. – Vol. 3. – № 7 – P. 3794–3817.
5. Li, M. Facile synthesis of potassium hexatitanate whiskers by calcination at low temperature/ Li M., H. Lio, Z. Wang, X.W. Yan Ma,, W. Yan.// J. Am. Ceram. Soc. – 2020. – Vol. 56. – P. 859–865.
6. Bao, N. Study on the formation and growth of potassium titanate whiskers/ N. Bao, X. Feng, X. Lu, Z. Yang // Journal of materials science. – 2002. – Vol. 37. – P. 3035–3043.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИКОВ В X-ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

Андреев А.А., Рябов Е.А., Хайрушев И.В., Сергеева Б.В.
Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Сергеев С.А.

*Саратовский государственный национальный исследовательский
университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов*

Демонстрируются результаты исследования влияние температуры на характеристики пластиков, применяемых в 3D-печати. Показано, что рост температуры до $105^\circ C$ в большей степени влияет на усадку пластиков, чем на диэлектрическую проницаемость в X-диапазоне частот.

Ключевые слова: прямоугольный волновод, СВЧ излучение, FDTD, 3D-печать, OpenEMS.

В настоящее время благодаря разнообразию материалов, низкой стоимости, доступности и простоте 3D-печати стало проще, чем когда-либо, создавать функциональные, красивые и высокоэффективные модели и прототипы. Исследование электромагнитных свойств материалов для 3D-печати в СВЧ диапазоне позволяет расширить возможности создания таких структур, как фотонные кристаллы, антенны и метаматериалы [1-7], при реализации инновационных 3D-оптических устройств.

В данной работе было исследовано влияние температуры на характеристики различных пластиков в диапазоне $20 \div 105$ °С.

Существуют различные способы изготовления конструкций объектов. В данной работе применялась FDM-технология 3D-печати. Она заключается в нагревании нити пластика до температуры плавления и выдавливании с перемещением нити для получения слоя, в результате объект имеет слоистую структуру. Использовался 3D-принтер с кинематикой CoreXY и диаметром сопла 0,4 мм, и пластиковые нити диаметром 1,75 мм.

Исследуемые объекты представляли собой прямоугольные параллелепипеды $30 \times 23 \times 10$ мм³. Измерения проводили в прямоугольном волноводе с сечением 23×10 мм². В месте расположения объектов, на внешней поверхности волновода, располагали нагревательные элементы с датчиком температуры. Для измерения коэффициентов отражения и пропускания использовали панорамный измеритель КСВН и ослабления P2-61 в частотном диапазоне $8 \div 12$ ГГц. Результаты измерений P2-61 записывали из порта «самописец» на карту памяти с помощью Arduino MEGA [8-11]. Схема измерительной установки представлена на рис. 1.

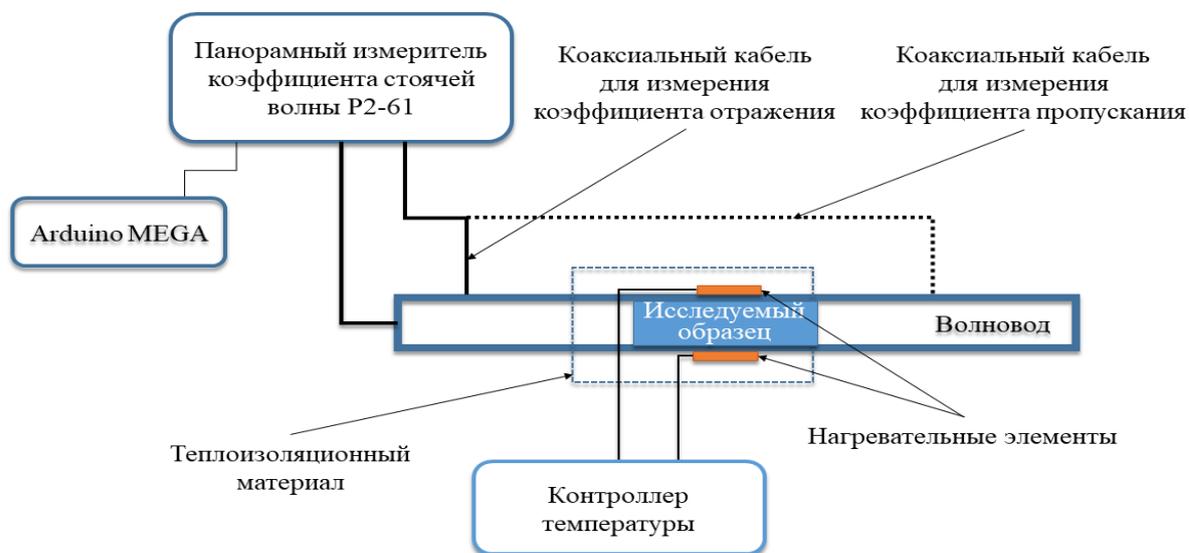


Рис. 1. Схема измерительной установки

В качестве исследуемых материалов были выбраны следующие пластики: PETG (полиэтилентерефталат-гликоль), ABS (акрилонитрил бутадиен стирол), SBS (стирол-бутадиен-стирольный каучук), HIPS (ударопрочный полистирол), PLA (полимолочная кислота), флуоресцентный PLA (F-PLA), PLA с добавлением меди 30% (PLA-Copper) и PLA с добавлением алюминия 30% (PLA-Aluminium).

На языке программирования Python с использованием библиотеки для машинного обучения scikit-learn была написана программа для определения диэлектрической проницаемости однородных объектов с использованием классификатора SVM (машина опорных векторов). Модель обучалась на данных, полученных в результате численного моделирования прямоугольных параллелепипедов $30 \times 23 \times 10$ мм³ с различной диэлектрической проницаемостью в программном пакете OpenEMS [12]. Результаты определения диэлектрической проницаемости представлены на рис. 2, 3. Полученные в данной работе результаты диэлектрической проницаемости аналогичны результатам работ [2-7].

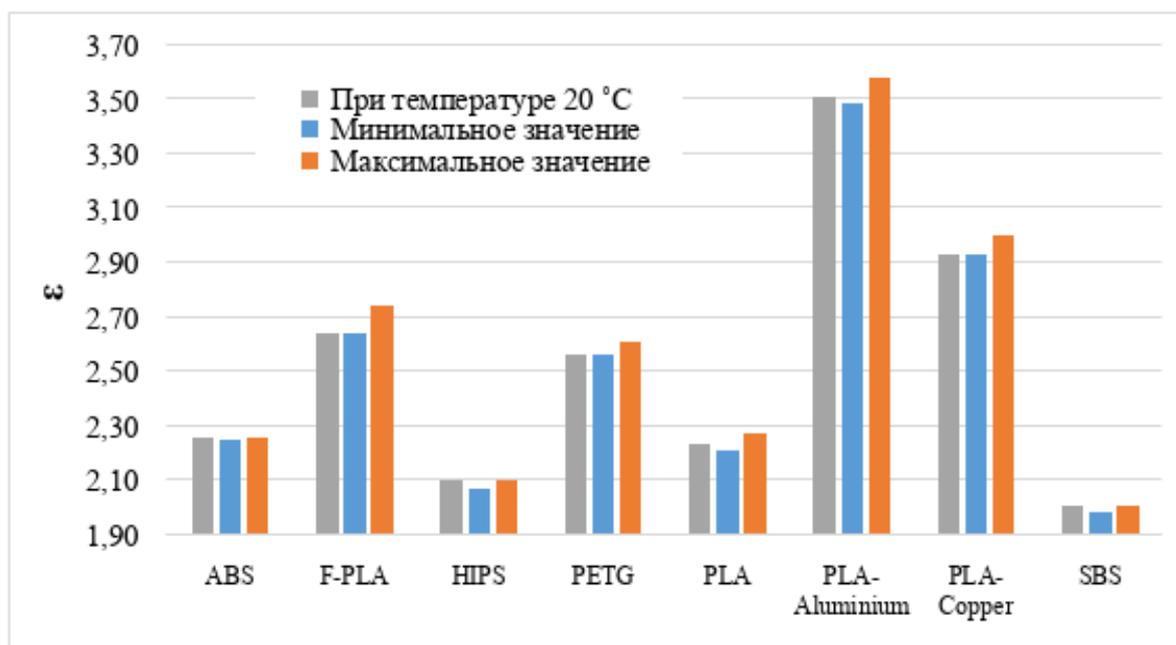


Рис. 2. Диэлектрическая проницаемость пластиков

Все пластики обладают усадкой, что необходимо учитывать при проектировании конструкций из них. Усадка пластика ABS была минимальна, и как видно из графиков, диэлектрическая проницаемость этого материала также изменилась меньше остальных. Пластик PETG также имеет минимальную усадку, но его диэлектрическая проницаемость увеличилась почти на 2 %. Остальные пластики имеют большую усадку, и из-за этого невозможно оценить температурную зависимость диэлектрической проницаемости.

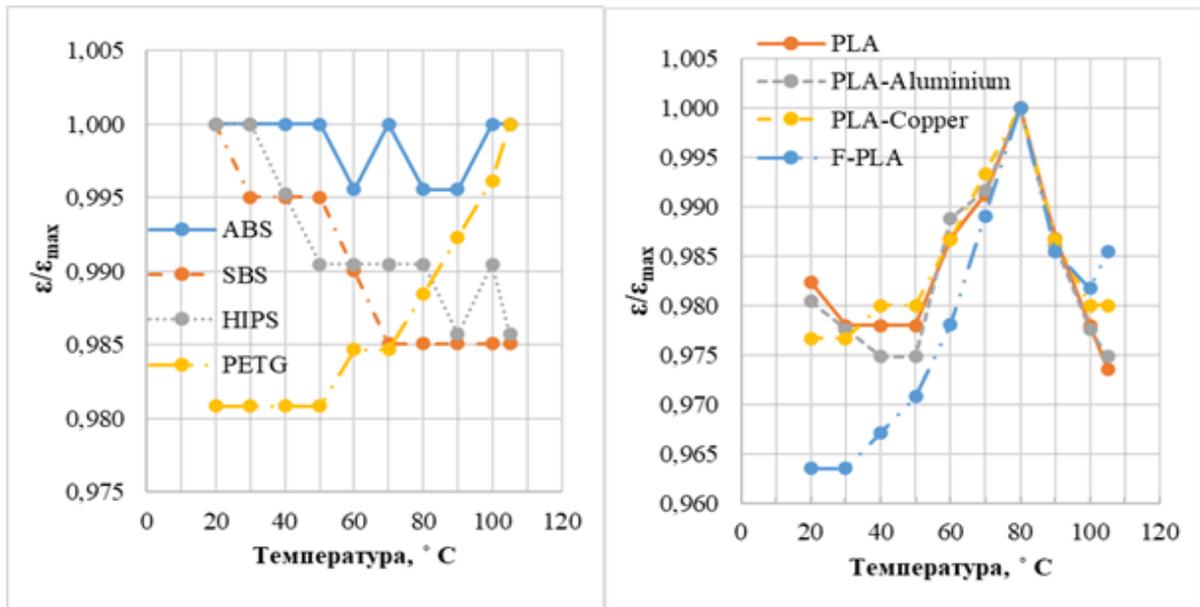


Рис. 3. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости пластиков

Список источников

1. Михайлов А.И., Рябов Е.А., Сергеев С.А. Оценка возможностей 3D-печати для изготовления волноводных фотонных кристаллов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2022. – Т. 25. – С. 29.
2. Arbaoui Y., Laur V., Maalouf A., Quéffélec P. 3D printing for microwave: Materials characterization and application in the field of absorbers // 2015 IEEE MTT-S international microwave symposium. – 2015. – P. 1-3.
3. Arbaoui Y., Laur V., Maalouf A., Quéffélec P., Passerieux D., Full 3-D printed microwave termination: A simple and low-cost solution // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2015. – V. 64(1). С. 271.
4. Dankov P.I. Characterization of dielectric properties, resultant isotropy and anisotropy of 3D printed dielectrics // 2018 48th European Microwave Conference. – 2018. – P. 823-826.
5. Kronberger R., Soboll P. New 3D printed microwave metamaterial absorbers with conductive printing materials // 2016 46th European Microwave Conference. – 2016. – P. 596-599.
6. Mirzaee M., Noghianian S., Wiest L., Chang I. Developing flexible 3D printed antenna using conductive ABS materials // 2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation. – 2015. – P. 1308-1309.
7. Xie Y., Ye S., Reyes C., Sithikong P., Popa B.-I., Microwave metamaterials made by fused deposition 3D printing of a highly conductive copper-based filament // Appl. Phys. Lett. – 2017. – V. 110(18). – P. 181903.
8. Рябов Е.А., Короневский Н.В., Зыков К.А. Модифицированная установка для измерения спектров КСВН и пропускания жидких диэлектриков // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2021. – С. 586.

9. Сергеев С.А., Михайлов А.И., Рябов Е.А. Автоматизированная установка для измерения спектров КСВН и пропускания жидких диэлектриков // Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2019. Т. 1. С. 439.

10. Автоматизированная установка для измерения спектров КСВН и пропускания коллоидов микро- и наночастиц / Рябов Е.А., Короневский Н.В., Зыков К.А., Сергеев С.А., Сергеева Б.В. // Сборник статей. – Саратов: Саратовский источник, 2019. – С. 188-191.

11. Установка для измерения спектров КСВН и пропускания жидких диэлектриков / Рябов Е.А., Короневский Н.В., Зыков К.А., Сергеева Б.В., Сергеев С.А. // НННФ: тез. докл. – Саратов: Техно-Декор, 2019. – С. 214.

12. Liebig T., Rennings A., Held S., Erni D. OpenEMS—A free and open source equivalent-circuit (EC) FDTD simulation platform supporting cylindrical coordinates suitable for the analysis of traveling wave MRI applications // Intern. J. Numer. Model. – 2013. – V. 26(6). – P. 680-696.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА В КОЛЛОИДНОМ РАСТВОРЕ НА ПРОЦЕСС ИХ ЗАГРУЗКИ В МИНЕРАЛИЗОВАННЫЕ КАРБОНАТОМ КАЛЬЦИЯ ВОЛОКНА ПОЛИКАПРОЛАКТОНА

Короневский Н.В., Хайрушев И.В., Андреев А.А.,
Великанов И.С., Рябов Е.А., Сергеева Б.В.

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Сергеев С.А.

Саратовский государственный национальный исследовательский университет имени Чернышевского Н.Г., г. Саратов

Экспериментально исследовано влияние концентрации наночастиц магнетита в коллоидном растворе на их загрузку в минерализованные микрочастицами карбоната кальция волокна поликапролактона с помощью метода адсорбции, индуцированной кристаллизацией.

Ключевые слова: микрочастицы карбоната кальция, волокна поликапролактона, электронная микроскопия, рентгеновская дифракция

В настоящее время актуальна задача разработки и исследования композитных материалов с широким спектром применения. Разработана технология получения композитного материала (КМ) на основе волокон поликапролактона (ПКЛ) и микрочастиц карбоната кальция (CaCO_3), модифицированных наночастицами магнетита (Fe_3O_4) [1-5].

Повышение массовой доли магнетита в КМ должно увеличить его чувствительность к магнитным полям и экранирующий эффект. Целью исследования являлось изучение влияния концентрации наночастиц магнетита в коллоидном растворе на процесс их загрузки в КМ.

Волокна ПКЛ (диаметр 100 ± 50 нм) были получены методом электроспиннинга из прядильного гомогенного раствора. При проведении исследований использовались коллоидные растворы наночастиц магнетита со средним диаметром 6 ± 1 нм и концентрацией от 0,3 до 1,8 мг/мл.

Минерализация волокон ПКЛ проводилась смешиванием эквимольных растворов карбоната натрия (Na_2CO_3) и хлорида кальция (CaCl_2). В пробирку с 1 мл раствором CaCl_2 помещался образец волокон, затем был добавлен 1 мл раствора Na_2CO_3 . Система подвергалась ультразвуковой обработке (1 мин) и была оставлена в состоянии покоя для завершения процесса кристаллизации. Далее образец изымался из пробирки, промывался этиловым спиртом и помещался в сушильный шкаф при 45°C на 15 – 20 мин. Минерализация повторялась три раза для формирования однородного CaCO_3 покрытия на волокнах ПКЛ.

Полученные образцы исследовались с помощью растровой электронной микроскопии Mira II LMU («TESCAN», Чехия). Ускоряющее напряжение 30 кВ, диаметр пучка – 3,2 нм. Для проведения исследований на образцы напылялось покрытие из золота. Средний диаметр микрочастиц CaCO_3 был определён с помощью СЭМ изображений образцов, и составил $0,9 \pm 0,4$ мкм после первого технологического цикла, $1,1 \pm 0,3$ мкм после второго, $1,0 \pm 0,2$ мкм после третьего. Встраивание наночастиц магнетита в композитный материал проводилось методом адсорбции, индуцированной кристаллизацией [5].

На рисунке 1 представлены СЭМ изображения образцов КМ, полученных при различных концентрациях коллоидного раствора наночастиц магнетита. При повышении концентрации наночастиц магнетита качество сформированных микрочастиц CaCO_3 ухудшается, так как количество образованных микрочастиц кальцита растёт.

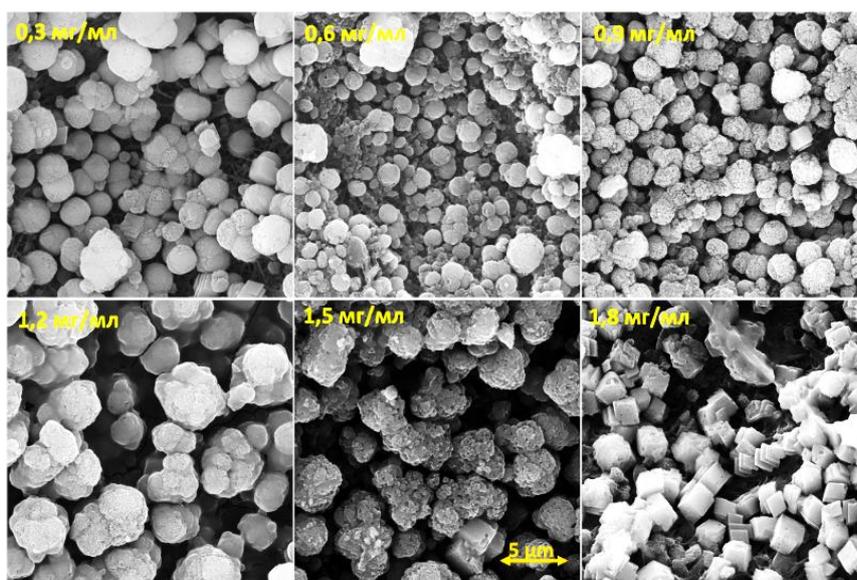


Рис. 1. СЭМ изображения образцов КМ после проведения адсорбции, индуцированной кристаллизацией, из коллоидных растворов наночастиц Fe_3O_4 с различной концентрацией

Для анализа качественного фазового состава использовался рентгеновский дифрактометр ДРОН-8Т (АО «ИЦ» Буревестник», Россия). Регистрацию дифрактограмм проводили в интервале 2θ от 27° до 37° с увеличенным временем экспозиции (рис. 2). На полученных дифрактограммах наблюдали характерные пики $29,3^\circ$ и 36° , соответствующие кальциту, $32,8^\circ$, соответствующий ватериту, а также $30,4^\circ$ и $35,4^\circ$, соответствующие магнетиту.

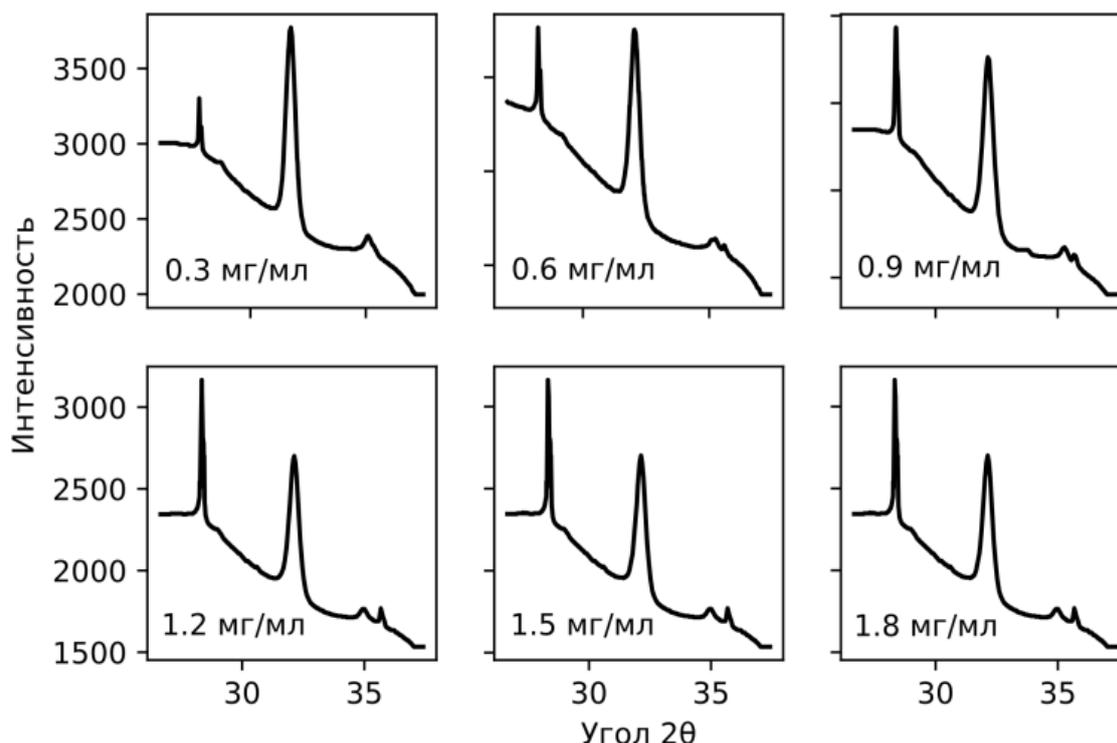


Рис. 2. Рентгеновские дифрактограммы исследуемых образцов в интервале 2θ от 27° до 37° , полученные при различных концентрация коллоидного раствора наночастиц Fe_3O_4

Методом Ритвельда был проведён анализ массовой доли магнетита относительно всего образца (таблица). Увеличение концентрации коллоидного раствора наночастиц Fe_3O_4 при использовании метода адсорбции, индуцированной кристаллизацией, приводит к увеличению массовой доли нагруженных наночастиц Fe_3O_4 в синтезированный КМ.

Зависимость массовой доли наночастиц Fe_3O_4 относительно всех микрочастиц $CaCO_3$ и наночастиц Fe_3O_4 от концентрации коллоидного раствора наночастиц Fe_3O_4

Концентрация магнетита, мг/мл	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
Отношение массовых долей наночастиц Fe_3O_4 / микрочастиц $CaCO_3$ и наночастиц Fe_3O_4 , %	1,2	4,3	4,9	5,8	6,1	7,0

При повышении концентрации коллоидного раствора массовая доля загруженных методом адсорбции, индуцированной кристаллизацией, наночастиц магнетита в минерализованные микрочастицами ватерита волокна ПКЛ растёт. Качество морфологии поверхности синтезированного композитного материала при этом ухудшается, что можно объяснить чувствительностью карбоната кальция к рН раствора наночастиц магнетита. Таким образом, при применении метода адсорбции, индуцированной кристаллизацией, для загрузки наночастиц магнетита со средним диаметром 6 ± 1 нм в минерализованные волокна ПКЛ, наиболее подходящими являются концентрации раствора магнетита 0,6 и 0,9 мг/мл.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта в рамках реализации инновационного проекта № 17309ГУ/2022 от 04.12.2022.

Список источников

1. Формирование и исследование свойств микрочастиц карбоната кальция с наночастицами магнетита на неорганических нановолокнах / Короневский Н.В., Сергеев Р.С., Савельева М.С., Сергеев С.А. // Актуальные вопросы биомедицинской инженерии. – Саратов: СГТУ, 2018. – С. 38-42.
2. Сергеев С.А., Короневский Н.В., Сергеев Р.С. Технология получения микрочастиц карбоната кальция, модифицированных наночастицами магнетита, на неорганических волокнах // Нано- и биомедицинские технологии. – Саратов: Техно-Декор, 2018. – С. 76.
3. Sergeeva A., Sergeev R., Lengert E. Vaterite→calcite recrystallization of magnetic calcium carbonate microparticles // The nanoparticles and nanostructured coatings microcontainers. – Saratov: SSU, 2015. – P. 72.
4. Сергеев С.А., Короневский Н.В. Исследование свойств неорганических нановолокон с микрочастицами CaCO_3 на сверхвысоких частотах // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2017. – С. 155-159.
5. Синтез и исследование свойств неорганических нановолокон с микрочастицами CaCO_3 / Сергеев С.А., Короневский Н.В., Аткин В.С. Сергеев Р.С. // НННФ: тезисы докладов. – Саратов: Техно-Декор, 2017. – С. 249.
6. Синтез и исследование свойств микрочастиц CaCO_3 , выращенных на неорганических волокнах и модифицированных наночастицами / Fe_3O_4 Короневский Н.В., Сергеев Р.С., Савельева М.С., Сергеев С.А. // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2017. – Саратов: Саратовский источник, 2017. – С. 120-123.
7. Короневский Н.В., Сергеев С.А., Ломова М.В., Савельева М.С. Патент 2761321 РФ. Способ минерализации органических волокон поликапролактона микрочастицами карбоната кальция. № 2021101913.
8. Koronevskiy N.V., Savelyeva M.S., Lomova M.V., Sergeeva B.V. Composite mesoporous vaterite-magnetite coatings on polycaprolactone fibrous matrix // Izvestiya of Saratov University. Physics. – 2022. – V. 22(1). – P. 62.

ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Сударчикова М. А., Насакина Е.О., Сергиенко К. В.,
Конушкин С. В., Севостьянов М.А.
Научный руководитель: к.т.н. Насакина Е.О.

*Институт металлургии и материаловедения
им. А.А. Байкова РАН, г. Москва*

В данной работе рассмотрен метод магнетронного распыления в качестве основного в настоящее время метода получения тонких пленок, покрытий и слоистых композиционных материалов функционального и конструкционного назначения, обозначены основные виды магнетронных распылительных систем и их преимущества, а также кратко представлены результаты исследования влияния параметром магнетронного распыления и применяемых материалов на морфологию и химический состав покрытий и слоистых композитов.

Ключевые слова: магнетронное распыление, вольт-амперные характеристики, функциональные покрытия, слоистые композиционные материалы

Метод магнетронного распыления относится к методам физического осаждения материалов из паровой фазы (physical vapor deposition – PVD) [1,2]. Данный метод широко применяется во многих областях науки и в настоящее время является доминирующим методом синтеза тонких пленок и слоистых композиционных материалов различного состава, т. к. они могут быть получены при относительно высокой химической чистоте и низкой стоимости процесса в целом.

Метод магнетронного распыления заключается в распылении материала за счет бомбардировки ионизированного газа мишени-катода путем столкновения с атомом-мишенью, передачи ему импульса и вызывая, в свою очередь, каскадный процесс. Благодаря данному процессу атомы мишени вблизи поверхности приобретают импульс для движения наружу и распылению из мишени. Эффективность метода магнетронного распыления заключается в наличии скрещенных магнитного и электрического полей, которые ограничивают движение заряженных частиц и локализует их у поверхности мишени, что значительно увеличивает скорость распыления материалов по сравнению с катодным типом распылительной системы (без магнитной системы). Магнетронное распыление включает в себя два основных типа, таких как магнетронное распыление с помощью источника постоянного тока или с помощью источника переменного тока, каждое из которых имеет свой принцип работы и особенности применения. Распыление с применением источника переменного тока позволило распылять не только электропроводящие материалы.

Благодаря ранее указанным особенностям и преимуществам метода магнетронного распыления его применяют для синтеза различных функциональных пленок: пленки, обладающие поглощением, пропусканием, отражением, преломлением, поляризацией и так далее [3-6]. В области оптики: технология несбалансированного магнетронного распыления в замкнутом поле также применялась в оптических пленках (таких как просветляющая пленка), стекле с низким коэффициентом излучения и прозрачном проводящем стекле. В частности, прозрачное проводящее стекло широко используется в устройствах отображения с плоской панелью, солнечных элементах, устройствах защиты от микроволновых и радиочастотных помех, а также в устройствах, датчиках и тому подобном.

С момента своего создания в обрабатывающей промышленности была разработана технология поверхностного нанесения поверхностной функциональной пленки, сверхтвердой пленки и самосмазывающейся пленки, которая может эффективно повысить твердость поверхности, вязкость композитов, износостойкость и химическую стабильность при высоких температурах [7].

Цель данной работы заключалась в формировании поверхностных слоев из мишеней различной природы (титан, палладий, церий и др.) на подложках из стекла, алюминиевого и титанового сплава методом магнетронного распыления и исследовании влияния вольт-амперных характеристик, времени распыления и других факторов на морфологию и состав поверхностных слоев с помощью. Во всех случаях поверхностные слои в целом повторяли морфологию поверхности подложек, но в зависимости от природы материалы имели разную шероховатость. Кроме того, например, подслои из титана позволял формировать более насыщенный азотом слой и большей толщины из нитрида титана при том, что скорость распыления в реактивной среде уменьшалась более чем в 2 раза.

*Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 21-79-10256.
<https://www.rscf.ru/project/21-79-10256/>.*

Список источников

1. Кузьмичёв А. И. Магнетронные распылительные системы. Кн 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления. – К.: Аверс, 2008. – 244 с.
2. Gudmundsson J. T., Lundin D. Introduction to magnetron sputtering // High Power Impulse Magnetron Sputtering. – Elsevier, 2020. – С. 1-48.
3. Magnetron sputtering deposition of silicon nitride on polyimide separator for high-temperature lithium-ion batteries / Liao C. et al. // Journal of Energy Chemistry. – 2021. – Т. 56. – С. 1-10.
4. Синтез магнетронным распылением и структура тонких пленок арсенида кадмия / Кочура А. В. и др. // Неорганические материалы. – 2019. – Т. 55. – №. 9. – С. 933-940.

5. Возможности магнетронного распыления в создании ловушек экситонов и трионов для наноэлектронного приборостроения / Попов И. И. и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2021. – №. 1 (49). – С. 63.

6. Superior optoelectrical properties of magnetron sputter-deposited cerium-doped indium oxide thin films for solar cell applications / Dey K. et al. // Ceramics International. – 2021. – Т. 47. – №. 2. – С. 1798-1806.

7. Хрущов М. М. и др. Особенности структуры и трибологическое поведение хромуглеродных покрытий, полученных магнетронным распылением // Физика металлов и металловедение. – 2019. – Т. 120. – №. 2. – С. 219-224.

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Костарев Н.Д.¹

Научные руководители: к.т.н. Таганова В.А.², д.т.н. Пичхидзе С.Я.¹

¹Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

²Московский государственный образовательный комплекс, г. Москва

В данной работе представлены прочностные расчеты композиционного материала.

Ключевые слова. Композитный материал, конструкция, прочность, нагрузка, углеродная ткань, смола, отвердитель

По условию задания необходимо изготовить изделие – основу спортивного инвентаря, управление которым осуществляется путем перемещения центра тяжести собственного тела (Скейтборд). Изделие должно быть выполнено из композитных материалов, конструкция соответствовать техническому заданию.

Для выполнения поставленной задачи необходимо провести расчет прочности изделия для определения количества необходимых материалов для производства и прогнозирования запаса прочности модели.

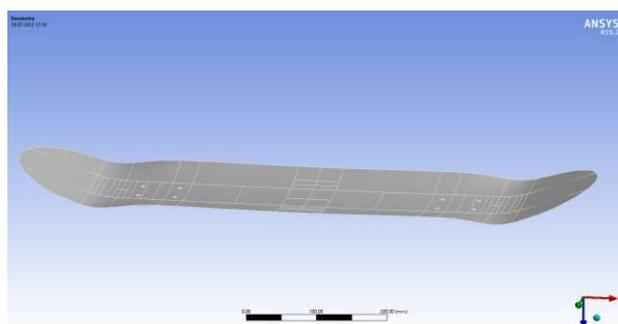


Рис. 1. 3D модель изделия

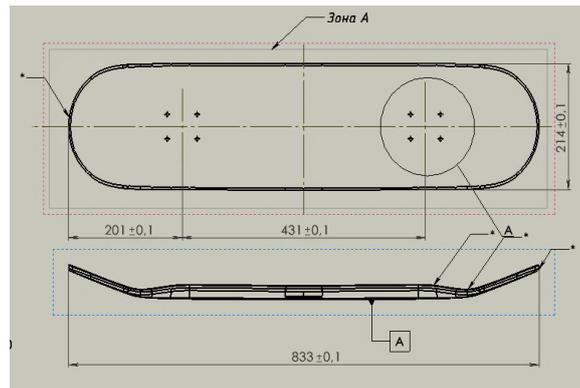


Рис. 2. Габаритные размеры изделия

Таблица 1

Физико-механические характеристики,
определенные техническим паспортом материалов

Тип материала	Наименование	Свойства
Армирующий материал	Углеродная ткань Toray F3118H200	Плотность 200 г/м ²
Армирующий материал	Soric LRC 1,5 мм	Thickness 1,5 мм Dry weight 115 г/м ²
Эпоксидное связующее	Смола Resoltech 1800 Отвердитель Resoltech 1805	двухкомпонентная

Таблица 2

Интерпретация результатов

Нагрузка	Деформация
50 кг	
75 кг	
100 кг	
125 кг	

В соответствии с требованиями конкурсного задания изделие должно выдержать нагрузку в 50, 75, 100 и 125 кг.

Из проведенного расчета видим, что образец не выдержал требуемой нагрузки в 125 кг и подвергся частичному разрушению.

Расчет на прочность был проведен в комплексе Ansis Mechanical, который является САЕ – системой для расчета различных изделий и материалов. В состав данного комплекса входит модуль Ansys Composite PrePost (АСР), позволяющий проводить расчет на прочность композитных материалов. Также при расчете использовался модуль Static Structural, позволяющий моделировать нагрузку.

Список источников

1. Композиционные материалы: справочник / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др.; под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 510 с.

2. Мелешко А. И., Половников С. П. Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты. – М.: САЙНС-ПРЕСС, 2007. – 192 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СХЕМЫ УКЛАДКИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Костарев Н.Д.

Научные руководители: к.т.н. Таганова В.А.,
д.т.н. Пичхидзе С.Я.¹

Московский государственный образовательный комплекс, г. Москва
¹Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

В работе представлено исследование влияния схема укладки на прочностные свойства композиционного материала.

Ключевые слова: композитный материал, конструкция, прочность, нагрузка, углеродная ткань, смола, отвердитель

Изготовлены два образца композитного материала в виде чередования сплошных слоев углеродных тканей и сорики. Пропитка проводилась эпоксидным связующим Т20-60, отверждение связующего проводили при $T=24^{\circ}\text{C}$, выдержке 24 часа, с последующим постотверждением при $T=80^{\circ}\text{C}$ в течение 2 часов.

Построение КЭ-сетки было выполнено методом «Quadriental», количество элементов 11 317, количество узлов 11 478, тип элементов shell 181.

Таблица 1

Схема укладки расчетного случая № 1

№ слоя	Материал	Угол укладки	Толщина слоя
1A	Углеродная ткань Toray F3118H200	0-90	0,22
2-3	Углеродная ткань Toray F3118H200	0-90	0,22
4	Soric LRC 1,5 мм	0-90	1,5
5-6	Углеродная ткань Toray F3118H200	0-90	0,22
7	Soric LRC 1,5 мм	0-90	1,5
8-9	Углеродная ткань Toray F3118H200	0-90	0,22
10	Soric LRC 1,5 мм	0-90	1,5
11-12	Углеродная ткань Toray F3118H200	0-90	0,22
13	Soric LRC 1,5 мм	0-90	1,5
14-15	Углеродная ткань Toray F3118H200	0-90	0,22
16	Soric LRC 1,5 мм	0-90	1,5
17-19	Углеродная ткань Toray F3118H200	0-90	0,22

Таблица 2

Схема укладки расчетного случая № 2

№ слоя	Материал	Угол укладки	Толщина слоя
1A	Углеродная ткань Toray F3118H200	0-90	0,22
2	Углеродная ткань Toray F3118H200	0-90	0,22
3	Soric LRC 1,5 мм	0-90	1,5
4-5	Углеродная ткань Toray F3118H200	0-90	0,22

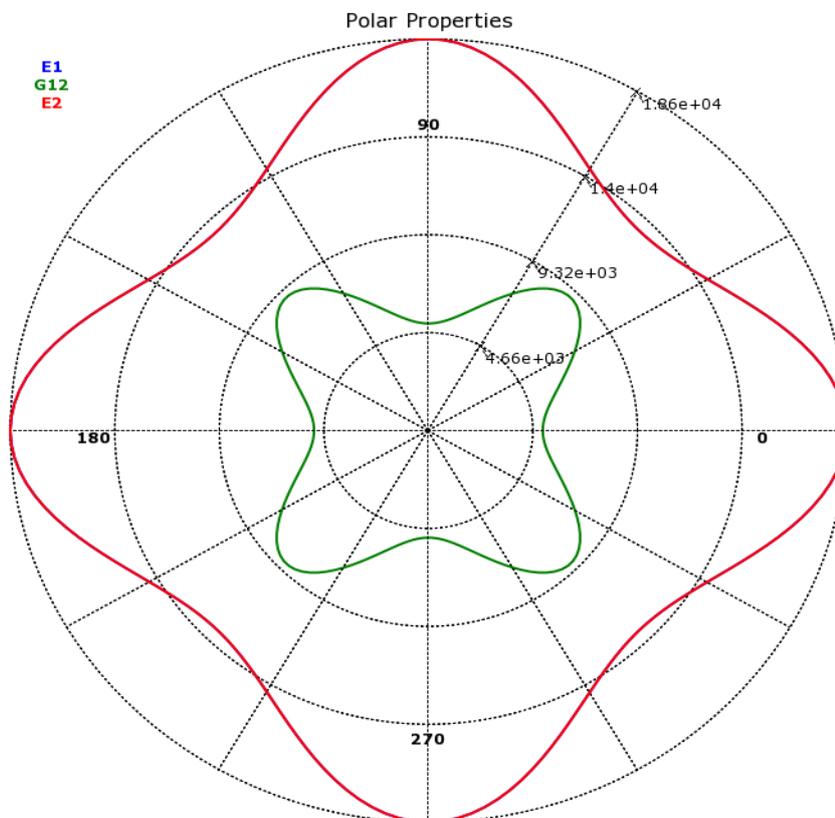


Рис. 1. Полусная фигура выкладки

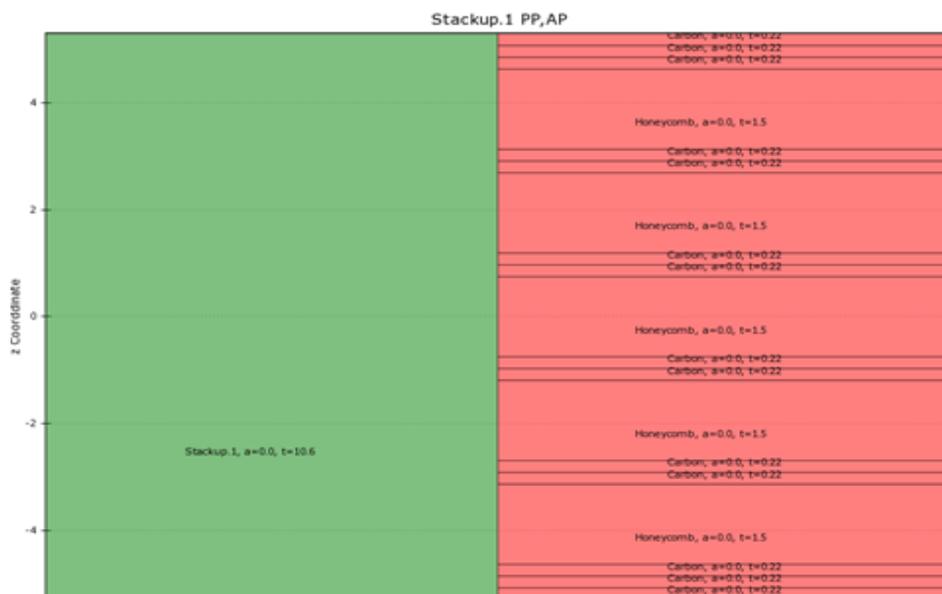


Рис. 2. Структура выкладки
Построение сетки конечных элементов

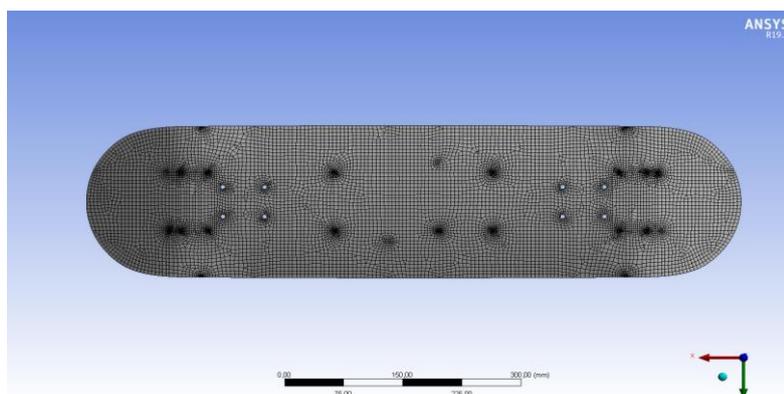


Рис. 3. КЭ-сетка

На рис. 3 видно, что на КЭ- сетке отсутствуют разрывы и вырожденные элементы.

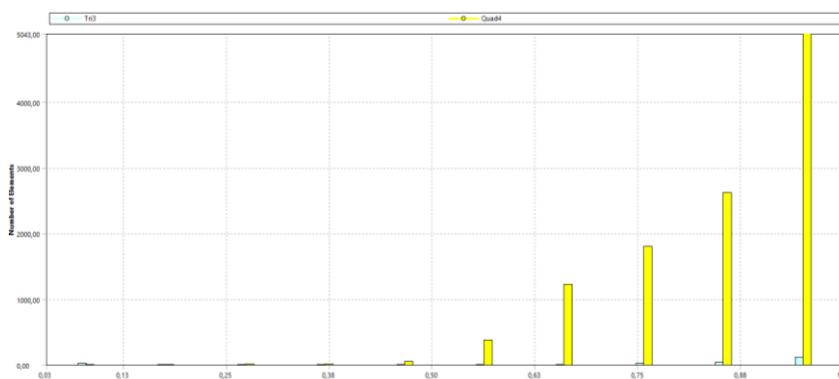


Рис. 4. График распределения элементов

Анализ качества КЭ-сетки показал, что распределение элементов находится на высоком уровне.

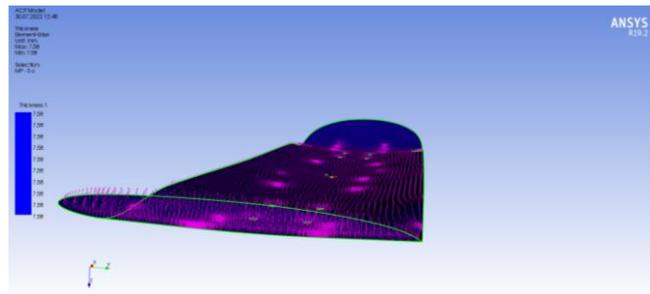


Рис. 5. Направление выкладки

Направление выкладки 90-0, наращивание осуществляется от формообразующей поверхности по оси Z (стрелка синего цвета).

Для производства расчета необходимо закрепить модель (рис. 6), для более реалистичного результата была построена дополнительная геометрия в зоне предназначенной для крепления подвески. Фиксация выполняется в модуле Static Structural, инструмент Fixed support (жесткая заделка).

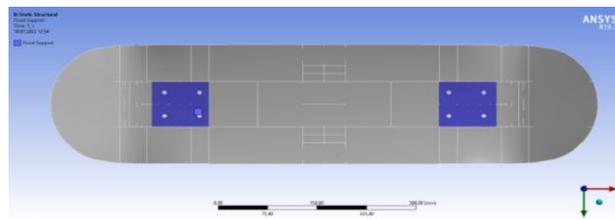


Рис. 6. Закрепление модели

После закрепления наносим область приложения нагрузки (рис. 7).

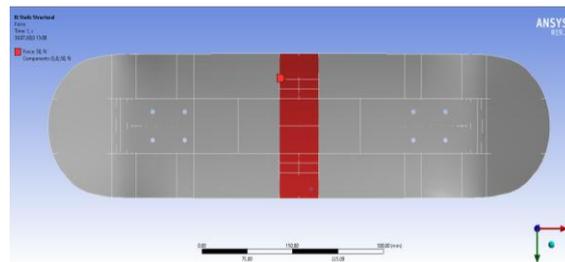
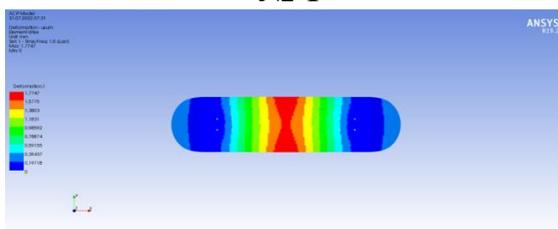


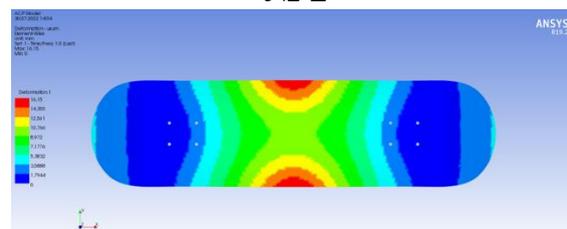
Рис. 7. Приложения нагрузки

Для расчета применялись стандартные критерии прочности для подобных композитных материалов: критерий максимальных деформаций и критерий максимальных напряжений.

№ 1



№ 2



Из проведенного расчета видим, что схема укладки в расчетном случае № 2 не выдержала требуемой нагрузки (125 кг) и подверглась частичному разрушению.

Схема укладки в расчетном случае № 1 выдержала все нагрузки при этом запас прочности изделия составил более 90%, что полностью удовлетворяет конкурсному заданию. Для изготовления изделия выбираем расчетный случай № 1.

Список источников

1. Соколов И.И., Раскутин А.Е. Углепластики и стеклопластики нового поколения // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2013. №4. Ст. 09.

2. Старцев В.О., Махоньков А.Ю., Котова Е.А. Механические свойства и влагостойкость ПКМ с повреждениями // Авиационные материалы и технологии. 2015. №S1 (38). С. 49-55.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ НАНОЧАСТИЦ ZnO

Филиппов Д.Д., Ясная М.А., Тараванов М.А., Пирогов М.А., Михо Н.С.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Блинов А.В.

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

В статье представлен метод получения наночастиц оксида цинка и изучение влияния скорости перемешивания на их микроструктуру. Наночастицы оксида цинка получали золь-гель методом. Микроструктуру поверхности исследовали методом сканирующей электронной микроскопии. В ходе исследований установлено, что скорость перемешивания значительно влияет на морфологию наночастиц оксида цинка. Установлено, что для формирования частиц с наименьшим радиусом, оптимальным диапазоном скорости перемешивания является область от 18000 до 23000 об/мин.

Ключевые слова: наночастицы оксид цинка, скорость перемешивания, сканирующая электронная микроскопия, микроструктура

На сегодняшний день наноразмерные материалы, которые обладают кардинально новыми свойствами, вызывают глубокий интерес со стороны ученых для исследования и использования в различных областях науки и техники ввиду их низкой токсичности и биодоступности [1, 2]. Среди металлов можно выделить наночастицы цинка (Zn), обладающие ярко выраженными антибактериальными свойствами [3,4]. Наночастицы оксида цинка (ZnO) нашли широкое применение в пищевой промышленности для изготовления пищевых пленок, в косметической промышленности – для производства солнцезащитных кремов и в фармацевтической – для разработки мазей, а также антимикробных и противогрибковых средств [5].

Ввиду перспективного применения данного материала целью исследования стало изучение влияния скорости перемешивания на микроструктуру наночастиц оксида цинка.

Наночастицы оксида цинка получали золь-гель методом в водной среде. В качестве источника цинка использовали ацетат цинка ($Zn(CH_3COO)_2$). На первом этапе готовили раствор ацетата цинка (0,2 моль/л) в дистиллированной воде. Затем по каплям добавляли 12,5%-ный водный раствор аммиака к раствору ацетата цинка при интенсивном перемешивании (от 3000 до 23000 об/мин) до $pH = 8$. Затем троекратно отмывали образцы методом центрифугирования дистиллированной водой. После этого сушили гель при температуре $80^\circ C$ в течение суток.

У полученных образцов исследовали микроструктуру поверхности методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на приборе *Mira-LMH* (производство «*Tescan*», Чешская Республика). Микрофотографии полученных образцов представлены на рис. 1.

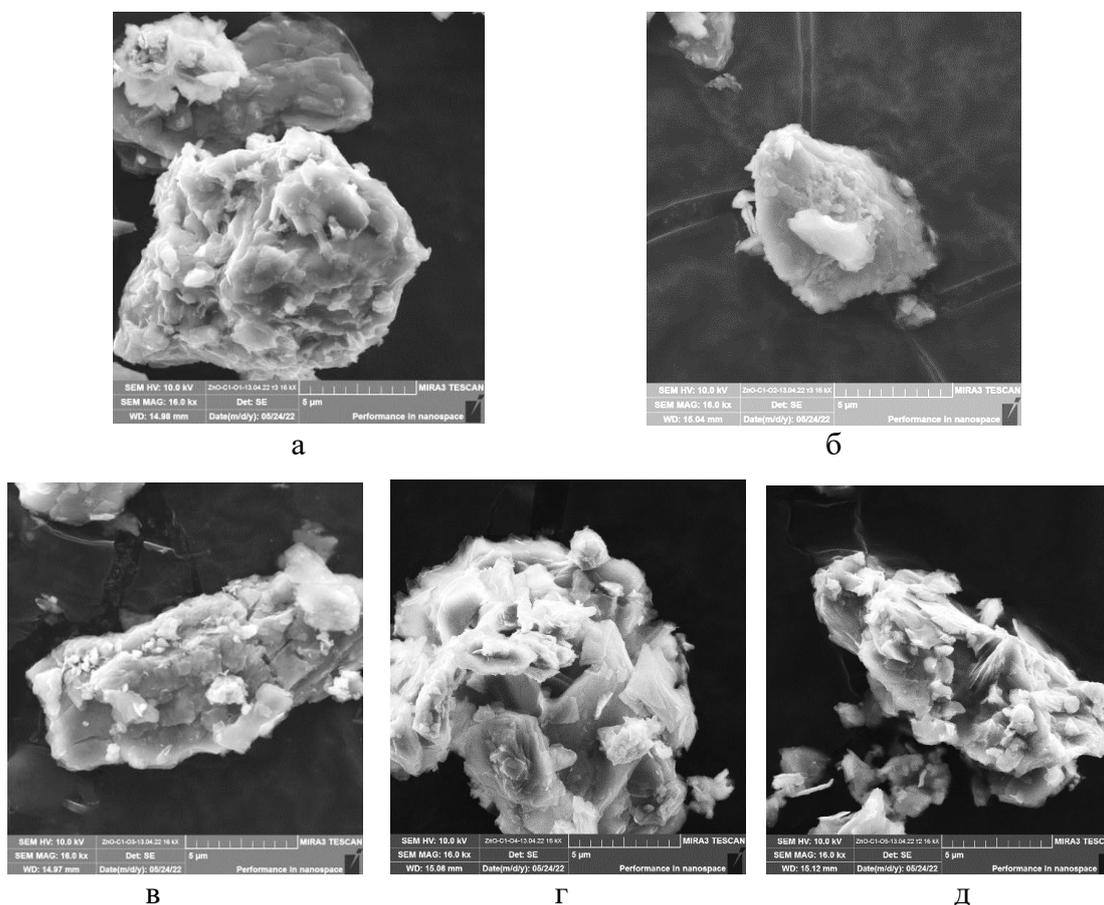


Рис. 1. СЭМ-микрофотографии наночастиц ZnO , полученных при перемешивании со скоростью а) 3000 об/мин; б) 8000 об/мин; в) 13000 об/мин; г) 18000 об/мин; д) 23000 об/мин

Анализ микрофотографий показал, что поверхность наночастиц ZnO всех образцов представлена крупными агрегатами с размерами от 4 до 8 мкм. В свою очередь, эти скопления состоят из мелких частиц с размерами

от 40 до 150 нм. Так, наночастицы в образцах а, б и в имеют неправильную форму, диаметр которых лежит в диапазоне 100-150 нм. При увеличении скорости перемешивания до 18000 об/мин форма наночастиц меняется и их поверхность представляет собой пластинчатые структуры с размерами от 40 до 80 нм.

Таким образом, можно заключить, что скорость перемешивания значительно влияет на морфологию наночастиц оксида цинка. Установлено, что для формирования частиц с наименьшим радиусом, оптимальным диапазоном скорости перемешивания является область от 18000 до 23000 об/мин.

В дальнейшем планируется провести исследование медико-биологических свойств полученных образцов.

Список источников

1. Conte M., Prosini P. P., Passerini S. Overview of energy/hydrogen storage: state-of-the-art of the technologies and prospects for nanomaterials // Materials Science and Engineering: B. – 2004. – Т. 108. – №. 1-2. – С. 2-8.
2. Huang Y. et al. Current applications and future prospects of nanomaterials in tumor therapy // International journal of nanomedicine. – 2017. – Т. 12. – С. 1815.
3. Espitia P. J. P. et al. Zinc oxide nanoparticles: synthesis, antimicrobial activity and food packaging applications // Food and bioprocess technology. – 2012. – Т. 5. – С. 1447-1464.
4. Blinov A. V. et al. Synthesis and Characterization of Zinc Oxide Nanoparticles Stabilized with Biopolymers for Application in Wound-Healing Mixed Gels // Gels. – 2023. – Т. 9. – №. 1. – С. 57.
5. Блинова А. А. и др. Разработка технологии получения мазевой композиции на основе коллоидного оксида цинка для ветеринарии // Сельскохозяйственный журнал. – 2022. – №. 1 (15). – С. 30-38.

УСИЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Шевцов А.А.

Научный руководитель: Глухова Л.Р.

*Орловский государственный аграрный университет
им. Н.В. Парахина, г. Орёл*

Композитные материалы – это материалы, состоящие из двух или более различных компонентов, которые соединяются таким образом, что сохраняют свои индивидуальные свойства и образуют новый материал с улучшенными характеристиками. Композитные материалы состоят из матрицы и наполнителя. Матрица – это основа, которая придает форму и связывает наполнитель. Наполнитель – это частицы или волокна, кото-

рые усиливают матрицу и повышают ее прочность, жесткость, тепло- и звукоизоляцию и другие свойства.

Ключевые слова: композитные материалы, строительство, армирование, волокна, прочность

Композитные материалы – это материалы, состоящие из двух или более различных компонентов, которые соединяются таким образом, что сохраняют свои индивидуальные свойства и образуют новый материал с улучшенными характеристиками. Композитные материалы состоят из матрицы и наполнителя. Матрица – это основа, которая придает форму и связывает наполнитель. Наполнитель – это частицы или волокна, которые усиливают матрицу и повышают ее прочность, жесткость, тепло- и звукоизоляцию и другие свойства.

Усиление строительных конструкций композитными материалами может быть необходимо по разным причинам, например при износе или повреждении конструкций в процессе эксплуатации; изменение нагрузок или функционального назначения объекта; повышение требований к сейсмостойкости или огнестойкости конструкций; устранение дефектов или ошибок проектирования, или строительства.

Существуют различные методы и технологии усиления строительных конструкций композитными материалами: нанесение композитных ламинатов на поверхность конструкций; обвязка или обертывание конструкций композитными бандажами или тканями; введение композитных арматурных стержней в бетонную матрицу; заполнение трещин или пустот в конструкциях композитными смолами или растворами.

При выборе метода и материала для усиления строительных конструкций необходимо учитывать ряд факторов, таких как: тип и состояние усиливаемой конструкции; характер и величина дополнительной нагрузки; условия эксплуатации и воздействия окружающей среды; экономическая целесообразность и эстетический эффект [1].

Применение композитных материалов при усилении строительных конструкций имеет ряд преимуществ перед традиционными методами:

- возможность увеличения несущей способности и жесткости конструкций без значительного увеличения их массы и размеров;
- возможность выполнения работ без демонтажа или остановки эксплуатации объекта;
- возможность применения различных видов композитных материалов в зависимости от требуемых свойств и характеристик;
- возможность контроля качества и надежности усиления с помощью неразрушающих методов

Композитные материалы широко применяются в различных отраслях промышленности, в том числе в строительстве. Строительные композиты могут быть разделены на несколько видов в зависимости от типа матрицы и наполнителя:

Бетоны – композиты на основе цементной или полимерной матрицы и различных наполнителей, таких как песок, щебень, гравий, стекло-, базальтовые или углеродные волокна и другие. Бетоны обладают высокой прочностью, долговечностью, морозостойкостью и огнестойкостью. Бетоны используются для возведения фундаментов, стен, перекрытий, колонн, балок и других конструкций.

Органопластические композиты – композиты на основе полимерной матрицы (смолы) и органических наполнителей (волокон), таких как древесина, хлопок, лен, шерсть и другие. Органопластические композиты легкие, гибкие, устойчивые к коррозии и биологическому разрушению. Органопластические композиты используются для изготовления дверей, окон, мебели, облицовочных панелей и других элементов интерьера и экстерьера.

Стеклопластики – композиты на основе полимерной матрицы (смолы) и стеклянных волокон. Стеклопластики обладают высокой прочностью, жесткостью, устойчивостью к коррозии и агрессивным средам. Стеклопластики используются для изготовления трубопроводов, резервуаров, кровельных материалов, фасадных панелей и других конструкций.

Углепластики – композиты на основе полимерной матрицы (смолы) и углеродных волокон. Углепластики обладают высочайшей прочностью, жесткостью, легкостью и теплопроводностью. Углепластики используются для изготовления легких и прочных конструкций, таких как мосты, плотины, антенны, крылья самолетов и другие.

Текстолиты – композиты на основе фенольной или эпоксидной смолы и бумажного или тканевого наполнителя. Текстолиты обладают хорошей диэлектрической проницаемостью, механической прочностью и термостойкостью. Текстолиты используются для изготовления изоляционных материалов, печатных плат, деталей машин и приборов [2].

Композитные материалы имеют ряд преимуществ перед традиционными строительными материалами, такими как:

Высокая прочность и жесткость при низком удельном весе. Композитные материалы могут выдерживать большие нагрузки без деформации и разрушения. Это позволяет снизить массу и размеры конструкций, а также уменьшить расход материала и транспортные затраты.

Высокая долговечность и стабильность свойств. Композитные материалы не подвержены коррозии, гниению, биологическому разрушению, ультрафиолетовому излучению и другим внешним воздействиям. Это обеспечивает им длительный срок службы без потери качества и необходимости ремонта или замены.

Высокая тепло- и звукоизоляция. Композитные материалы имеют низкую теплопроводность и высокую звукопоглощающую способность. Это способствует созданию комфортного микроклимата в помещениях и снижению шумового загрязнения окружающей среды.

Металлокомпозиты – композиты на основе металлической матрицы и металлических или неметаллических наполнителей. Металлокомпозиты обладают высокой теплостойкостью, износостойкостью, жаропрочностью и антикоррозийностью. Металлокомпозиты используются для изготовления лопаток турбин, деталей двигателей, крепежных элементов и других конструкций.

Таким образом, композитные материалы в строительстве являются перспективным направлением развития строительной индустрии, которое позволяет создавать высококачественные, надежные и эстетически привлекательные строительные объекты. Однако для более широкого внедрения композитных материалов в строительстве необходимо решить ряд проблем, связанных с их стоимостью, производством, стандартизацией и экологичностью [3].

Список источников

1. ГОСТ 31938-2012. «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций». Москва. Стандартинформ, 2006.
2. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования.
3. Кракович И.А. Обзор композитных материалов для усиления железобетонных конструкций // Молодой ученый. 2020. № 20 (310). С. 115-117. URL: <https://moluch.ru/archive/310/70074/> (дата обращения: 13.05.2023).

ИННОВАЦИОННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ, СПОСОБНЫЙ ЗАМЕНИТЬ ТРАДИЦИОННУЮ АРМАТУРУ

Шевцова А.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Алибекова И. В.

*Орловский государственный аграрный университет
им. Н.В. Парахина, г. Орёл*

В данной статье рассматривается совершенно новый строительный материал – конопляная арматура, ее особенности и преимущества по сравнению с обычной стальной арматурой.

Ключевые слова: конопляная арматура, экологичный строительный материал, арматура из конопли, строительство

Строительная отрасль постоянно совершенствуется и появляются новые более усовершенствованные материалы, которые позволяют продлить срок эксплуатации зданий и сооружений, а также будут безопасны для окружающей среды. В скором времени в строительстве будут использоваться приоритетно материалы на основе природных компонентов и синтетические материалы, например, из углеродного волокна или высококачественного пластика.

Важной особенностью строительства является обеспечение прочности фундаментов, каркасов зданий. Оно связано с использованием арматуры. Арматурой называют стержни различной формы, сечения, металлические пряди и канаты, принимающие на себя часть возникающего в изделии напряжения, появляющегося в железобетонных элементах от собственного веса сооружений и внешних нагрузок. При производстве арматуры используют сталь или стеклопластик [1].

Американские ученые изобрели альтернативу стальной арматуре – арматуру из конопли. Как утверждают исследователи Политехнического института Ренсселера, данный материал имеет ряд преимуществ перед оригинальным изделием из стали. Основные преимущества – это отсутствие возникновения коррозии и сокращение выброса парниковых газов при строительстве [2].

Арматуру из конопли можно применять для поддержки бетонных конструкций, так же как сталь и другие виды арматуры, но при этом влияние на окружающую среду будет гораздо меньше. На это оказывает влияние материальный состав конопляной арматуры, а также её срока службы, который значительно больше, чем у обычной арматуры. В настоящее время ржавление стальной арматуры весьма увеличивает изнашиваемость зданий и сооружений, где она используется, что уменьшает их срок эксплуатации. Кроме того, исследователи утверждают, что стальная арматура обладает сравнительно низким количеством воплощенной энергии, в отличие от конопляной арматуры.

Использование конопляной арматуры в строительных проектах особенно хорошо подходит для зданий и сооружений, расположенных в прибрежных районах или высокогорных районах, где традиционная стальная арматура подвержена коррозии. Кроме того, конопляная арматура может использоваться в проектах, где снижение веса является важным фактором, например, при строительстве легких конструкций или в проектах, где транспортные расходы являются важным фактором.

Арматура из конопли, также известная как композитная арматура из полимера, армированного конопляным волокном (HFRP), изготавливается путем объединения волокон конопли с матрицей из полимерной смолы. Процесс обычно включает следующие этапы:

1. Волокна конопли собирают с завода и обрабатывают для удаления любых примесей.

2. Затем волокна смешивают с полимерной смолой, такой как полиэфир или эпоксидная смола, которая действует как связующее вещество.

3. Затем из смеси формируют длинные тонкие стержни с помощью процесса пултрузии, когда материал протягивается через матрицу для придания ему однородной формы.

4. Затем стержни обрезаются до нужной длины и диаметра для создания арматурного стержня.

При изготовлении конопляной арматуры используется промышленная конопля, содержащая незначительное количество психотропного тетрагидроканнабинола, что никак не влияет на живые организмы. Конопля – это быстрорастущий и возобновляемый ресурс, для выращивания которого требуется минимальное количество воды и удобрений. Кроме того, он имеет прочные натуральные волокна, устойчивые к вредителям и устойчивые к суровым погодным условиям. Это делает его очень устойчивым и экологически чистым материалом, который можно использовать в самых разных областях. Кроме того, конопля – это одно из самых поглощающих углекислый газ растений в мире.

Кроме этого, разработчики также создали устройство, которое производит арматуры из конопли. Оно устанавливается на базу небольшого грузового автомобиля или прицепную тележку. Устройство оснащено бобиной с веревкой требуемого диаметра и кручения. Далее в специальной камере – станке с использованием цифровой программы происходит формовка изделий заданной длины и нужной формой изгиба. То есть, производство арматуры происходит в конкретном месте и строго по запросу строителей [3]. Такой строительный материал на основе конопли может применяться для возведения скелетных каркасов в обычных бетонных зданиях для обеспечения повышенной прочности на растяжение/сжатие, которой не хватает традиционным бетонным конструкциям.

Арматура из конопли – это очень устойчивая и экологически чистая альтернатива традиционной стальной арматуре, которая предлагает ряд преимуществ по сравнению с обычным аналогом. Это очень прочный материал, устойчивый к коррозии и выдерживающий воздействие суровых погодных условий. Кроме того, использование конопляной арматуры может помочь уменьшить углеродный след строительных проектов и способствовать устойчивому развитию.

Поскольку мир все больше внимания уделяет экологической устойчивости, использование конопляной арматуры в строительных проектах, вероятно, станет более распространенным. Используя этот инновационный и экологически чистый материал, строительные компании могут помочь уменьшить свое воздействие на окружающую среду, а также повысить эффективность и долговечность своих проектов. Она прекрасно заменит сталь в бетонных строениях либо различных инфраструктурных проектах, устраняя распространенные проблемы с коррозией и продлевая срок службы различных строительных конструкций. Кроме того, технология конопляной арматуры поможет уменьшить время строительства при сохранении его низкой стоимости. Несомненно, промышленная конопля имеет огромный потенциал для строительной отрасли.

Список источников

1. Арматура – это что такое: виды, сфера применения. URL: <https://pobetony.ru/armirovanie/armatura-eto/> (дата обращения: 14.03.2023).

2. Конопля может стать альтернативой стальной арматуре. URL: <https://zaecology.ru/raznoe/konoplya-mozhet-stat-alternativnoj-stalnoj-armature/> (дата обращения: 14.03.2023).

3. В США разработали альтернативу стальной арматуре из конопли // URL: <https://rossaprimavera.ru/news/9af8ede6> (дата обращения: 14.03.2023).

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТАНТАЛОСОДЕРЖАЩЕГО ПОКРЫТИЯ, СФОРМИРОВАННОГО НА ТИТАНЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ МИКРОЛЕГИРОВАНИЕМ И ИНДУКЦИОННОЙ ОБРАБОТКОЙ

Фомина М.А., Кошуро В.А., Фомин А.А.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

Танталосодержащее покрытие получено на титане электроискровым микролегированием и индукционной обработкой. Температурный диапазон индукционной обработки изменялся от 780 до 1150 °С при длительности воздействия 30–120 с. Танталовый слой при последующей индукционной обработке упрочнялся, при этом танталосодержащее покрытие характеризовалось наличием на поверхности наноразмерных зерен и пор.

Ключевые слова: индукционная обработка, электроискровое микролегирование, танталосодержащее покрытие

Тантал нашел широкое применение в металлургии (в качестве легирующей добавки), микроэлектронике и медицине [1–4]. Также тантал применяется в инструментальной промышленности в виде химических соединений, которые имеют высокую твердость, температуру плавления и превосходную химическую стойкость. В медицине тантал часто используется в виде пористых покрытий на поверхности титановых имплантатов или в виде пористых блоков с биоразлагаемым материалом для регенерации тканей.

Биосовместимые покрытия толщиной до 30 мкм с многокомпонентным составом, высокими параметрами шероховатости ($Ra = 3,7\text{--}6,1$ мкм) и твердости (7–11 ГПа) получают импульсным электроискровым нанесением [5]. Используемые электроды представляют собой композицию различных керамических материалов $TiC\text{--}CaO\text{--}Ti_3PO_{(x)}$ и $TiC\text{--}CaO\text{--}Ti_3PO_{(x)}\text{--}Ag_2Ca$ [20].

Имеются данные по формированию танталовых покрытий методом электроискрового (микро) легирования (ЭИЛ) и их последующей индукционно-термической обработке (ИТО) при фиксированном температурном диапазоне [6]. Полученные результаты отражают влияние рабочего тока от 1 до 2,5 А и достаточно продолжительной выдержки (до 300 с) при ИТО в

узком температурном интервале около 800°C . Полученные покрытия имеют высокую твердость, модуль упругости, необходимые химический и фазовый состав, а также морфологически гетерогенную поверхность.

Повышение механических характеристик поверхности, в частности твердости и износостойкости, важно для изделий, которые функционируют в агрессивных условиях (высокие механические напряжения, коррозионное влияние окружающей среды и другие факторы). Одним из вариантов решения указанной проблемы является использование комбинации нескольких методов для поверхностной модификации, в частности ИТО оксидирования [7]. Этот метод эффективен для упрочнения и повышения твердости не только для титана, но и для танталосодержащих покрытий [8]. Таким образом, в данном исследовании показано влияние основных параметров индукционной термообработки титановых изделий с нанесенными электроискровым методом покрытиями тантала на состав, структуру и микротвердость танталосодержащих покрытий.

Экспериментальные образцы представляли собой титановые диски (технический титан марки ВТ1-0). Поверхность образцов подвергалась шлифованию с использованием абразивной бумаги (зернистостью от Р600 до Р1000). В центральной части образцов сверлилось отверстие диаметром 3,5 мм, которое использовалось для закрепления с помощью винта на рабочей поверхности металлической пластины (рис. 1).

Электроискровое (микро) легирование (ЭИЛ) тантала на поверхность титановых образцов осуществлялось при постоянном токе, обеспечивающем формирование слоя толщиной $25\text{--}35\text{ мкм/см}^2 \cdot \text{мин}$. Танталовые покрытия были получены на титановых образцах с использованием лабораторной установки при рабочем токе – 5 А ($\pm 2\%$), длительности импульса – 100 мс (при амплитуде колебаний электрода около 0,5 мм), и энергии импульсов – 7,5–8,0 Дж. Рабочий электрод был изготовлен из проволоки тантала высокой частоты марки «ТВЧ» (99,95 вес.%) диаметром 3 мм, который крепился в держателе колебательной системы (осциллятора).

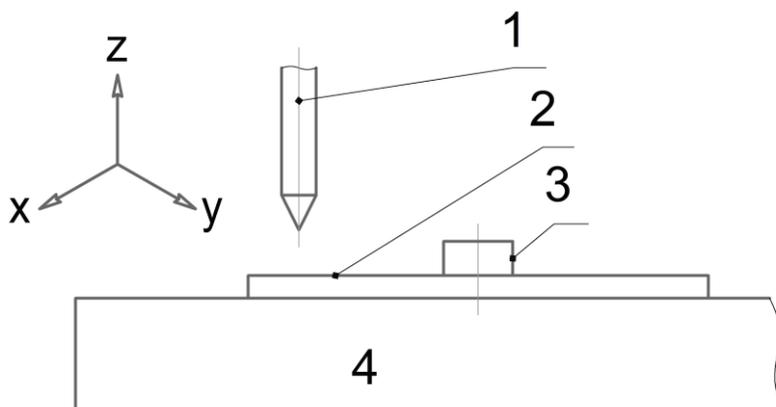


Рис. 1. Схема процесса электроискрового нанесения:
1 – танталовый электрод; 2 – титановый образец; 3 – крепежный винт;
4 – металлическая плита для размещения образца

Для точного позиционирования и перемещения (3D) танталового электрода относительно образца использовался аппаратный комплекс портального типа с числовым программным управлением (ЧПУ). Поверхность титанового образца подвергалась селективному нанесению покрытия тантала с полным заполнением кругового сегмента.

Многокомпонентное танталосодержащее покрытие получали методом ИТО при температуре от 800 ± 20 до 1125 ± 25 °С и при продолжительности обработки 30–120 с за счет использования установки индукционного нагрева «ВЧ-15А» (таблица 1). ИТО проводилась при следующих параметрах: ток индуктора 2,0–3,2 кА, частота тока индуктора 88–90 кГц.

Параметры ИТО титановых образцов с танталовыми покрытиями

Номер образца	Ток индуктора I_{IND}	Потребляемая электрическая мощность P	Температура процесса T	Выдержка t
–	кА	кВт	°С	с
0	–	–	–	–
1	2,0	0,16	780–820	30
2	2,0	0,16	780–820	120
3	2,6	0,22	950–970	30
4	2,6	0,22	950–970	120
5	2,9	0,26	1050–1080	30
6	2,9	0,26	1050–1080	120
7	3,2	0,29	1100–1150	30
8	3,2	0,29	1100–1150	120

Общий вид образцов с покрытиями и их макроструктура изучались с применением оптической микроскопии (микроскоп «МБС-10»). Морфология поверхности покрытий и химический состав изучались методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) в сочетании с энергодисперсионным рентгенофлуоресцентным анализом (ЭДРФА) на электронном микроскопе «MIRA II LMU». Средний размер нанозерен (D_G) и нанопор (D_P), плотность их распределения (ρ_G, ρ_P) по поверхности сплэта и открытая пористость (Π) определялись по изображениям РЭМ (с шириной кадра 3300 нм, площадью кадра $8,17 \text{ мкм}^2$, при увеличении $\times 100\,000$) с использованием программы «Metallograph».

Электроискровые процессы нанесения покрытия характеризуются импульсным воздействием электрического тока, в результате чего в межэлектродный промежуток разогревается до высокой температуры 8000–25000 К. Материалы электрода-инструмента (анод) и обрабатываемой поверхности изделия (катод) интенсивно разогреваются, расплавляются, а частицы наносимого материала (сплэты) очень быстро охлаждаются на поверхности изделия (рис. 2а–в).

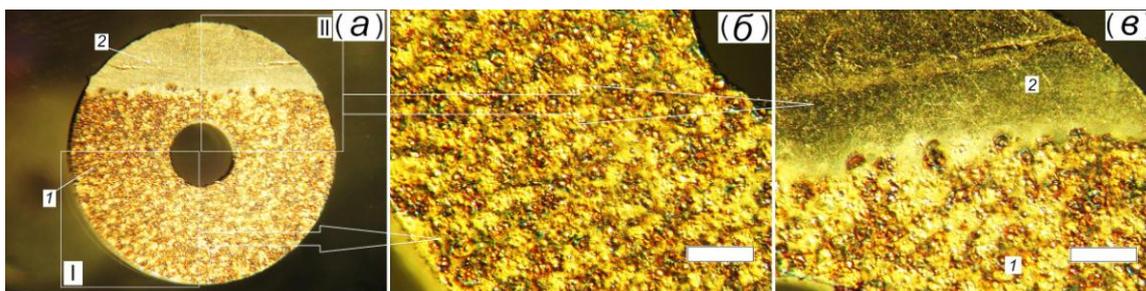


Рис. 2. Титановый образец 1 с электроискровым танталовым покрытием 2:
а – общий вид образца; б – сегмент образца «I» для исследования полученного покрытия; в – сегмент образца «II» с переходной область «основа – покрытие», используемый для сравнительного макроанализа (на фрагментах б,в метка 0,5 мм)

Нанесение танталовых сплэтов сопровождалось изменением цвета исходного металла. Появление золотистого и коричневого оттенков на поверхности, обычно, обусловлено взаимодействием нагретого металла с окружающим воздухом.

При воздействии ИТО поверхность покрытия становилась светло-, темно-серой и желто-белой в зависимости от температуры и выдержки процесса. При высокой температуре $T = 1050\text{--}1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ и наибольшей выдержке на поверхности покрытий формировался толстый слой окалины, который растрескивался. На свободных от покрытия участках данная окалина самопроизвольно разрушалась.

Изучение морфологии электроискровых танталосодержащих покрытий при большем увеличении показало наличие большого числа микро-трещин. При последующей ИТО в низкотемпературном интервале $T = 780\text{--}970\text{ }^{\circ}\text{C}$ и при минимальной продолжительности выдержки $t = 30\text{ с}$ морфология покрытий практически не изменялась и трещины сохранялись. При большем увеличении наблюдалось формирование на поверхности покрытий вторичных структур с субмикрометровыми зёрнами.

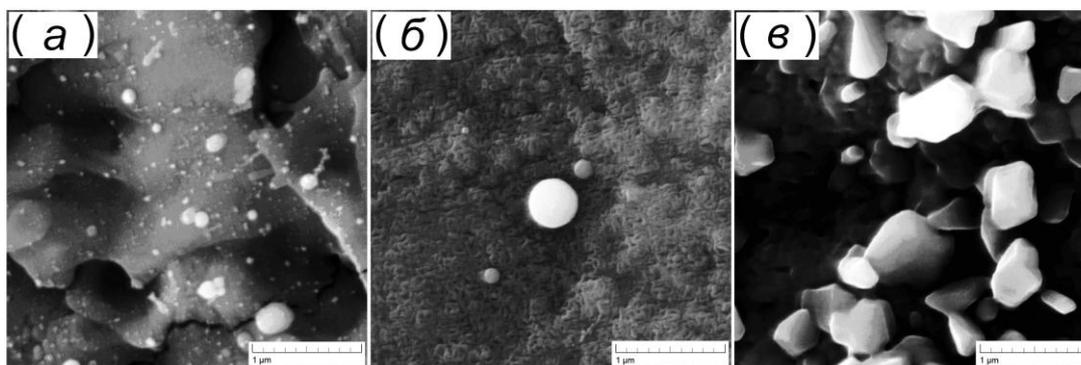


Рис. 3. Характерная морфология наноразмерной структуры электроискровых танталосодержащих покрытий: а – исходное покрытие без ИТО; б – $T = 780\text{--}820\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t = 30\text{ с}$; в – $T = 950\text{--}970\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t = 30\text{ с}$ (фрагменты а, б, в при увеличении $\times 100000$)

Скорость охлаждения микрочастиц электроискровых покрытий достигала больших значений $10^5\text{--}10^6\text{ К/с}$. Данные условия охлаждения спо-

способствовали образованию квазиаморфного состояния или наноразмерной структуры приповерхностного слоя сплэтов, что было характерно для газотермического нанесения покрытий (рис. 3а). Низкотемпературная ИТО способствовала росту наноразмерных частиц и формированию четких межзеренных границ (рис. 3б).

Последующее увеличение температуры и выдержки при ИТО способствовало агломерации наноразмерных частиц и росту отдельных равноосных (призматических) и игольчатых кристаллов (рис. 3в). Анализ размерных параметров нанозерен и наноразмерных пор позволил определить стадии роста элементов структуры и интенсивного образования дефектов (рис. 4).

Увеличение среднего размера нанозерен D_G сопровождалось ростом числа пористых образований D_P и снижением их числа на единицу площади ρ_P при ИТО в диапазоне температуры 950–1150 °С. Таким образом, наноразмерные параметры зерен и пор наблюдались в низкотемпературной области ИТО и при малой выдержке.

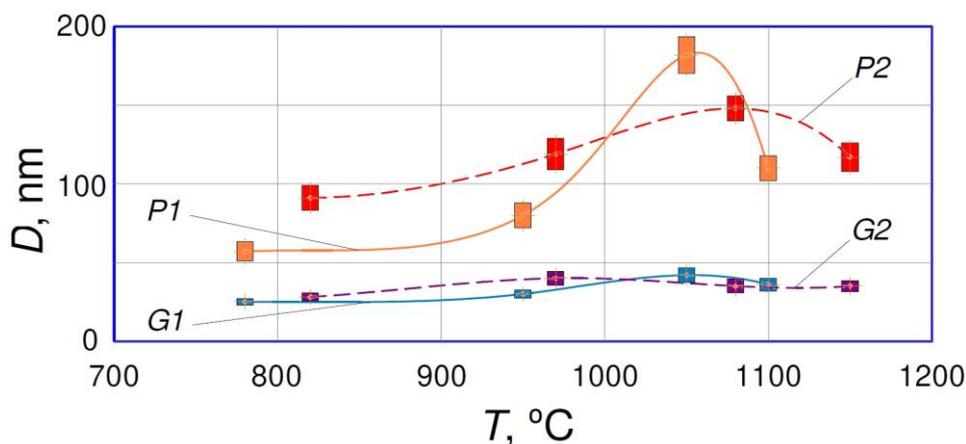


Рис. 4. Зависимости изменения среднего размера наночастиц D на поверхности сплэтов танталосодержащих покрытий от температуры ИТО: $G1, P1$ – средний размер нанозерен D_G и нанопор D_P при длительности выдержки $t = 30$ с; $G2, P2$ – средний размер нанозерен D_G и нанопор D_P при длительности выдержки $t = 120$ с

Электроискровые танталосодержащие покрытия в своем составе имели тантал $C[Ta]$ – 1,38 ат.%, кислород $C[O]$ – 33,99 ат.%, незначительное содержание азота $C[N]$ – 7,4 ат.%, а также титан $C[Ti]$ – 57,23 ат.%. Перенос тантала на поверхность титана сопровождался его перемешиванием с материалом основы, а также химическим взаимодействием с газами в составе воздуха, в частности кислородом и азотом.

Таким образом, снижение концентрации тантала $C[Ta]$ при увеличении температуры и выдержки связано с окислением, как самого танталосодержащего слоя, так и титановой основы. Согласно известным данным и ранее выполненным исследованиям, в структуре покрытия формировался монооксид тантала и фаза рутила. Также при более высокой температуре вероятно появление пентаоксида тантала.

Таким образом, танталосодержащие покрытия получены на поверхности образцов технического титана методом электроискрового нанесения и последующей ИТО при температуре от 780–820 до 1100–1150 °С и выдержке от 30 до 120 с. Электроискровые покрытия, обработанные при температуре $T = 950\text{--}970$ °С и короткой выдержке $t = 30$ с, характеризовались формированием упрочненной структуры (отсутствовало самопроизвольное разрушение и отслоение окислы) с содержанием тантала около $4,08 \pm 1,61$ ат.% и кислорода около $60,33 \pm 1,73$ ат.%. Полученные покрытия имели в составе поверхности наноразмерные зерна (30 ± 5 нм) и поры (80 ± 16 нм). Данная комбинация упрочненной титановой основы с покрытием имеет широкие перспективы применения при изготовлении имплантируемых изделий медицины.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-79-10040, <https://rscf.ru/project/18-79-10040/>.

Список источников

1. 6 – Metals for joint replacement / Y.T. Konttinen, I. Milošev, R. Trebše, P. Rantanen, R. Linden, V.-M. Tiainen, S. Virtanen. – Cambridge: Woodhead Publishing, Woodhead Publishing Series in Biomaterials, Joint Replacement Technology, 2008. – pp. 115–162.
2. Porous tantalum structures for bone implants: fabrication, mechanical and in vitro biological properties / V.K. Balla, S. Bodhak, S. Bose and etc. // Acta Biomaterialia. 2010. Vol. 6. No. 8. pp. 3349–3359.
3. Direct laser processing of a tantalum coating on titanium for bone replacement structures / V.K. Balla, S. Banerjee, S. Bose and etc. // Acta Biomaterialia. 2010. Vol. 6. No. 6. pp. 2329–2334.
4. Characteristics of bone ingrowth and interface mechanics of a new porous tantalum biomaterial / J.D. Bobyn, G.J. Stackpool, S.A. Hacking and etc. // The Journal of bone and joint surgery. British volume. 1999. Vol. 81-B. No. 5. pp. 907–914.
5. Structural transformations in $\text{TiC-CaO-Ti}_3\text{PO}_{(x)}\text{-(Ag}_2\text{Ca)}$ electrodes and biocompatible TiCaPCO(N)-(Ag) coatings during pulsed electrospark deposition / A.N. Sheveyko, O.S. Manakova, E.I. Zamulaeva and etc. // Surface and Coatings Technology. 2016. Vol. 302. pp. 327–335.
6. Metal oxide (Ti,Ta)-(TiO_2 ,TaO) coatings produced on titanium using electrospark alloying and modified by induction heat treatment / V. Koshuro, M. Fomina, A. Fomin and etc. // Composite Structures. 2018. Vol. 196. pp. 1–7.
7. Fomin A. Superhard titania coatings produced on titanium using induction heat treatment // Ceramics International. 2019. Vol. 45. No. 7. pp. 8258–8264.
8. Functionally graded “Ti-base+(Ta, Ta₂O₅)-coatings” structure and its production using induction heat treatment / M. Fomina, V. Koshuro, A. Shumilin and etc. // Composite Structures. 2020. Vol. 234. pp. 111688.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ Mn-Zn ФЕРРИТОВ ОТ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Хабиров Р.Р., Масс А.В.

Научный руководитель: к.т.н. Кузьмин Р.И.

*Новосибирский государственный технический
университет, г. Новосибирск*

Изучено влияние атмосферы при нагреве под спекание и температуры ферритизации на структуру и свойства Mn-Zn ферритов. Наиболее высокие значения плотности, начальной магнитной проницаемости, низкая открытая пористость получены при спекании с нагревом в вакууме с ферритизацией при 980° С.

Ключевые слова: Mn-Zn ферриты, спекание, ферритизация

Mn-Zn ферриты, как магнитомягкие материалы с высокой магнитной проницаемостью и низкими потерями, представляют интерес для ученых, так как их структура и свойства очень чувствительны к режимам изготовления и составу. Так, важной технологической проблемой является неустойчивость феррита марганца на воздухе при температурах ниже 1000° С [1]. Для получения однофазного Mn-Zn феррита охлаждение при спекании проводят в среде с пониженным парциальным давлением кислорода. Проведено большое количество исследований влияния атмосферы спекания при выдержке [2, 3] и охлаждении [4, 5] на структуру и свойства Mn-Zn ферритов. Тем не менее сублимация цинка, изменение валентностей марганца и железа и другие важные процессы, значительно влияющие на кинетику спекания, происходят и на этапе нагрева.

Другим важным этапом изготовления Mn-Zn ферритов является ферритизация. Фазовый и гранулометрический состав ферритизированного порошка оказывает влияние на ход процесса спекания, что отражается на структуре и свойствах материала. В связи с этим, целью данной работы является исследование влияния режимов термической обработки на структуры и свойства Mn-Zn ферритов.

Для изготовления марганец-цинковых ферритов состава 51,8 мол. % Fe₂O₃, 11,6 мол. % ZnO, 36,6 мол. % MnO были использованы высокочистые порошки Fe₂O₃, ZnO, MnCO₃. Материалы были подготовлены по керамической технологии: смешивание в барабанной шаровой мельнице, ферритизация на воздухе, мокрый помол в шаровой мельнице, грануляция выпариванием дисперсионной среды, одноосное прессование кольцевых сердечников, спекание в вакуумной трубчатой печи (минимальное остаточное давление воздуха 20 Па).

В табл. 1 представлены режимы ферритизации и спекания экспериментальных ферритов.

Режимы ферритизации и спекания

Номер образца	Ферритизация		Спекание			
	Т, °	Выдержка, ч	Т, °	Атмосфера		
				нагрев	выдержка	охлаждение
980_воздух	980	6	1265	Воздух	Воздух	Вакуум
980_вакуум	980	6	1265	Вакуум	Воздух	Вакуум
600_воздух	600	2	1265	Воздух	Воздух	Вакуум
600_вакуум	600	2	1265	Вакуум	Воздух	Вакуум

Исследована микроструктура спеченных ферритов, методом гидростатического взвешивания измерены плотность и открытая пористость. Начальная магнитная проницаемость определена с использованием LCR-метра по значениям индуктивности на сердечниках с обмоткой.

На рисунке представлена микроструктура спеченных ферритов.

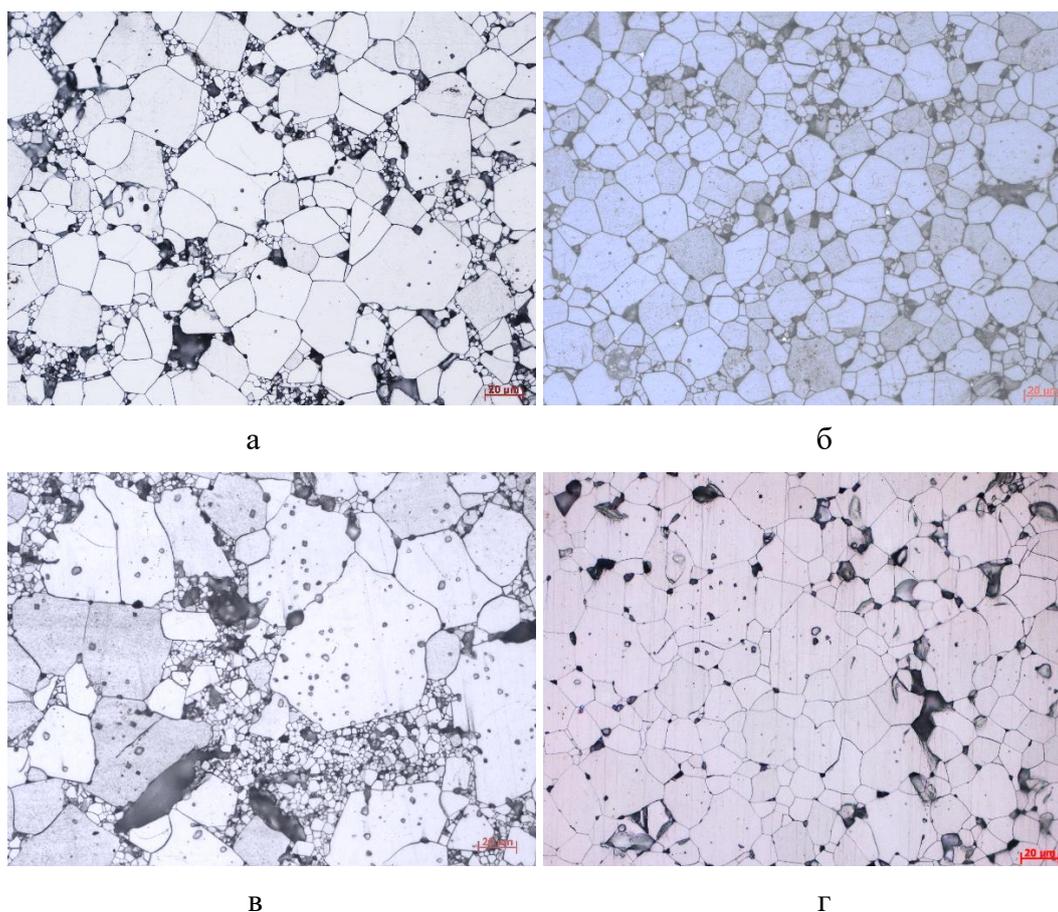


Рис. 1. Микроструктура ферритов: а – 980_воздух, б – 980_вакуум, в – 600_воздух, г – 600_вакуум

Свойства спеченных ферритов приведены в табл. 2.

Свойства экспериментальных материалов

Образец	D ₁₀ , мкм	D ₅₀ , мкм	D ₉₀ , мкм	Средний размер зерен, мкм	ρ, г/см ³	Открытая пористость, %	Начальная магнитная проницаемость μ _i
980_воздух	1,55	2,92	9,86	4,84	4,81	1,04	770
980_вакуум	2,26	6,39	17,95	8,45	4,86	0,12	1030
600_воздух	1,46	2,69	5,11	3,10	4,73	3,34	390
600_вакуум	2,07	6,68	16,77	8,23	4,74	2,57	140

Результаты исследования параметров микроструктуры показали, что нагрев в вакууме способствует формированию крупнозернистой структуры. При этом увеличивается и средний размер зёрен, и параметры D₁₀, D₅₀, D₉₀. В случае ферритизации при 980° С нагрев в вакууме способствует росту плотности, снижению пористости, что, приводит к возрастанию μ_i. Причина ускоренного роста зёрен может быть связана с интенсивным испарением цинка, который более активно сублимируется в отсутствие кислорода. Сублимация цинка приводит к формированию катионных вакансий, которые способствуют диффузии и движению границ зёрен. Активный рост зёрен приводит к интенсивному зарастанию пор, что отражается на плотности и пористости материалов.

В случае ферритизации при 600° С увеличение среднего размера зёрен не привело к снижению открытой пористости, росту плотности и магнитной проницаемости. При 600° С фаза феррита до спекания не образуется. Образование феррита начинает происходить только в процессе спекания, что препятствует процессам залечивания пор до конца формирования феррита. Это может быть причиной низкой плотности, высокой открытой пористости и низкой μ_i ферритов данной серии.

По результатам работы можно сделать вывод, что наиболее оптимальным режимом термической обработки Mn-Zn ферритов является ферритизация при 980° С. При этом нагрев в вакууме способствует увеличению среднего размера зёрен и росту μ_i. Однако активная сублимация цинка в вакууме приводит к изменению состава феррита, что необходимо учитывать при выборе состава и режимов технологического процесса.

Исследования проведены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов» НГТУ (№ 13.ЦКП.21.0034, 075-15-2021-698).

Список источников

1. Третьяков Д., Олейников Н.Н., Граник В.А. Физико-химические основы термической обработки ферритов. – М.: Изд-во Московского университета, 1973. – 200 с.

2. MnZn power ferrite with high Bs and low core loss / D. Liu, X. Chen, Y. Ying, L. Zhang, W. Li, L. Jiang // Ceram. Int. – 2016. – V. 42. – P. 9152-9156.

3. Process and material parameters towards the design of fast firing cycles for high permeability MnZn ferrites / V. Tsakaloudi, G. Kogias, V.T. Zaspalis // J. Alloys Comp. – 2014. – V. 588. – P. 222-227.

4. Oxygen partial pressures of Mn-Zn ferrites / R. Morineau, M. Paulus // Phys. Status Solidi. – 1973. – V. 20. – P. 373-380.

5. Effect of oxygen partial pressure control during sintering on the power loss in Mn-Zn ferrites / J. Topfer, S. Gablenz // Proc. 9 Int. Conf. Ferrites (ICF 9). – 2005. – P. 257-262.

СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛТСС-СТРУКТУР

Хайруллова Р.М.

Научный руководитель: д.х.н., профессор Бузаева М.В.

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

В статье рассмотрены преимущества и недостатки, а также применение стеклокомпозитов для изготовления ЛТСС-структур.

Ключевые слова: ЛТСС-структуры, керамика, композиты

Низкотемпературная совместно обжигаемая керамика (Low Temperature Co-Fired Ceramic, ЛТСС) – керамика, смешанная со стёклами и обжигаемая при температуре 850 °С. На её основе создают многослойные платы для электроприборов в военной, ракетно-космической сферах, в медицине.

Благодаря относительно низким температурам спекания (у технологии высокотемпературной совместно обжигаемой керамики она составляет выше 1000 °С) в качестве проводящих элементов возможно применение нетугоплавких металлов: золота, серебра и платины [1,3].

Основу ЛТСС-структуры составляет стеклокерамический композиционный материал (рис. 1), в котором размещены металлические проводники, используемые в качестве печатной платы для чипов и в качестве антенн, что позволяет реализовать часть электроники внутри керамической пластины, а это уменьшает размер контуров более чем на 50% [2].

Процесс производства изделий из ЛТСС керамики заключается в создании специальной суспензии, включающей в себя керамический порошок, связующие и специальные добавки (например, пасты для создания проводимости: серебряные пасты для внутренних проводников, золотые для поверхности). Далее формируют ленту, которую впоследствии нарезают на листы, их совмещают, создают многослойные пластины и обжигают в несколько этапов согласно технологии производства, выбранной в соответствии с маркой стеклокерамического композита (рис. 2) [2, 3].

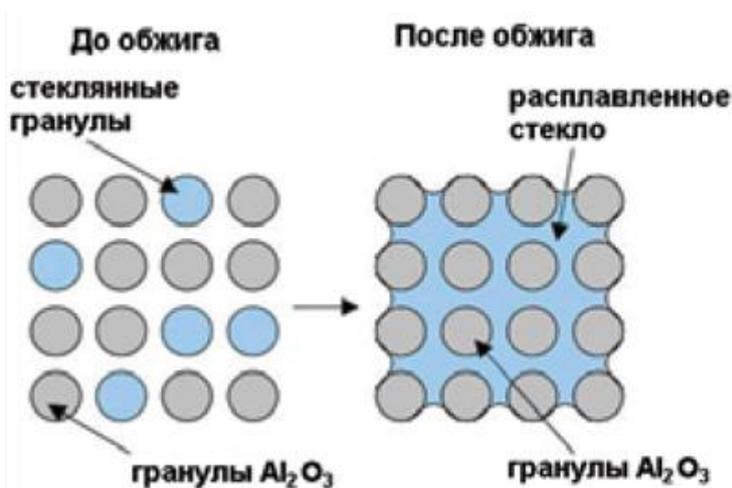


Рис. 1. Структура стеклокерамического композита, используемого в LTCC-структурах

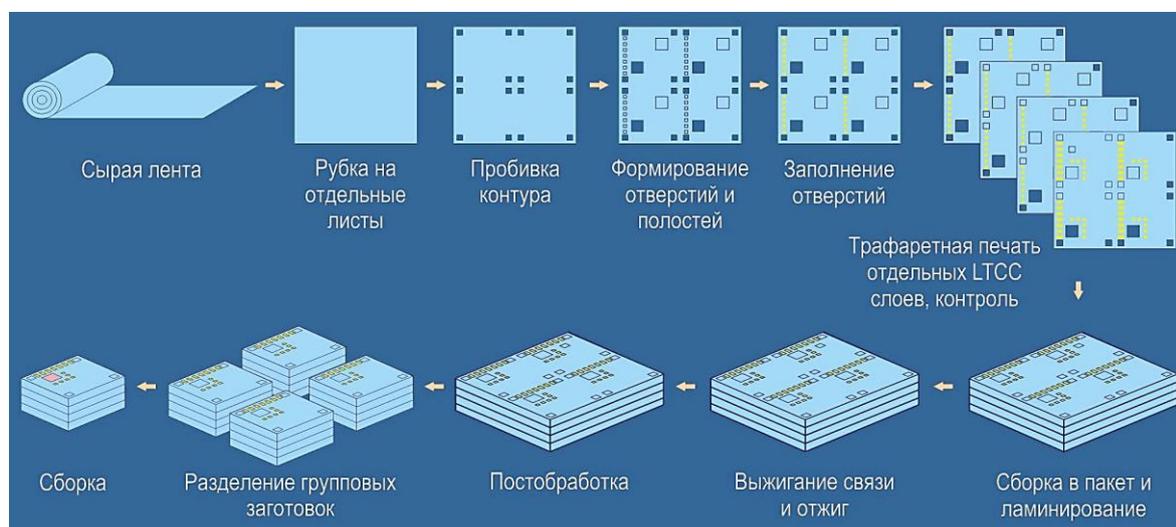


Рис. 2. Изготовление плат по технологии LTCC

Среди преимуществ стеклокерамических композитов важно отметить хорошие эластичные свойства, которые позволяют сохранять форму LTCC-структур, создавать отверстия различной формы для дальнейшего заполнения их металлизующими пастами и вырезать подложки требуемой формы [2]. Также к преимуществам относится относительно невысокая стоимость производства благодаря температуре спекания 850°C в воздушной атмосфере без использования специальных формовочных газов. Кроме того, у данных материалов хорошие показатели теплопроводности по сравнению с платами на основе органических материалов.

Недостатков у низкотемпературной керамики практически не выявлено.

Таким образом, можно сделать вывод, что стеклокерамические композиты имеют много преимуществ при отсутствии недостатков, а это открывает широкие возможности для применения стеклокерамических композиционных материалов в LTCC-структурах как в военной, так и гражданской сферах. Однако это не означает, что разработки остановлены, так,

имеется возможность улучшения технологического процесса, расширение области применения и дальнейшего совершенствования керамических пластин и LTCC-структур на их основе.

Список источников

1. Волощук Д. С., Анисимов В. В., Макаров Н. А. Керамические материалы на основе Al_2O_3 для LTCC-технологии // Стекло и керамика. 2022. Т. 95, № 12. С. 21 – 26. DOI: 10.14489/glc.2022.12.pp.021-026
2. Особенности и преимущества производства многослойных структур на основе керамики (LTCC, HTCC, MLCC): – <https://kit-e.ru/technologies/osobennosti-i-preimushhestva-proizvodstva-mnogoslojnyh-struktur-na-osnove-keramiki-ltcc-htcc-mlcc/> (дата обращения: 05.05.23)
3. Низкотемпературная совместно обжигаемая керамика (LTCC). Преимущества. Технология. Материалы: – https://ostec-materials.ru/knowledge-base/pub/detail/nizkotemperaturnaya-sovmestno-obzhigaemaya-keramika-ltcc-preimushchestva-tekhnologiya-materialy/э/?ELEMENT_CODE=nizkotemperaturnaya-sovmestno-obzhigaemaya-keramika-ltcc-preimushchestva-tekhnologiya-materialy&э%2F= (дата обращения: 05.05.23)

МОДЕРНИЗАЦИЯ КРАНОВО-МАНИПУЛЯТОРНОГО УСТРОЙСТВА НА БАЗАХ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧ ПО РАЗВИТИЮ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ

Хряков Д.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Нестеренко Г.А.

Омский государственный технический университет, г. Омск

В статье рассмотрено краново-манипуляторное устройство (КМУ). Целью научной работы заключается в модернизации данного устройства для более продуктивного использования. Поставлены следующие задачи: предложить многофункциональный манипулятор на базе грузовых автомобилей для упрощения различных работ в разных отраслях. В итоге должно быть предложено транспортное средство, которое систематически будет принимать участие в развитии различных отраслей Российской Федерации.

Ключевые слова: развитие узлов и механизмов транспорта, подвижность, развитие отраслей промышленности

Многие отрасли нуждаются в автомобильном транспорте для ускорения процессов по добыче, прокладке нефти, строительных материалов и даже в военных целях, а также во многих других отраслях.

Возьмем нефтегазовую и электроэнергетическую отрасль. Для улучшения функционирования этих важных направлений следует улучшить и транспорт, который используют в данных отраслях.

Предлагается модернизировать КМУ так, чтобы оно выполняло большой спектр задач в том или ином направлении. За основу возьмем два отечественных грузовых автомобиля Урал и КАМАЗ с штатным КМУ. Задача состоит в том, чтобы улучшить данное устройство, встроенное в автомобили, и сделать из него многофункциональный КМУ. Данный КМУ будет сменять свое навесное оборудование согласно поставленной задаче перед автомобилем. Например: навесное оборудование для обрезки веток, грейфер, захват и другое навесное оборудование, которое пригодится для тех или иных целей.

В качестве первого примера возьмем колесную базу грузового автомобиля Урал Next. Автомобиль будет иметь следующие характеристики: двигатель на модели 4320-6952-72Г38 – ЯМЗ-53642 (Евро-5) 285 л.с. и на модели 4320-6952-74Г38 – ЯМЗ-53602 (Евро-5) 312 л.с., с колесной формулой 6×6, односкатная ошиновка, грузоподъемностью шасси 12,5 т., топливными баками на 300 и 210 литров, с размером колес 425/85R21 и пневматической тормозной системой барабанного типа с АБС [1].



Урал Next с краново-манипуляторной установкой

Предлагается заменить стандартное КМУ на модернизированное новое многофункциональное КМУ. Если установить на автомобиль буровую установку, то можно выполнять широкий ряд для установки скважин для добычи нефти и газа. Также свободный кузов может перевозить строй материалы к месту строительства и заменив буровую установку на захват выгрузить данные материалы.

Рассмотрим второй вариант установки КМУ на грузовой автомобиль КАМАЗ. Транспортное средство будет представлять собой колесную базу КАМАЗ – 43118 модификации 73094-50, мощностью в 300 л.с. с колесной формулой 6х6 и экологическим классом евро – 5, передвигающимся на дизельном топливе, топливные баки рассчитаны на 210 и 350 л [2, 3].

Данный автомобиль можно использовать для прокладки электропровода по воздуху. Устанавливаем буровую установку, в кузов помещаем монтажную корзину и провода. Благодаря данному навесному оборудованию можно установить сам столб и протянуть провода.

Данные автомобили благодаря своему модернизированному КМУ выполняют поставленные задачи быстро. Данный КМУ лучше чем стандартный, так как для выполнения двух операций потребуется две единицы техники с нужным оборудованием, а данный КМУ вмещает в себя данное оборудование при использовании одной единицы техники.

В итоге было представлено два автомобиля с многофункциональным КМУ, которые могут выполнять большой спектр задач в нефтегазовой и электроэнергетической отраслях. Также данные автомобили могут участвовать и в других отраслях и развивать их потенциал.

Список источников

1. Урал 4320 Next с КМУ // Территория спецтехники: сайт. – URL: <https://tst-96.ru/katalog/bortovie-kmu/bortovoy-ural-s-kmu/ural-4320-next-s-kmu-v-nalichii-i-pod-zakaz/ural-4320-next-s-kmu-inman-it150/> (дата обращения: 30.04.2023)
2. КАМАЗ 43118 КМУ HRS-206 // КАМАЗ Market Омск: сайт. – URL: <https://kamaz.market/catalog/avtomobili-s-kmu/kamaz-43118-kmu-it-150-74271/> (дата обращения: 12.04.2023)
3. Нестеренко Г.А., Нестеренко И.С., Воробьев А.С. Машина разграждения на базе автомобиля ГАЗ 33027 // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 93-9. С. 109-111.

ВЛИЯНИЕ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ И ГЛИЦИНА НА ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ЖЕЛЕЗНЕНИЕ

Белоусов А.И.

Научный руководитель: к.х.н., доцент Ченцова Е.В.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В работе рассмотрено совместное действие поверхностно-активных лимонной кислоты и глицина на процессы в кислом растворе железнения на стальной основе в гальваностатическом режиме электролиза.

Ключевые слова: железнение, электролиз, лимонная кислота, глицин

Для повышения надежности и устойчивости работы оборудования и восстановления изношенных поверхностей широко используются сплавы на основе железа [1]. Легирование железа тугоплавкими металлами (Мо,

W) позволяет повысить твердость, жаростойкость, устойчивость к локальным видам коррозии [2]. Получение сплавов Fe-Mo представляет интерес с точки зрения их каталитических свойств к процессу электровыделения водорода, востребованному в водородной энергетике [3]. Совместное электроосаждение железа с тугоплавкими металлами, присутствующими в составе раствора в анионной форме, требует введения комплексообразователей, обеспечивающих устойчивость системы, например, цитрат-ионов. Как правило, растворы содержат компоненты, обеспечивающие электропроводность, поддержание pH раствора, ПАВ для придания заданных свойств покрытию. С целью повышения экономичности и экологической безопасности гальванического процесса стремятся к использованию в составе электролита многофункциональных добавок. Примером такой добавки может служить глицин, обладающий способностью образовывать комплексы с ионами металлов, адсорбироваться на поверхности электрода при катодной поляризации, выступать в роли буферной добавки [4].

В настоящей работе изучалось влияние соотношения компонентов раствора на процесс электроосаждения железа в гальваностатическом режиме электролиза.

Модельные электролиты содержали сульфат железа, хлорид калия, глицин (Gly), лимонную кислоту (Lim). Величина $\text{pH} = 2,85 \pm 0,05$ исследуемых растворов измерялась иономером И-160МП. Потенциал рабочего электрода (сталь 08КП) измерялся относительно 1 Н хлорид серебряного электрода сравнения. Электроосаждение железа из модельных электролитов осуществлялось в гальваностатическом режиме. Электрохимические исследования выполнены на потенциостате Р-30. Для определения выхода по току (ВТ) электроды взвешивались до и после осаждения покрытия на весах Pioneer PA64C с точностью до 0,0001 г.

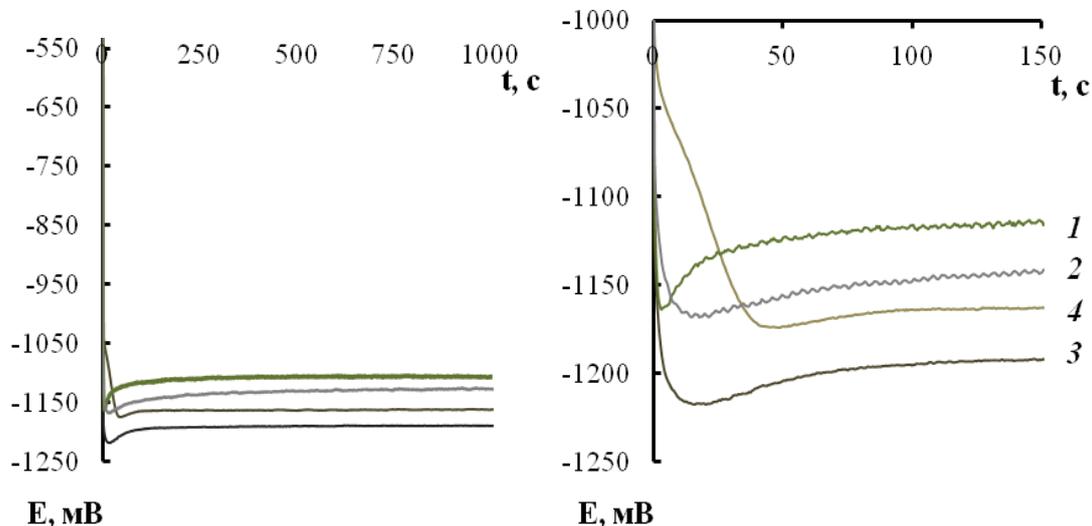
В исследованных растворах отмечается тенденция к росту поляризации с увеличением концентрации компонентов раствора (рис.), что может быть связано с процессами их сорбции или их производных, например, гидроксида железа, на поверхности рабочего электрода. Необходимо также учитывать участие сорбированных на стальной подложке глицина и лимонной кислоты в разряде ионов водорода и железа.

Для исследования характера процессов на стальном электроде провели расчет по начальным участкам E,t-кривых величины поляризационной ёмкости ($C_{\text{ПОЛ}}$): $C_{\text{ПОЛ}} = i \cdot \Delta t / \Delta E$, где i – плотность тока осаждения, А/см²; E – потенциал, В; t – время, с. С увеличением тока осаждения значение $C_{\text{ПОЛ}}$ повышается. Зависимость $C_{\text{ПОЛ}}$ от концентрации компонентов раствора незначительна (таблица).

По гальваностатическим кривым определили перенапряжение кристаллизации ($\eta_{\text{КР}}$) по разнице значений минимального на начальном участке и стационарного потенциала площадки хронопотенциограмм (рисунок).

Величина η_{KP} снижается при увеличении концентрации ионов металла и лимонной кислоты в электролите (таблица).

Выход по току образцов возрастает при повышении содержания ионов железа в растворе и тока электролиза, снижается в присутствии лимонной кислоты в растворе (таблица).



Хронопотенциограммы на стальном электроде при поляризации током 20 mA/cm^2 в растворах железнения состава: 1 – FeSO_4 0,5 М, KCl 0,5 М, Gly 0,25 М, Lim 0,25 М; 2 – FeSO_4 0,5 М, KCl 0,5 М, Gly 0,5 М, Lim 0,5 М; 3 – FeSO_4 1,0 М, KCl 1,0 М, Gly 0,25 М, Lim 0,25 М; 4 – FeSO_4 1,0 М, KCl 1,0 М, Gly 0,25 М, Lim 0,5 М

Влияние состава раствора на параметры процесса гальванического железнения

Состав раствора	$C_{\text{Пол}}$, мФ/см ²	BT, %	η_{KP} , В
FeSO_4 0,5 М, KCl 0,5 М, Gly 0,25 М, Lim 0,25 М	18,4	2,6	0,055
FeSO_4 0,5 М, KCl 0,5 М, Gly 0,5 М, Lim 0,5 М	18,6	1,8	0,040
FeSO_4 1,0 М, KCl 1,0 М, Gly 0,25 М, Lim 0,25 М	16,5	13,7	0,028
FeSO_4 1,0 М, KCl 1,0 М, Gly 0,25 М, Lim 0,5 М	19,8	2,3	0,012

Таким образом, экспериментальные результаты подтверждают определяющую роль процессов сорбции в кинетике электродных процессов. Меньшие значения поляризационной ёмкости позволяют предположить преобладание адсорбционных процессов на границе раздела фаз, в исследованных растворах предположительно с участием стадии комплексообразования с ионами железа, что облегчает их восстановление. Снижение η_{KP} , поляризации электрода с увеличением концентрации лимонной кислоты связано с более высокой скоростью побочной реакции выделения водорода. Для практического применения интерес представляет более стабильный состав раствора FeSO_4 0,5 М, KCl 0,5 М, Gly 0,25 М, Lim 0,25 М в связи с ограниченной растворимостью сульфата железа, характеризующийся более высоким перенапряжением кристаллизации металлического осадка, что перспективно для получения мелкокристаллического однородного гальванического покрытия.

Список источников

1. Серебровский В.В., Сафронов Р.И., Гнездилова Ю.П. К вопросу о твердости электроосажденных покрытий на основе железа // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 2. – С. 56-57.
2. Ved M.V., Sakhnenko N.D., Karakurkchi A.V. and etc. Corrosion properties of galvanic Fe-Mo(W), Fe-Mo-W coatings // Functional materials. - 2019. – V. 26. – No 3. – P. 534-540.
3. Zacarin M.G., de Brito M.M., Barbano E.P. and etc. Investigation of the Fe-Mo electrodeposition from sorbitol alkaline bath and characterization of the films produced // Journal of alloys and compounds. – 2018. – V.750. – P. 577-586.
4. Межевич Ж.В., Березин Н.Б. Адсорбционные явления на цинковом электроде в растворах // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 9. – С. 51-54.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОТЕЗОВ

Забелин А.А.

Научный руководитель: Чипизубова Е.А.

*Новосибирский авиационный технический колледж
имени Б.С. Галуцака, г. Новосибирск*

Ортез – внешнее ортопедическое приспособление, изменяющее структурные и функциональные характеристики опорно-двигательного аппарата. Основной целью использования ортезов является улучшение нарушенной функции поврежденного сегмента. Статья ознакомит с принципами изготовления ортезов, представляет преимущества и недостатки данной технологии.

Ключевые слова: ортез, аддитивные технологии, сканирование, 3D – печать.

При переломах для облегчения заживления поврежденной кости накладываются гипсовые повязки. Они фиксируют конечность в правильном положении и кости срастаются так, как нужно, однако ортезы можно изготавливать без применения традиционного метода, с помощью 3D-печати.

Такой способ изготовления существует уже больше 10 лет, но в большинстве случаев люди отдают предпочтение гипсовым повязкам, потому что до недавнего времени данных об использовании таких фиксаторов было недостаточно.



Рис. 1. Традиционный гипсовый ортез

Например, в 2020 году китайские ученые провели исследование и сравнили гипсовые повязки и печатные ортезы при лечении переломов костей рук, в результате увеличился уровень комфорта пациентов, и понизились болевые ощущения при ношении ортезов. Детская больница в Колорадо тоже начала изготавливать ортезы с помощью 3D-печати. Также российская компания «Здравпринт» стала заниматься производством печатных фиксаторов, и летом 2022 года их изделия были зарегистрированы «Росздравнадзором» как медицинские изделия [1].

Изготовление печатных ортезов осуществляется за 3 этапа: 1) Рентген поврежденной конечности; 2) Сканирование конечности с помощью 3D-сканера и последующее создание 3D-модели; 3) Печать ортеза на 3D-принтере. В дальнейшем ортез с легкостью устанавливается пациенту.



Рис. 2. Ортез изготовленный с применением аддитивных технологий

Печатные ортезы имеют ряд преимуществ по сравнению с гипсовыми повязками: Малый вес из-за использования в качестве материала пластика и сетчатой структуры изделия. Печатным ортезам не страшна вода,

поэтому можно мыть посуду или принимать ванну, не снимая фиксатор. Из-за вышеупомянутой сетчатой структуры кожа может дышать, поэтому при ношении таких отрезков ничего не будет чесаться, а это огромный плюс, если ортез носит ребенок, также ортез быстро фиксируется на руке пациента, и его снятие не нужно производить с помощью электрической пилы. После наложения гипса, в течение 24-48 часов с ним нужно быть очень осторожным, потому что гипс еще не застыл до конца, печатный ортез же не имеет таких ограничений.

Но и у печатных ортезов есть недостатки, но они незначительны. К ним можно отнести малый опыт работы с такими изделиями и неудобство печатных ортезов, предназначенных для ног, так как они значительно больше ручных ортезов, и на них нельзя надеть одежду [2].

Список источников

1. Да! Медицинский центр // Ортезы – что это: показания, эффективности URL: <https://www.audiomed.ru/info/reabilitatsiya-i- vosstanovlenie/dlya-chego-i-komu-nuzhen-ortez/?ysclid=lhs20r9riq67504886> (дата обращения: 10.05.2023).

2. АудиоМед // Для чего и кому нужен ортез? URL: <https://www.audiomed.ru/info/reabilitatsiya-i- vosstanovlenie/dlya-chego-i- komu-nuzhen-ortez/?ysclid=lhs20r9riq67504886> (дата обращения: 11.05.2023).

СОВРЕМЕННЫЕ ВЛАГОЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

Чиркина А.С.

Научный руководитель: д.х.н., доцент Бузаева М.В.

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

В статье рассматриваются современные влагозащитные покрытия, применяемые для радиоэлектронной аппаратуры.

Ключевые слова: лак, плата, влагозащита, покрытие, температура, поверхность

Современный мир невозможно представить без электроники. В любом сложном механизме основой являются печатные платы. На них устанавливаются элементы радиоэлектроники, отвечающие за различные функции и выполняющие определённый ряд задач.

На качество работы печатных плат влияют различные факторы, например:

- влага;

- агрессивные химикаты;
- соляной туман;
- температурные колебания (перепады температур, низкое атмосферное давление);
- механические факторы (вибрации, удары, акустические шумы);
- микробиологическая коррозия (грибки, бактерии).

И так как печатные платы используются в достаточно жестких условиях эксплуатации, важнейшим требованием является нанесение влагозащитных покрытий [1].

Влагозащитные покрытия – полимерные материалы, используемые для защиты радиоэлектронной аппаратуры от случайного замыкания, обеспечивающие надежную работу электронных изделий в течение всего срока службы.

Влагозащитные покрытия делятся на пять основных групп:

- 1) полиакриловые «acrylic (AR)»;
- 2) полиуретановые «urethane (UR)»;
- 3) эпоксидные «epoxy (ER)»;
- 4) силиконовые «silicone (SR)»;
- 5) полипараксиленовые «parylene (XY)» [2].

Наиболее применяемыми влагозащитными покрытиями в современной радиоэлектронике являются АК-113, УР-231, HumiSeal 1A68 и ЭП-730.

АК-113

Лак АК-113 производится из полиакриловой смолы, растворенной в органических растворителях. В состав акрилового лака добавляют пластификаторы, которые придают твердость пленке лака. Цвет лака прозрачный. Для разбавления используется растворитель Р-5А.

Акриловый наносится на поверхность изделия краскораспылителем, пневмораспылителем, а также кистью. Нанесение производится в один слой, сушится при температуре $20\pm 2^\circ\text{C}$ около 2 часов. Толщина пленки, нанесенной в один слой в высушенном виде должна быть 10-12 мкм. Срок годности полуфабриката лака со дня изготовления не более 9 месяцев.

Лак АК-113 Ф маркируется буквой «Ф», так как является разновидностью марки лака, который отличается по химическому составу. В процессе изготовления добавляют раствор меламинаформальдегидной смолы, а также пластификаторы. Оба лака являются однокомпонентными.

Применяется для лакирования деталей из черных, цветных металлов, их сплавов. Характерная теплостойкость лака позволяет наносить его на поверхности, рабочие температуры которых достигают 150°C [3].

УР-231

Лак УР-231 является двухкомпонентной системой, которая состоит из полуфабриката и отвердителя на основе диэтиленгликольуретана. Эти две системы смешиваются сразу перед применением.

На поверхность изделия уретановый лак УР-231 наносится в 3-4 слоя методом окунания, пневматического распыления или кистью.

Сушится один слой в течение 2 часов при температуре 65 ± 5 °С. Далее наносятся второй и последующие слои, но при такой же температуре сушатся уже 8 часов. Толщина одного высушенного слоя покрытия 10-12 мкм, а уже готового 40-60 мкм.

Полиуретановым лаком УР-231 покрываются металлические изделия, а также печатные платы. С даты изготовления лак может храниться до 6 месяцев [4].

HumiSeal 1A68

HumiSeal 1A68 является однокомпонентным быстросохнущим на воздухе влагозащитным покрытием на основе уретана и летучих органических соединений. Используется для влагозащиты печатных узлов в военной технике, авиации и промышленной электронике.

На поверхность изделия покрытие наносится различными методами, например: кистью, окунанием или распылением. Рекомендуемая толщина покрытия 25-75 мкм.

HumiSeal 1A68 имеет высокую химической стойкость, не содержит коррозионных компонентов, не препятствует пайке и повторному ремонту плат, флуоресцентно.

Диапазон рабочих температур -65°C $+125^{\circ}\text{C}$. Температура хранения и транспортировки должна быть $0-35$ °С. Гарантийный срок годности полуфабриката 24 месяца. Аналогом покрытия является HumiSeal 1A33 [5].

ЭП-730

Лак ЭП-730 – глянцевый химстойкий лак на эпоксидной основе, состоящий из двух компонентов: основы-полуфабриката и раствора эпоксидной смолы Э-41 в смеси органических растворителей с добавлением отвердителя №1, который вводится в полуфабрикат перед применением: 3 части отвердителя на 100 частей полуфабриката лака по массе. После введения отвердителя лак нужно тщательно перемешивать и перед нанесением выдерживать при температуре 20 ± 2 °С не менее 1 часа.

Далее эпоксидный лак сушат 1 час при температуре 150 ± 2 °С. Толщина высушенной пленки должна быть 18-22 мкм. Готовый лак необходимо использовать в течение 48 часов, также допускается одно- или двухразовое разбавление лака до рабочей вязкости.

Лак наносится на поверхность изделия методами пневматического распыления, окунания, наливом, а также кистью.

Эпоксидный лак ЭП-730 применяется для защиты алюминиевых, стальных и неметаллических поверхностей изделий. Покрытие сохраняет свои защитные свойства при воздействии на изделие различных агрессивных сред, сохраняет блеск, не вздувается пузырями, проявляет стойкость к статическому воздействию жидкостей и характеризуется грибоустойчивостью [6].

В настоящее время рынок предлагает большое разнообразие влагозащитных покрытий и ни один из них нельзя назвать универсальным, закрывающим все проблемы влагозащиты. Но выбирая покрытия, учитывая реальные условия эксплуатации и производства по критериям, можно получить качественный продукт [7].

Список источников

1. Архипов А. В., Березков Б. Н. Защитные покрытия для электронной аппаратуры, работающей в тяжелых условиях. Электронное учебное пособие. САМАРА 2011.

2. Уразаев В.Г. Влагозащитные полимерные покрытия: какие бывают? // Технологии в электронной промышленности. – 2005. – № 5. – С. 24-37.

3. Характеристики лаков АК-113 и АК-113 Ф по ГОСТу 23832-79. URL: <https://lakokraska-ya.ru/info/tekst-gosta-23832-79-laki-ak-113-i-ak-113f-tehnicheskie-usloviya>.

4. Техническое описание. Лак УР-231. URL: https://spborion.ru/_src/Catalog.Item/1291_file/%D0%BB%D0%B0%D0%BA%20%D1%83%D1%80%20231.pdf.

5. Антон Большаков. Передовые однокомпонентные уретановые влагозащитные покрытия HumiSeal // Компоненты и технологии. Приложение: Технологии в электронной промышленности. – 2005. – №3.

6. Лак ЭП-730. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200020507>.

7. Чуйкова Л. Влагозащита радиоэлектронной аппаратуры // Компоненты и технологии. 2007. № 5. С. 164–167.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ БИОРАЗЛАГАЕМОЙ АКТИВНОЙ ПЛЕНКИ

Шабанова П.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Борисова А.В.

Самарский государственный технический университет, г. Самара

Использование наноцеллюлозы в производстве биоразлагаемой пленки – это новое направление в экологически чистой упаковке. Наноцеллюлоза, получаемая путем измельчения целлюлозы, обладает высокой прочностью и способна увеличить механические свойства пленки. Биоразлагаемая пленка на основе наноцеллюлозы способствует снижению загрязнения окружающей среды за счет быстрого разложения ее на дробные частицы. Более того, биоразлагаемая пленка на основе наноцеллюлозы не содержит токсичных веществ, что обеспечивает безопасность при использовании в пищевой и фармацевтической промышленности. Таким образом, использование наноцеллюлозы в производстве биоразлагаемой пленки вносит зна-

чительный вклад в экологически чистое производство и охрану окружающей среды.

Ключевые слова: биоразлагаемая пленка, наноцеллюлоза, активная пленка

Бактериальная целлюлоза – это биополимер, получаемый из производства фильтрата культуры *Acetobacter xylinum*. Этот материал имеет высокую прочность, устойчивость к воде и биодegradации, что делает его идеальным для использования в активной упаковке.

Наноцеллюлоза – материал, представляющий собой набор наноразмерных волокон целлюлозы с высоким отношением сторон (длины к ширине). Типичная ширина такого волокна – 5-20 нм, а продольный размер варьируется от 10 нм до нескольких микрон. Материал обладает свойством псевдопластичности, т. е. является вязким при обычных условиях и ведёт себя как жидкость при физическом взаимодействии (тряске, взбалтывании и т. п.). Его удивительные свойства позволяют создавать на его основе сверхлёгкие и сверхпрочные материалы, такие, например, как аэрогель [1-3].

Полилактид (*PLA*) – это биоразлагаемый полиэфир, который уже используется в упаковке пищевых продуктов. *PLA* можно производить из возобновляемой биомассы (крахмал, сахар). Чтобы расширить его использование в секторе упаковки пищевых продуктов, необходимо улучшить плохие газозащитные свойства *PLA*.

В настоящей работе была использована бактериальная наноцеллюлоза, предоставленная лабораторией Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН) в рамках соглашения о сотрудничестве.

На рис. 1 представлена БНЦ в водно-спиртовом растворе экстракта зеленого чая.



Рис. 1. Бактериальная наноцеллюлоза в водно-спиртовом растворе

Добавление экстракта зеленого чая в активную упаковку на основе бактериальной целлюлозы может усилить антибактериальные свойства такой упаковки. Экстракт зеленого чая содержит полифенолы, которые обладают антиоксидантными и антибактериальными свойствами. Они препятствуют росту бактерий и помогают сохранить продукты свежими на длительный период.

Зеленый чай также содержит эпигаллокатехин, который проявляет высокую антибактериальную активность против многих бактерий, включая *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* и *Salmonella typhi*. Это особенно полезно для упаковки продуктов питания, в которых микробы могут быстро размножиться и портить продукты [4].

Использование бактериальной целлюлозы с добавлением экстракта зеленого чая в активной упаковке обеспечивает увеличение срока годности продуктов и повышение антибактериальной активности упаковки. Это делает такую упаковку приемлемой для многих продуктов питания, таких как мясо, рыба, фрукты, овощи и молочные продукты.

Введение БНЦ с экстрактом зеленого чая для получения активной пленки происходило по технологической схеме, представленной на рис. 2.

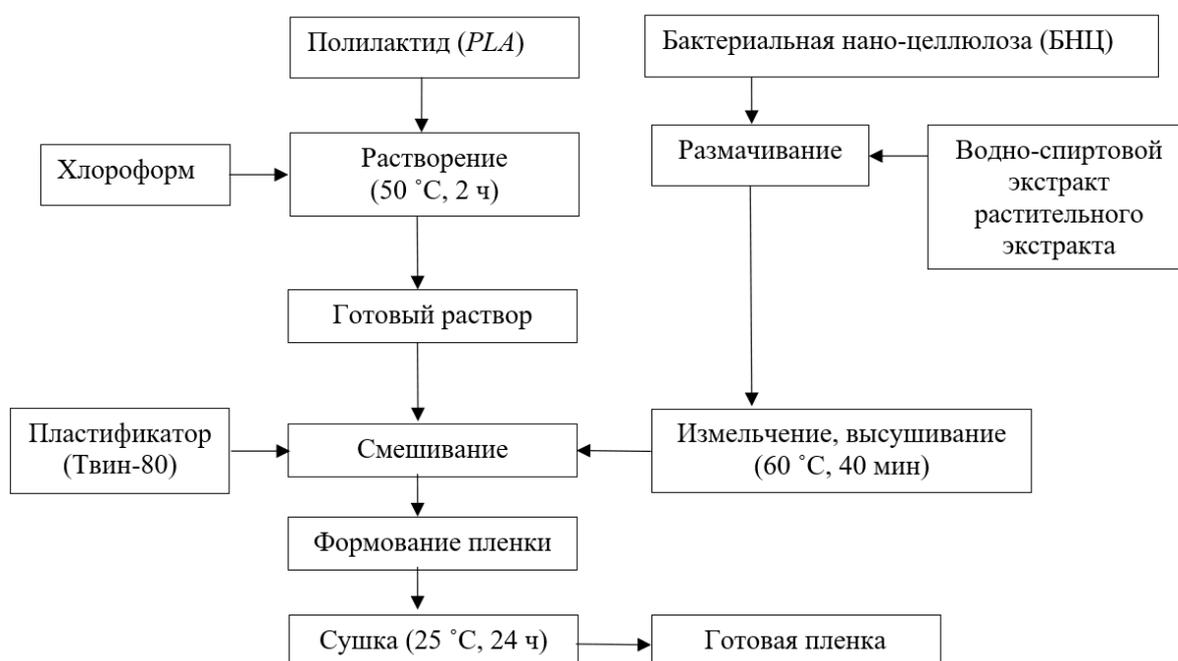


Рис. 2. Технологическая схема изготовления активной пленки

Пример полученной активной пленки представлен на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид пленки с добавлением БНЦ

В последующих работах планируется провести физико-химический анализ (определение толщины, микроскопирование, определение паропрооницаемости, растворимости, набухаемости, определение высвобождения антиоксиданта из образцов с течением времени).

Список источников

1. Skiba E.A., Gladysheva E.K., Budaeva V.V., Aleshina L.A., Sakovich G.V. Yield and quality of bacterial cellulose from agricultural waste // Cellulose. – 2022. – P. 1-13. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04372-x>. W
2. Kashcheyeva E.I., Gladysheva E.K., Skiba E.A., Budaeva V.V. A study of properties and enzymatic hydrolysis of bacterial cellulose // Cellulose. – 2019 – V. 26. –P. 2255–2265. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-02242-7>.
3. Герке Л. Н. Получение наноцеллюлозы // НАУ. 2015. №3-3 (8).
4. Валиулина Д.Ф., Макарова Н.В., Будылин Д.В. Сравнительный анализ химического состава и антиоксидантных свойств разных видов чая как исходного сырья для производства чайных экстрактов // Вестник ВГУИТ. 2018. № 2 (76).

ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ СКОРОЙ ПОМОЩИ

Шаламов М.В.

Научный руководитель: Нестеренко И.С.

Омский государственный технический университет, г. Омск

Автомобили скорой помощи необходимы для оказания своевременной медицинской помощи нуждающимся. В последние годы использование электромобилей приобрело популярность в качестве устойчивого и экологически чистого вида транспорта. В этой статье представлены преимущества и недостатки использования электромобилей в качестве машин скорой помощи.

Ключевые слова: скорая помощь, электромобиль, экология

Автомобили скорой помощи играют центральную роль в службах экстренной медицинской помощи, обеспечивая неотложную медицинскую помощь и транспортировку людей, нуждающихся в экстренной помощи [1]. Однако обычные машины скорой помощи работают на дизельных двигателях, которые вызывают загрязнение воздуха и являются шумными. Поэтому электромобили пользуются популярностью в качестве личного транспорта. Использование электромобилей в качестве машин скорой помощи дает ряд преимуществ, включая снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, повышение комфорта для пациентов и снижение уровня шума. Однако существует ряд проблем, таких как ограниченный запас хода, низкая емкость зарядки, а также дороговизна.

Использование электромобилей в машинах скорой помощи – хорошая идея. В отличие от дизельных машин скорой помощи, они экологически безопасны, поскольку не выбрасывают загрязняющие вещества в атмосферу. Дизельные двигатели могут быть вредны для окружающей среды и здоровья человека, поскольку они выбрасывают токсичные вещества, которые влияют на изменение климата и загрязнение воздуха. Использование электромобилей в качестве машин скорой помощи снижает негативное воздействие на окружающую среду, поскольку они не выбрасывают токсичные вещества и не увеличивают выбросы парниковых газов. Это приводит к более здоровой и безопасной окружающей среде для всех нас [2].

Хотя преимущества использования электромобилей в качестве машин скорой помощи очень очевидны, существуют и некоторые проблемы. Основной проблемой является малый запас хода, который является одним из немногих недостатков электромобилей. Однако в настоящее время этот недостаток проявляется практически всегда и является довольно существенным, учитывая, что электрические заправочные станции есть, но в малом количестве.

Что касается городских районов, то здесь проблем нет. Почти во всех городах, развивающихся или нет, есть специальные места для зарядки автомобиля (например, автозаправочные станции или парковки возле крупных супермаркетов). Однако за пределами центра города такие пункты зарядки встречаются крайне редко или не встречаются вовсе. Таким образом, найти зарядные устройства в городских районах не составляет труда, поэтому можно ездить, почти не беспокоясь о том, что ваш аккумулятор разрядится в ненужный момент. Однако для езды за городом они все же менее пригодны, чем автомобили с двигателем внутреннего сгорания. Поэтому выезд электрических машин скорой помощи в сельские и региональные районы будет невозможен из-за малого запаса хода, ведь современные электромобили с батареей от 50 кВт*ч на полном заряде могут проехать 400-450 км. Со временем батарея деградирует, и пробег может уменьшаться. Зимой на одном заряде получится проехать на 20-30% меньше в зависимости от типа батареи и уровня температуры [3].

Скорость зарядки также является важным фактором, так как помимо того, что необходимо найти зарядную станцию, полная зарядка требует времени. И в лучшем случае может потребоваться около 30-40 минут, но если же говорить об обычных розетках, то полная зарядка может занять до 8-12 часов (в зависимости от емкости батареи) [4, 5].

В заключение следует отметить, что использование электромобилей в машинах скорой помощи способно существенно улучшить работу служб скорой помощи, обеспечивая устойчивый и экологически чистый транспорт, снижая шумовое воздействие и повышая комфорт пациентов.

Список источников

1. Автомобиль скорой помощи // alphapedia.ru – URL: <https://alphapedia.ru/w/Ambulance>(дата обращения: 21.04.2023)
2. Преимущество использование электромобилей // moluch.ru – URL: <https://moluch.ru/archive/116/31697/> (дата обращения: 21.04.2023)
3. Запас хода электромобилей // electro.cars. – URL:<https://electro.cars/tpost/hz28153111-skolko-stoit-zaryadit-elektromobil-v-2023/> (дата обращения: 21.04.2023)
4. Время зарядки электромобилей // avtocharge.ru– URL:<https://avtocharge.ru/charging-times/>(дата обращения: 21.04.2023)
5. Нестеренко Г.А., Нестеренко И.С., Орлов А.А. Об актуальности развития сети электроавтозаправочных станций в г. Омске // Автомобильная промышленность. 2022. № 8. С. 25-26.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНУСА,
НАПЕЧАТАННОГО МЕТОДОМ FFF/FDM**

Юртаев В.О., Тимофеев М.Н.

Научный руководитель: Тимофеев М.Н.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В статье проведено исследование прочностных характеристик образцов из материала ABS с внутренним наполнителем на сжатие.

Ключевые слова: аддитивные технологии, прочностные испытания, 3D-печать

В машиностроении довольно широкое распространение получили детали с коническими поверхностями. Примерами их могут служить конусы центров, хвостовиков сверл, зенкеров, разверток. Для крепления этих инструментов передние участки отверстия шпинделя и пиноли токарного станка имеют также коническую форму.

Однако область использования конусов не ограничивается режущими инструментами. Конические поверхности имеют многие детали машин.

Широкое использование конических соединений объясняется рядом их преимуществ.

1. Они обеспечивают высокую точность центрирования деталей.
2. При плотном соприкосновении пологих конусов получается неподвижное соединение.
3. Изменяя осевое положение деталей конического соединения, можно регулировать величину зазора между ними.

Цель работы: изучение и сравнение зависимости прочностных характеристик образцов от внутренней структуры.

Методика исследований: на принтере с использованием нитевидного пластика ABS, где были распечатаны 3 объекта со следующими характеристиками:

1. Конус № 1. Размеры: $\varnothing 20$ мм основания, 25 мм – высота, максимальное заполнение
2. Конус № 2. Размеры: $\varnothing 20$ мм основания, 25 мм – высота, среднее заполнение
3. Конус № 3. Размеры: $\varnothing 20$ мм основания, 25 мм – высота, малое заполнение

При печати были применены следующие настройки: скорость печати – 55 мм/с, температура стола – 50 С, температура экструдера – 230°С (начальный слой), 210° С (все последующие слои). Норма температуры для пластика ABS 210-230° С.

По окончании процесса изготовления полученные модели были испытаны по ГОСТ 4651-2014 на машине испытательной универсальной ИР 5082-100, которая показала результаты, представленные на рис. 2.

На рис. 1а, б видно, что в результате нагрузки образцы деформировались и разрушились. На рис. 1с, d, e представлены графики зависимости прикладываемой нагрузки (кН) от деформации образца (мм).

В зависимости от плотности материала, меняется и предельная нагрузка – чем выше плотность, тем крепче материал. Таким образом, предельная нагрузка первого образца равна 17 кН, второго – 7.7 кН, а третьего – 2.7 кН.

Визуальный осмотр последствий нагружения показывает, что все конусные модели были сплюснены, во всех случаях примечательно выдавливание материала за пределы геометрических границ детали в районе вершины конуса.



а



б

Рис. 1. а – образцы до эксперимента; б – образцы после испытаний

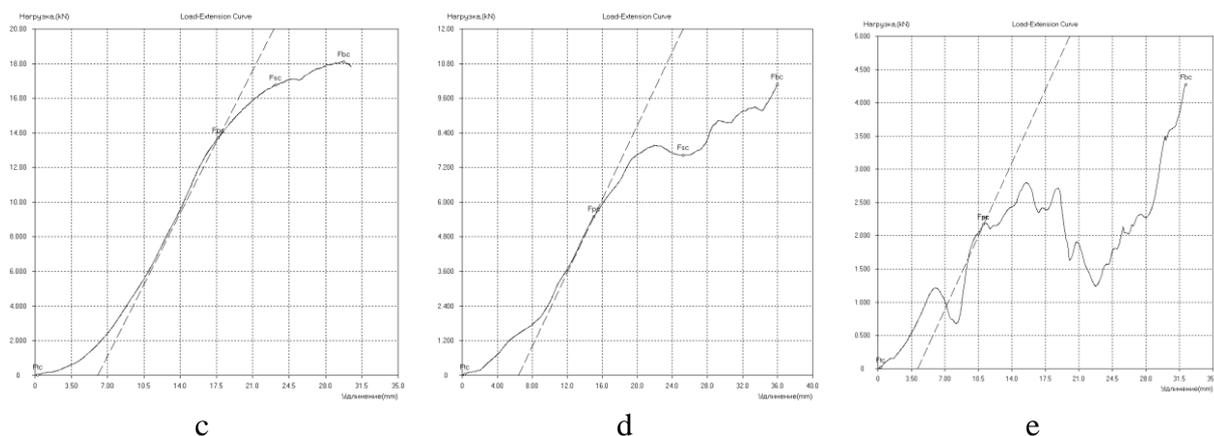


Рис. 1 (окончание): с – график напряжений первого образца, d–график напряжений второго образца, e–график напряжений третьего образца

По результатам сжатия моделей были получены следующие графики зависимостей напряжения и относительного удлинения, что позволило наблюдать следующее:

1. Получено уравнение зависимости величины деформации от нагрузки модели № 1 с коэффициентом корреляции 0.9941 и коэффициентом детерминации 0.9883:

$$y=0.0002x^3+0.0007x^2+0.1451x+0.0795. \quad (1)$$

Получено уравнение зависимости величины деформации от нагрузки модели № 2 с коэффициентом корреляции 0.9965 и коэффициентом детерминации 0.9932:

$$y=0.0001x^3-0.0001x^2+0.1042x-0.0640. \quad (2)$$

2. Получено уравнение зависимости величины деформации от нагрузки модели №3 с коэффициентом корреляции 0.9943 и коэффициентом детерминации 0.9885:

$$y=0.0003x^3-0.0091x^2+0.1657x-0.0708. \quad (3)$$

Заключение

В работе было представлено исследование прочностных характеристик деталей, напечатанных из материала ABS с различным процентом внутреннего заполнения, были изучены графики напряжений, из которых было выявлено, что образец №1 с максимальным заполнением выдержал наибольшую нагрузку. Таким образом, при использовании данной методики возможно подобрать оптимальную конфигурацию и спрогнозировать поведение деталей в реальных условиях нагружения.

Список источников

1. FELIXrobotics BV User Manual FELIX 3.0 User Manual. – URL: <https://www.manualslib.com/manual/981371/Felixrobotics-Felix-3-0.html>.

Имеется печатный аналог.

2. Mark J.E. Polymer Data Handbook / J.E. Mark. – М.: Oxford University Press, 1999. – P. 692.

3. ГОСТ 4651-2014. Пластмассы. Метод испытания на сжатие. – Введ. 2014–12–01. – М.: Изд-во стандартов, 2014.

ИССЛЕДОВАНИЕ НДС ИМПЛАНТАТА ПОЗВОНКА СЕТЧАТОЙ КОНСТРУКЦИИ

Тимохина О.В., Морозова И.Г.

Научные руководители: к.т.н., доцент Маркелова О.А.,
д.т.н., профессор Пичхидзе С.Я.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

Разработанная модель имплантата представляет собой цилиндр, четыре винта, две направляющие и четыре футорки из сплава титана VT1-0. Боковая поверхность цилиндра выполнена сетчатой в виде треугольных фрагментов, которые повышают остеointеграционные способности имплантата.

Ключевые слова: титан, имплантат, имплантация, позвонок

Хирургическое лечение травм и заболеваний позвоночника – одно из наиболее активно развивающихся направлений в медицине за последние 30 лет. Позвоночные имплантаты представляют собой разноплановые специальные конструкции, которые вживляются в позвоночник. В результате они могут выполнять функцию стабилизаторов, изменять положение и высоту позвонков или полностью заменять отдельные позвонки. Современные вертебральные имплантаты используются для широкого спектра задач и модернизируются по целому ряду параметров. Они изготавливаются из инновационных материалов, которые безопасны и биосовместимы с тканями человека [1–6].

Цель работы заключается в создании и исследовании напряженно-деформируемого состояния (НДС) модели сетчатого эндопротеза позвонка.

Технический результат от использования усовершенствованной конструкции заключается в фиксации цилиндров между собой при помощи скобы. На рис. 1 приведён общий вид модели позвонка.

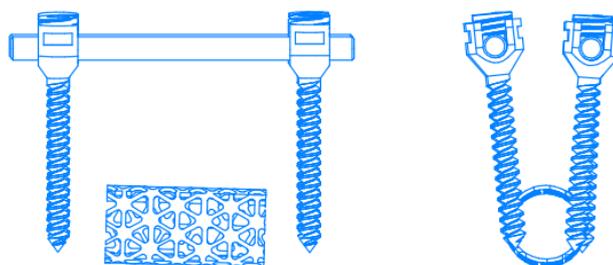


Рис. 1. Собранный модель имплантата позвонка

3D модель сетчатого позвонка и его составных частей представлена на рис. 2.



Рис. 2. Разработанная конструкция модели имплантата позвонка

Разработанная модель состоит из цилиндра, четырёх винтов, двух направляющих и четырёх футорок из сплава титана ВТ1-0, при этом боковая поверхность цилиндра выполнена сетчатой в виде треугольных фрагментов, которые позволяют тканям прирастать к имплантату. Диаметр внешнего цилиндра на поясничном уровне составляет от 20 мм. Толщина стенки цилиндра составляет $1,5 \pm 0,5$ мм. Сегменты позвонка в собранном виде устанавливаются между позвонками Th₁₂ и L₂, обеспечивая полное замещение позвонка L₁. Закрепляется эндопротез путем вкручивания винтов в соседние позвонки, сетка плотно крепится между позвонками.

Для проведения расчетов прочности была построена тетраэдрическая сетка с максимальной длиной стороны 1 мм, рис. 3.

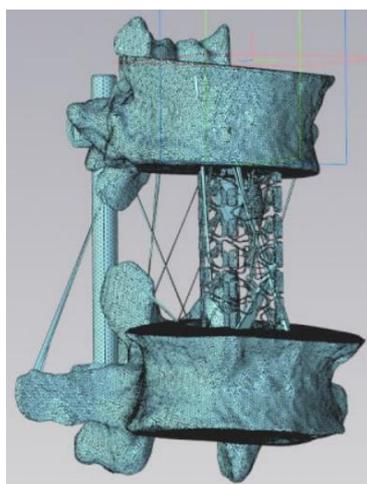


Рис. 3. КЭ сетка модели эндопротеза

Для оценки работоспособности имплантата проведен расчет НДС модели в программе Компас 3D. Для этого, на верхний позвонок Th₁₂ прикладывали равномерную нагрузку, равную 750 Н. Результаты расчета прочности показали, что эндопротез выдерживает заданную нагрузку без существенных деформаций. Результаты анализа НДС приведены на рис. 4.

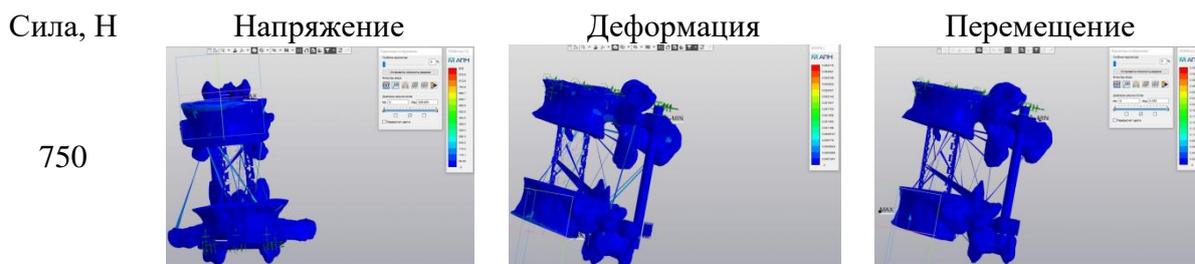


Рис. 4. Результаты численного моделирования модели имплантата

Для оценки работоспособности имплантата проведен расчет запаса прочности модели в собранном виде при нагрузке 750 Н. Запас прочности имплантата составляет примерно 30 раз, что свидетельствует о надежности модели.

Выводы: разработана конструкция имплантата позвонка, включающая сетчатый цилиндр, четыре винта, две направляющие и четыре футорки, выполненные из титана ВТ1-0. Боковая поверхность сетчатого цилиндра сформирована из треугольных фрагментов. Для оценки работоспособности изделия проведен расчет НДС упрощенной модели в программе Компас 3D. Результаты расчета показали минимум процента повреждений для нагрузки 750 Н.

Список источников

1. Патент РФ 2615863 от 12.05.2015. Эндопротез тела позвонка для малоинвазивного (торакоскопического) спондилодеза, инструмент для имплантации эндопротеза с фиксирующим устройством и способ установки заявленного эндопротеза при помощи заявленного инструмента и фиксирующего устройства / Грибанов А.В.

2. Старкова Т.М., Костин К.Б., Пичхидзе С.Я. Упрочнение имплантата позвонка методом цементации. Курск: ЮЗГУ, 2021. – 6 с.

3. Старкова Т.М., Войко А.В., Маркелова О.А., Костин К.Б., Пичхидзе С.Я. К вопросу упрочнения имплантата позвонка методом цементации. Курск: ЮЗГУ, 2022. – 9 с.

4. Старкова Т.М., Маркелова О, А., Пичхидзе С.Я. Разработка имплантата позвонка усовершенствованной конструкции Курск: ЮЗГУ, 2022. – 4 с.

5. Финогеев Д.Ю., Борисов Ю.С., Шульга А.Е., Ульянов В.Ю., Пичхидзе С.Я. Анализ технологического цикла изготовления телескопического имплантата позвонка методом селективного лазерного сплавления. Сборник докладов 9-й Всероссийской национальной научно-технической конференции с международным участием «Прогрессивные технологии и процессы» (МТО-66), 22-23.09.2022, Курск: ЮЗГУ, 2022. – с.136-140.

6. Морозова И.Г., Финогеев Д.Ю., Пичхидзе С.Я. Разработка конструкции телескопического имплантата позвонка. Курск: ЮЗГУ, УК-21, 2022. – 4 с.

ЦИНКОВАНИЕ И НИКЕЛИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПРУЖИНЫ ПРОТЕЗА СТОПЫ

Герасимов А.М.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Пичхидзе С.Я.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

*В статье описывается способ повышения коррозионной стойкости
цилиндрической пружины после гальваники*

Ключевые слова: пружина, протез, цинкование, никелирование

Протезирование стопы – это процедура, которая проводится в случае травматической или патологической ампутации нижних конечностей. Такие радикальные вмешательства могут спасти пациенту жизнь, а дальнейшая задача – повысить жизнедеятельность. Сегодня выбор протезов достаточно обширен, поэтому можно выбрать оптимальное решение и значительно улучшить качество жизни [1-5].

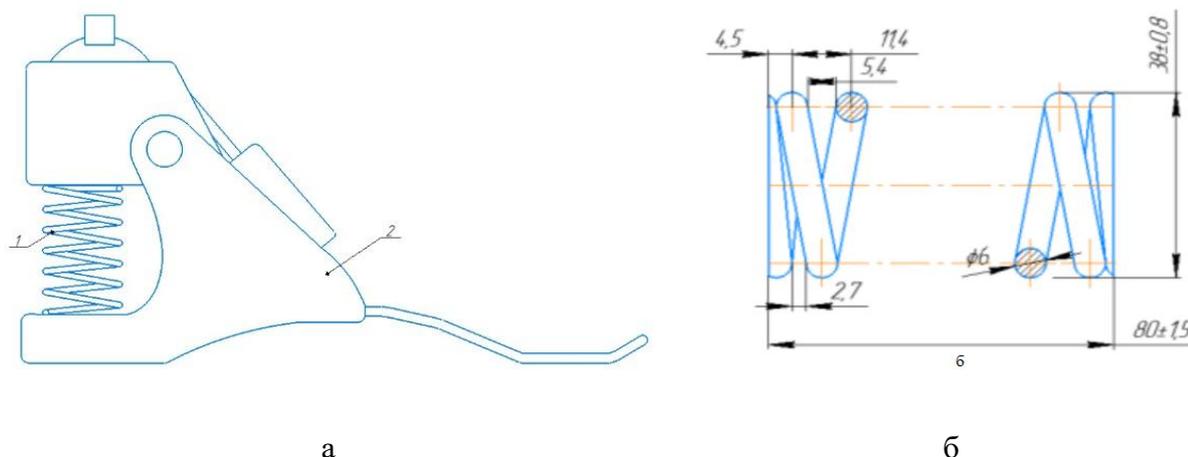


Рис. 1. Протез стопы, где: а) эскиз, 1 – цилиндрическая пружина;
2 – стопа; б) пружина

В машиностроении и протезировании часто применяются упругие элементы – упругие детали, ключевым функциональным качеством которых является способность упруго деформироваться под нагрузкой. Особенно известными упругими элементами являются пружины – упругие элементы, что используются для сохранения механической энергии. Во время работы пружины подвергаются многократным неустойчивым нагрузкам; после снятия их необходимо полностью восстановить до своих начальных размеров. В связи с такими условиями эксплуатации металл, используемый для изготовления пружин, должен иметь требуемую прочность при статических, динамических или циклических нагрузках, необхо-

димую пластичность, высокие пределы упругости и усталостной прочности и высокое сопротивление релаксации.

Не менее важны для сплава пружины научно-технические характеристики – невысокая тенденция к росту зерна и обезуглероживанию при термообработке, полная закаливаемость, невысокая критическая скорость закалки, невысокая чувствительность к отпускной хрупкости.

В процессе производства пружины подвергаются высокотемпературной обработке, основанной на соотношении изменений механических свойств материалов при различных температурно-временных воздействиях. Конструкционные стали, естественно, подвергаются отжигу, закалке и отпуску.

В результате высокотемпературной обработки в различных условиях (температура, время, охлаждающая среда) состав материалов меняется и формируется определенный состав фаз и их размеры. Трансформация текстуры изменяет механические характеристики производимых изделий. В ходе разработки новых и совершенствования классических технологических процессов изготовления пружин ведется отбор оптимальных процессов высокотемпературной обработки, гарантирующих приемлемую микроструктуру и механические свойства материалов.

Для исследования были отобраны 3 образца стали марки 60С2А. Исходный анализ стали (табл. 1).

Таблица 1

Массовая доля элементов в образце из стали марки 60С2А

Элемент	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Al	Fe
Массовая доля элемента, %	0,612	1.8	0,734	0,115	0,223	0,146	0,02	96,35

Образцы вырезались из прутка диаметром 28 мм на токарном станке. Для исследования структуры образцов после нанесения покрытия был использован рентгеноструктурный анализ. Покрытия наносились на автоматической линии гальваники (рис. 2). Линия содержит последовательно размещенные модули подготовки поверхности деталей, нанесения покрытия с источником постоянного тока, промывки после нанесения покрытия, включающие систему трубопроводов и насосы, вентиляционную систему. При этом модуль подготовки поверхности деталей выполнен с возможностью одновременного обезжиривания и активирования поверхности и дополнительно оснащен блоком очистки щелочного раствора от жировых загрязнений, нагрева и источником реверсивного тока, модуль промывки после нанесения покрытий. Линия снабжена системой управления, электрически связанной со всеми модулями.

Ванны, используемые в данной автоматической гальванической линии, имеют следующие габариты: 1) электрохимические ванны 1250×800×1000 мм; 2) химические ванны 1250×630×1000 мм.

Образцы были обезжирены электрохимическим способом в щелочном растворе состава как для цинкования, так и для никелирования (табл. 2).

Таблица 2

Состав ванны и условия обезжиривания

Углекислый натрий Na_2CO_3	30 г/л
Фосфорнокислый натрий Na_3PO_4	65 г/л
Едкий натрий NaOH	50 г/л
Жидкое стекло Na_2SiO_3	6 г/л
Режим обезжиривания: температура раствора	50–60 °С
Напряжение переменного тока	8–10 В
Плотность тока	5–10 А/дм ²
Время обезжиривания	3–6 мин

После обезжиривания образцы промывались в горячей и холодной воде, протравливались в 15%-ном водном растворе соляной кислоты. Время травления 5 мин. Образцы еще раз промывались в воде и высушивались на воздухе. Подготовленный образец для цинкования был закреплен на катоде ванны.

Отдельно подобран режим и состав нанесения покрытия (табл. 3).

Таблица 3

Состав ванны и условия цинкования

Цинк сернокислый $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	200 г/л
Натрий сернокислый $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	120 (50) г/л
Алюминий сернокислый $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	35 г/л
Декстрин	10 (3) г/л
Катодная плотность тока	1–2 А/дм ²
Напряжение	8–10 В
Температура раствора	20–25 °С

Образец для блестящего никелирования был закреплен на катоде ванны и подобран режим и состав нанесения покрытия (табл. 4).

Таблица 4

Состав ванны и условия никелирования

Никель сернокислый $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	180 г/л
Натрий сернокислый $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	80 г/л
Натрий хлористый NaCl	5 г/л
Борная кислота H_3BO_3	30 г/л
2,6-2,7-Дисульфонафталиновая кислота ($\text{C}_{10}\text{H}_8\text{S}_2\text{O}_6$)	5 г/л
Ортофосфорная кислота H_3PO_4	0,5 моль/л
Кислотность раствора pH	3,5–4,0
Катодная плотность тока	0,5–1,0 А/дм ²
Напряжение	8–10 В
Температура раствора	18–25 °С
Термообработка	250 °С
Время термообработки	30 мин

Маршрут гальванической автоматической ванны представлен на рис. 2:

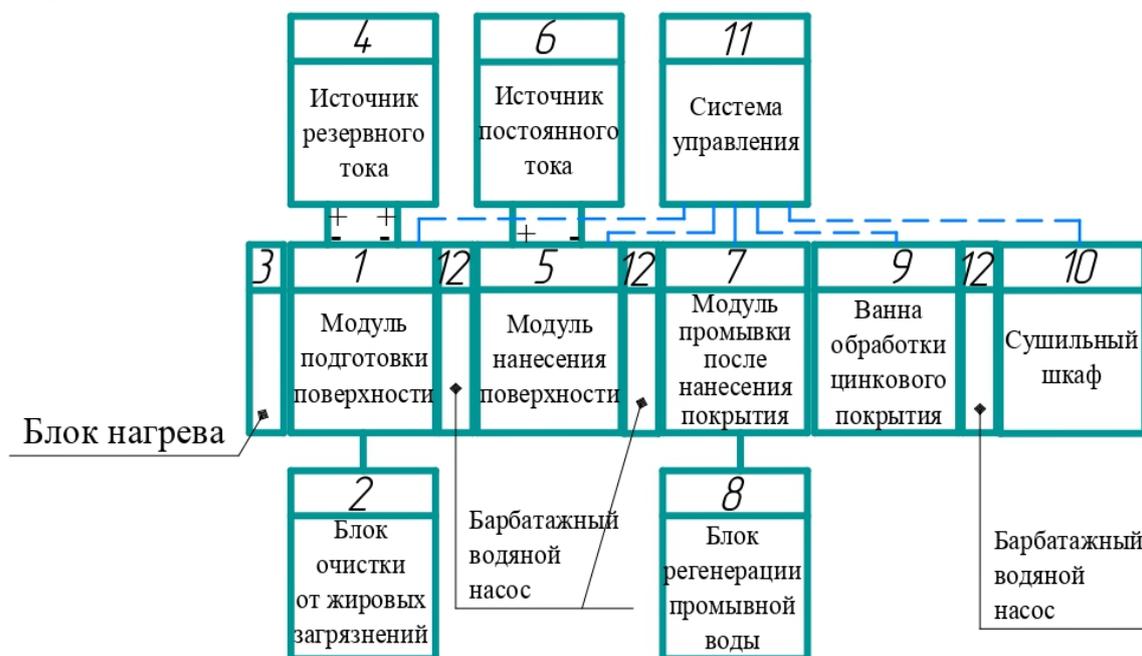


Рис. 2. Схема автоматической гальванической линии

Подлежащие покрытию детали размещают на штанге (позицией не показана) модуля подготовки поверхности деталей 1. Источник реверсивного тока 4 обеспечивает попеременное, согласно заложенной программе, переключение полярности тока, подаваемого на детали. В соответствии с этим осуществляется электрохимическое обезжиривание в щелочном растворе на катоде при температуре $50-60^{\circ}\text{C}$, а затем – активирование в том же растворе на аноде. Подготовленные к покрытию детали из модуля подготовки поверхности деталей 1 без промывки переносятся в модуль нанесения покрытий 5, где происходит нанесение цинкового или никелевого покрытия электролитическим методом под действием постоянного тока от источника 6. Покрытые цинком или никелем детали из модуля 5 переносятся в модуль промывки после нанесения покрытий 7, где производится отмывка их от электролита в течение времени, обеспечивающем качественную промывку. Затем промытые детали из модуля промывки после нанесения покрытий 7 переносятся в ванну обработки цинкового покрытия 9, где на их поверхности образуется защитная пленка.

После этого детали переносятся в модуль промывки после нанесения покрытий 7, где производится их промывка в течение времени, обеспечивающем качественную промывку, а затем они помещаются в сушильный шкаф 10. В процессе работы устройства с поверхности рабочего раствора в модуле подготовки поверхности деталей 1 непрерывно удаляется жировая пленка с помощью блока очистки щелочного раствора от жировых загрязнений 2, а промывная вода в модуле промывки после нанесения покрытий 7 постоянно очищается от твердых частиц и растворенных солей блоком

регенерации промывной воды 8. Система управления 11 обеспечивает поддержание в заданных пределах основных параметров техпроцесса (температура, уровень растворов, время выдержки и др.).



Рис. 3. Образцы для ЭДРА, где: слева – исходный, справа – после никелирования, по центру – после цинкования

Энергодисперсионный рентгеновский анализ (ЭДРА) показал, что при заданных режимах цинкования и никелирования в поверхностном слое обнаружены Zn и Ni, для сравнения проверен образец без покрытия (рис. 4 – 6).

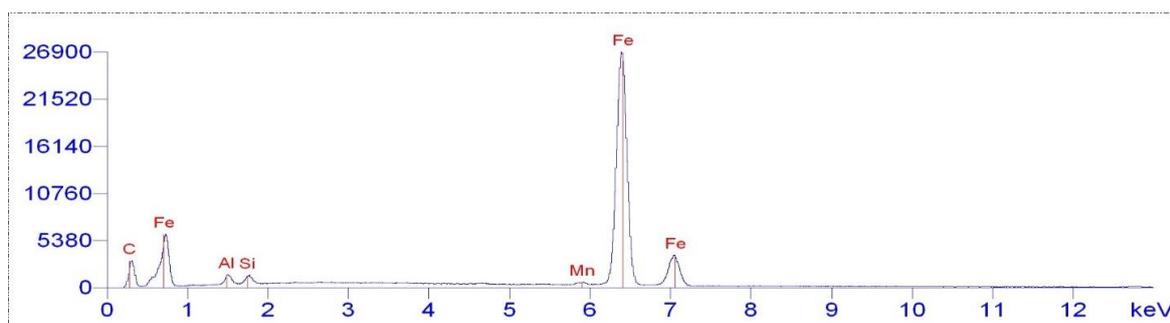


Рис. 4. ЭДРА образца без покрытия

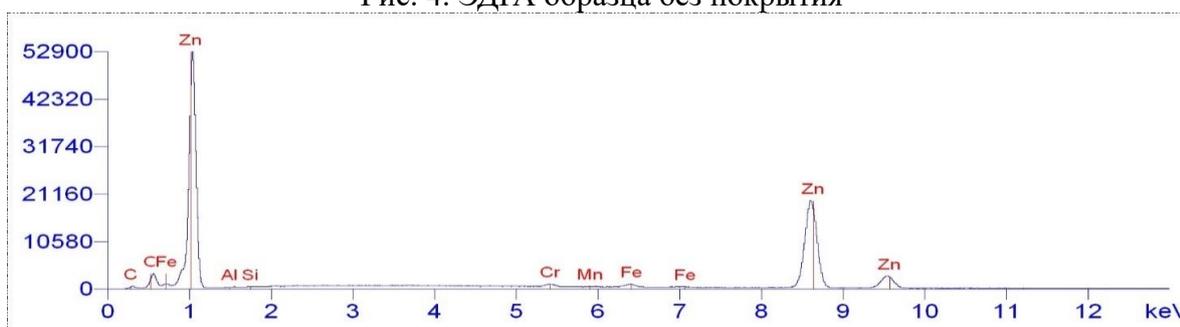


Рис. 5. ЭДРА образца с цинковым покрытием

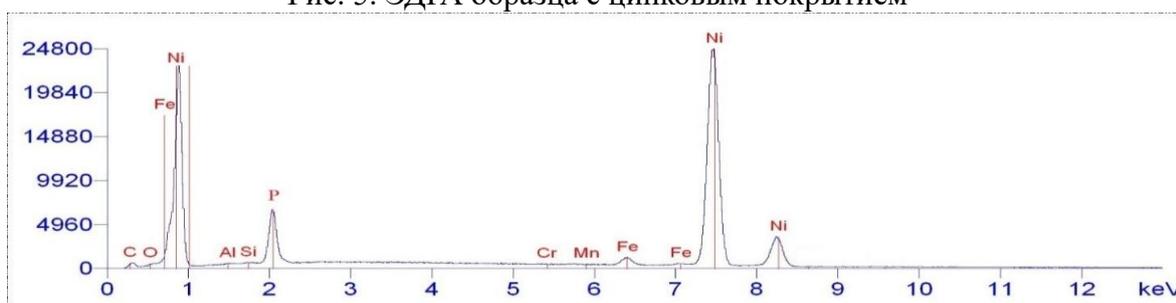


Рис. 6. ЭДРА образца с никелевым покрытием

Также было измерена шероховатость поверхность образцов (рис. 7 и табл. 5). В качестве оборудования для измерения параметров шероховатости использовался профилограф-профилометр «Mitutoyo Surftest SJ-410», где: R_a – среднее арифметическое отклонение профиля; R – средняя высота неровностей профиля; R_q – среднеквадратичная шероховатость.



Рис. 7. Образцы для измерения шероховатости, где: а: 1 – без покрытия, 2 - с цинковым покрытием, 3 – с никелевым покрытием, б – шлиф

Таблица 5

Шероховатость образцов			
Шероховатость/образцы	1	2	3
R_a	2,42	0,68	1,13
R_z	12,46	5,3	6,87
R_q	2,99	0,92	1,45

Также была измерена твердость образцов с покрытием и без. Данные представлены в табл. 6 и был составлен график.

Таблица 6

Нагрузка г	Твердость НВ		
	без	никель	цинк
5			41,75
10			73,35
20	188,5	322	86,2
50	294,75	530	145
100	384	510	
200	357	690	

Рентгенофазовый анализ (РФА) проводился на дифрактометре ARL X'TRA Thermo Fisher Scientific (Швейцария) методом рентгеновской дифракции в излучении Cu-K_α (длина волны $\lambda = 0,154178$ нм) с интервалом углов рассеяния от 5° до 90° в автоматическом режиме при скорости съёмки $2^\circ/\text{мин}$. При работе использовались напряжение 40 кВ и электрический ток 40 мА. Фазовый анализ покрытий образцов выполнен с помощью про-

граммного комплекса PDXL и базы данных ICDD. При цинковании на поверхности стального образца образуется покрытие, содержащее в основном, интенсивные рефлексы Zn, заглушая рефлексы фазы α – Fe, рис. 8а. При никелировании появляется γ – фаза Fe-Ni, не исключено также образование небольших количеств бинарного силицида никеля Ni₃Si (рис. 8б).

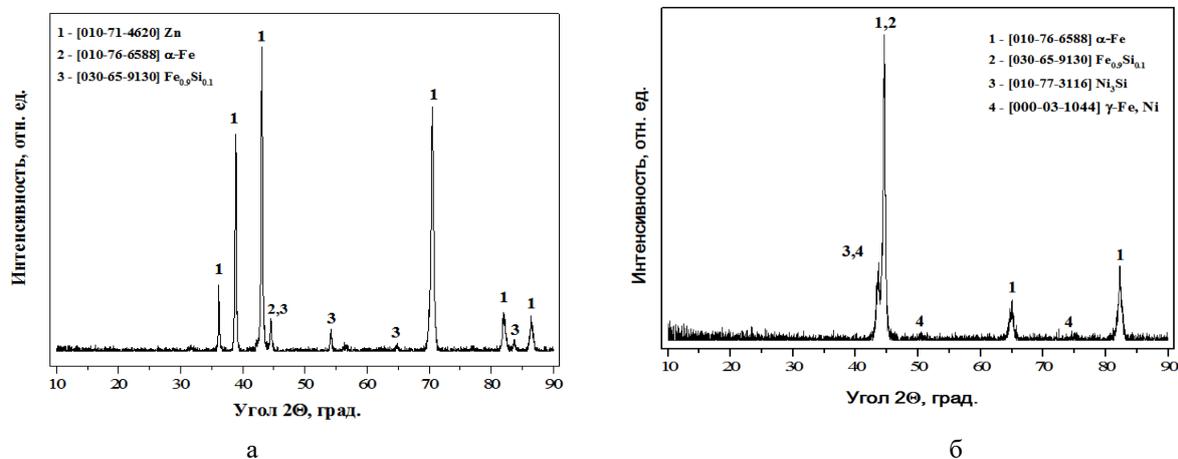
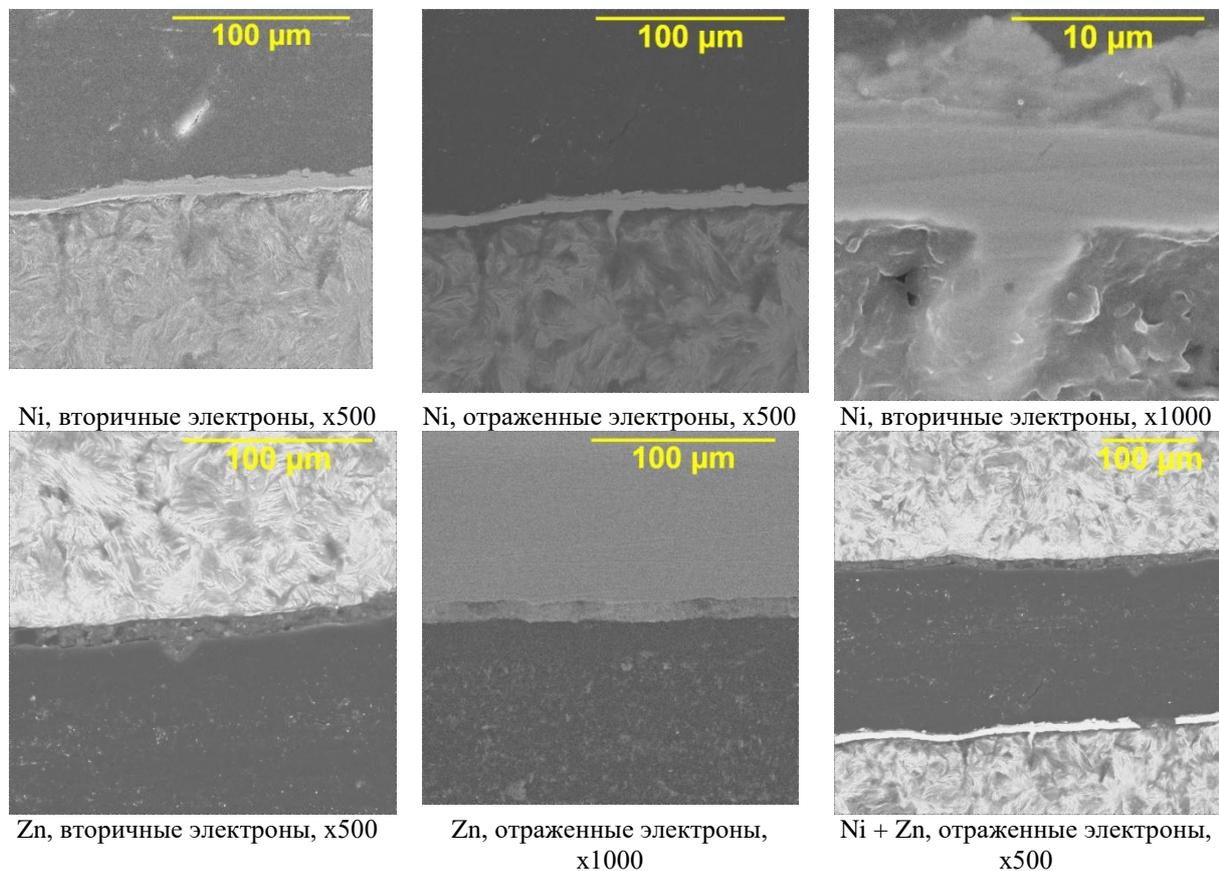
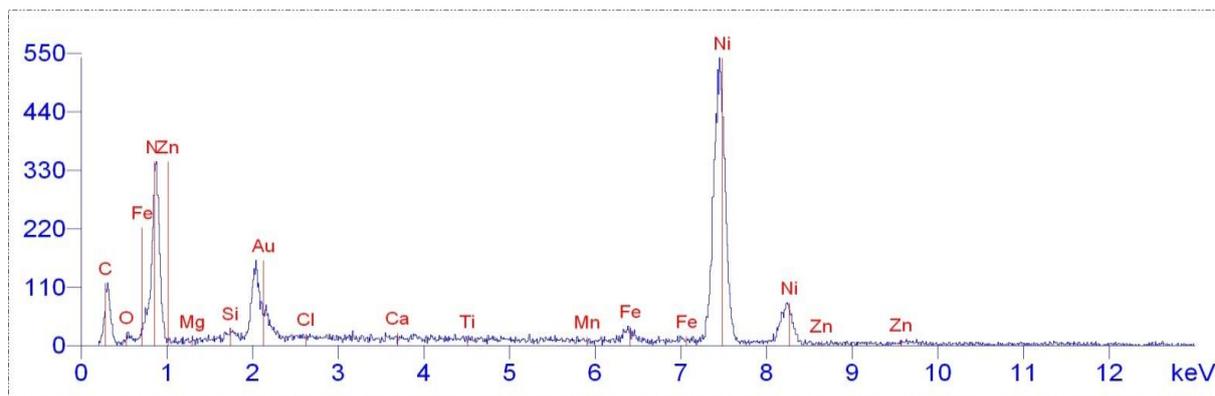


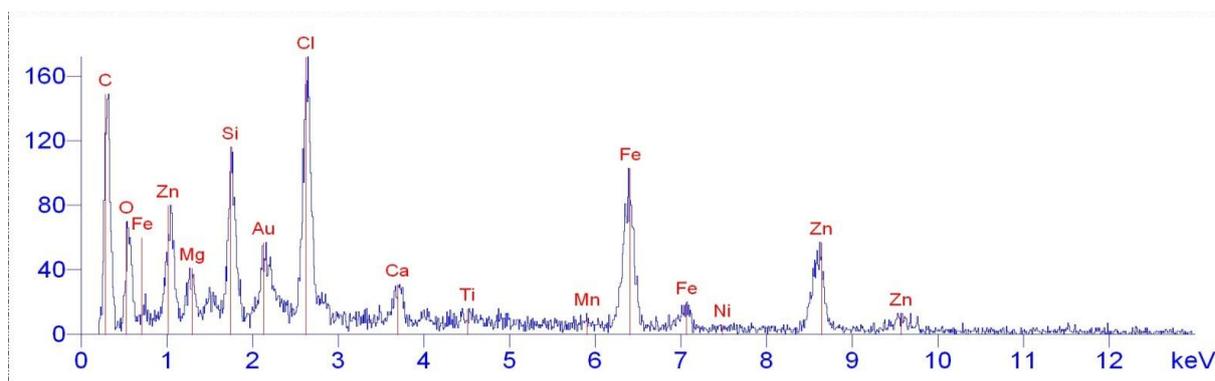
Рис. 8. РФА образца стали марки 60С2А после цинкования (а) и никелирования (б)

Далее проведено исследование шлифа на измерение толщины покрытия Ni, Zn, Ni + Zn с помощью РЭМ, данный образец залит в эпоксидной смоле и отполирован (рис. 9). Толщина покрытия составила: для Ni 12-13 мкм, для Zn 15-17 мкм, для Ni + Zn 27-30 мкм.





а – ЭДРА шлифа образца с цинковым покрытием



б – ЭДРА шлифа образца с никелевым покрытием

Рис. 9. РЭМ/ЭДРА шлифа образца с цинковым/цинковым покрытием

Выводы: проведено исследование структуры и шероховатости поверхности стали марки 60С2А после цинкования и никелирования. Показано, что режимы и составы для нанесения цинкового и никелевого покрытия на образцы оптимально подходят для защиты от коррозии и дальнейшей эксплуатации цилиндрической пружины протеза стопы. Среднеквадратичная шероховатость для цинкового покрытия равна 0,92, для никелированного покрытия 1,45.

Список источников

1. Околович Г.А., Околович А.Г., Гурьев А.М. Свойства пружинных сталей после термообработки и деформационного упрочнения // XV Международная научно-техническая конференция студентов и молодых ученых. – Томск, 2009. – С. 112-114.
2. Фиргер И. В. Термическая обработка сплавов: справочник. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 304 с.
3. ГОСТ 13765–86. Пружины винтовые цилиндрические сжатия и растяжения из стали круглого сечения. Обозначение параметров, методика определения размеров. – М.: Стандартиформ, 1986. – 29 с.
4. Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы. – М.: Металлургия, 1982. – 400 с.

5. Брынских С.И., Осипенко М.А., Няшин Ю.И. Оптимизация двух-листового упругого элемента протеза стопы с использованием линейной и нелинейной теорий изгиба // Российский журнал биомеханики. – 2003. – Т. 7, № 2. – С. 9–19.

6. Герасимов А.М., Пичхидзе С.Я. Цилиндрическая пружина в протезе стопы. Курск: ЮЗГУ, 2021. – 5 с.

7. Герасимов А.М., Пичхидзе С.Я. Усталость цилиндрической пружины в протезе стопы. Курск: ЮЗГУ, 2022. – 5 с.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ И ПРОНИЦАЕМОСТИ МЕМБРАН ДЛЯ ГЕМОДИАЛИЗА И ИХ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ

Мельникова И.П., Пичхидзе С.Я., Авдонченкова М.С.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Мельникова И.П.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

Предложен новый метод повышения сорбционной способности и проницаемости мембраны гемодиализатора путем группировки наночастиц на внутренней поверхности ее волокон. Наночастицы бемита размером 30-50 нм способствуют повышению функциональных характеристик диализатора за счет повышения удельной поверхности мембраны, их гидрофильности и бактерицидности. Модифицирование мембраны выполнено путем ее пропитки в составе диализатора. Показано, что при пропитке волокон суспензией на основе 2,5% раствора дистиллированной воды и бемита не происходит закупоривание пор мембраны.

Ключевые слова: гемодиализ, пропитка, бемит, полисульфон

Гемодиализ – основной вид заместительной почечной терапии, основанный на переносе вредных веществ из крови в диализирующую жидкость через полупроницаемую мембрану. Его применение способствует выживаемости больных хронической болезнью почек до 84,7% в год при ранней диагностике и использовании процесса гемодиализа. Тогда как при позднем и очень позднем выявлении заболевания выживаемость была ниже. Этот пример является убедительным подтверждением большой значимости заместительной почечной терапии для больных с тяжелой почечной недостаточностью [1, 2].

Почки выделяют отработанные продукты из крови: мочевины, креатинин, мочевую кислоту, фосфаты, избыток воды, которые в виде малых и средних молекул переносятся в диализирующую жидкость через пористую мембрану [3]. Наметилась тенденция оценивать проницаемость мембран по количеству β_2 -микроглобулина (табл. 1) [4].

Таблица 1

Молекулярные массы метаболитов, Да					
Метаболиты					
Малые молекулы		Средние молекулы		Большие молекулы	
Мочевина	60	Сукроза	342	Цитохром С	13400
Креатинин	113	Раффиноза	504	Гемоглобин	68000
Фосфат	136	Витамин В12	1355	Альбумин	69000
Мочевая кислота	168	Инулин	5200		
Глюкоза	180	β 2-микроглобулин	1180		

Одним из основных направлений оптимизации свойств проницаемости мембран и их биосовместимости является модификация материала мембран путем замещения групп в гидрофобном материале на радикалы с повышенной гидрофильностью, которые способствуют увеличению сорбционной способности и проницаемости за счет улучшения смачиваемости мембраны. Также модифицирование материала мембран этим методом, когда вместо части гидроксильных групп используют положительно заряженные радикалы, приводит к повышению градиента концентрации на мембране отрицательно заряженных фосфатов и увеличению их клиренса. Эти методы использованы для повышения основных функциональных свойств мембран толщиной 30 мкм, состоящих из гидрофобного полиэфирсульфона и гидрофильного поливинилпирролидона [5].

Целлюлозная мембрана Netorphan [3] разработана с целью улучшения биосовместимости мембраны из купрофана. В ней заменены некоторые гидроксильные группы положительно заряженными диэтиоламиноэтильными радикалами, которые повышают сорбционную способность мембран для отрицательно заряженных вредных веществ – фосфатов – в крови и увеличивают их проницаемость через пористую мембрану. Эта мембрана сохраняет хорошие механические свойства, характерные для целлюлозных мембран, обеспечивает хорошую биосовместимость при взаимодействии с кровью при повышении проницаемости.

Известен сорбционный биополимер – синтетически модифицированная целлюлоза для мембран гемодиализа, в которой гидрофильные гидроксильные группы заменены гидрофобными бензильными. Это позволяет повысить биосовместимость мембраны, но, однако, приводит к снижению смачивания мембраны кровью, ухудшению ее адсорбционной емкости и проницаемости [5].

Рассмотренные методы повышения функциональных характеристик мембран в настоящее время применяются как на плоских мембранах, так и при использовании в их конструкции волокон нетканого сорбционного материала. Конструкция современных диализаторов способствует разработке и развитию применения эффективных высокопоточных методов гемодиализа. При этом для решения проблем повышения сорбционной емкости и проницаемости мембран для диализа необходимо решить следующие задачи:

- увеличить рабочую поверхность мембраны;
- повысить адсорбцию и проницаемость микробиологических объектов жидких сред, имеющих электроотрицательный заряд;
- придать мембране бактерицидные свойства;
- повысить смачивание рабочей поверхности мембраны очищаемой жидкостью;
- повысить гидрофильность гидрофобных волокон, без отрицательного влияния на биосовместимость, что обычно наблюдается при наличии большого количества гидроксильных групп, например, в целлюлозе.

Рассмотренные технические задачи целесообразно решать путем использования наночастиц с развитой активной поверхностью, хорошо смачиваемой очищаемой жидкостью, обладающих электроположительным зарядом, эффективным для адсорбции отрицательно заряженных молекул, бактерий и вирусов. При этом наибольший положительный эффект будет достигнут при размещении наночастиц на внутренней поверхности волокон мембран, по которым циркулирует кровь.

В данной работе предлагается повышение проницаемости и сорбционной способности при придании материалу мембран бактерицидных свойств при модифицировании полимерного сорбционного материала, обладающего удовлетворительными свойствами биосовместимости с кровью, полисульфона, наночастицами бемита. При этом можно решить все поставленные выше задачи.

Наночастицы бемита, сгруппированные на внутренней поверхности волокон диализатора, способны повысить удельную поверхность, гидрофильность, повысить сорбционную способность и проницаемость мембраны по частицам крови, заряженным отрицательно, например, фосфатам. Известно, что наночастицы гидрата оксида алюминия со структурой бемита обладают антибактериальным эффектом и используются для медицинских покрытий ран, пролежней и ожогов [6].

Конструкция капиллярного диализатора, в котором многочисленные волокна мембраны закреплены с двух сторон фиксирующей их заливкой для циркуляции очищаемой крови и закрыты съемными герметичными крышками, была применена для модифицирования внутренней поверхности волокон наночастицами бемита. В литературных источниках информация о применении метода модифицирования материала в составе мембран диализатора для повышения их сорбционной способности и проницаемости нами не была обнаружена.

Введение наночастиц бемита размером 30-50 нм в волокна мембраны из полисульфона длиной 270 мм с внешним диаметром 280 мкм, внутренним диаметром 200 мкм, толщиной пористой стенки ~ 40 мкм проводили методом пропитки. Предварительно по объему каналов 11300 волокон было смоделировано необходимое количество суспензии на основе дистиллированной воды и гидрата оксида алюминия, оно составило 100 мл. При

хранении наночастиц в виду их развитой активной поверхности происходит их слипание в агломераты. Для улучшения процесса диспергирования агломератов наночастиц в суспензию на водной основе, содержащую 8 мас.% наночастиц бемита, вводили поверхностно-активное вещество (ПАВ) ПЭГ-400 концентрацией раствора 2,5% [7].

Сначала волокна мембраны пропитывали с одной стороны в УЗ-ванне УЗУМИ-2 при рабочей частоте преобразователей 35 кГц в течение 5 мин при открытых крышках диализатора. Этот метод удобен и быстр, однако, как видно из табл. 2, он позволяет ввести только 30 мл пропитывающей суспензии.

Таблица 2

Изменение веса диализатора после пропитки волокон мембраны для модифицирования волокон на их внутренней поверхности наночастицами бемита при сушке в сушильном шкафу

№ п/п	Состояние диализатора во время сушки	Вес образца, г	Разница в весе, г
1	Исходное	152	0
2	После пропитки под УЗ	182	30
3	После пропитки под УЗ и закапыванием	252	100
3.1	Сушка в течение 1,5 ч	167	15
3.2	Сушка в течение 2,5 ч	164	12
3.3	Сушка в течение 4,5 ч	163	11
3.4	Сушка в течение 5 ч	160	8
3.5	Сушка в течение 9 ч	160	8
3.6	Сушка в течение 9,5 ч	160	8

Поэтому пропитку волокон остальной частью суспензии выполняли закапыванием ее с другой стороны диализатора при закрытой нижней крышке до увеличения веса диализатора на 70 г. После сушки диализатора с пропитанными волокнами до постоянного веса при температуре 90 °С в сушильном шкафу в течение 5-9 ч на внутренней поверхности волокон сгруппировано 8 г наночастиц бемита.

В качестве модельного адсорбата был выбран анионный краситель эозин (C₂₀H₆O₅Br₄K₂) с исходной концентрацией 500 мг/л. По размеру эозин сопоставим с размерами молекул веществ крови, подлежащих удалению при гемодиализе (табл. 3).

Таблица 3

Параметры молекул веществ крови

Вещество	Масса молекулы, Д	Размер молекулы, Å	Коэффициент просеивания
Мочевина	60	5,1	1,00
Сукроза	342	92	0,79
Витамин В12	1355	14,6	0,63
Инулин	5200	22,9	0,31
Эозин	-	12,0	-

Необходимое количество раствора эозина, так же как и количество пропитывающей суспензии, которые выполнены на основе дистиллированной воды, моделировали, исходя из объема полый части волокон, заполненных дистиллированной водой, что составило 100 мл.

Раствор эозина пропускали через исходный сорбционный материал – полисульфон и через модифицированный сорбционно-бактерицидный материал на основе полисульфона, модифицированный электроположительными наночастицами бемита, которые находились в составе мембран диализатора.

При этом материал мембраны сорбирует и пропускает электроотрицательные частицы эозина.

Концентрацию эозина в диализирующей дистиллированной воде в диализаторе в процессе его массопереноса через мембрану из волокон, модифицированных наночастицами на внутренней поверхности, определяли на спектрофотометре Evolution 300 при аналитической длине волны для эозина 513 нм.

Расчет концентрации эозина выполняли по формуле

$$C_x = \frac{D_x}{\varepsilon * l},$$

где C_x – концентрация исследуемого раствора, мг/мл,

D_x – оптическая плотность исследуемого раствора,

ε – молярный коэффициент поглощения исследуемого раствора, соответствует длине волны при максимальном поглощении, нм,

l – толщина слоя (в используемом спектрофотометре равна 1 см).

Оценка переноса вещества через мембрану показала низкую диффузию эозина через поры полисульфона. Вклад сорбционной емкости полисульфона по эозину в изучаемом процессе незначителен и, рассчитанный по формуле, не превышал 1,65 мг/г. Через 60 мин концентрация исследуемого раствора не превышала $13,65 * 10^{-6}$ мг/мл и мало изменялась с увеличением времени диализа.

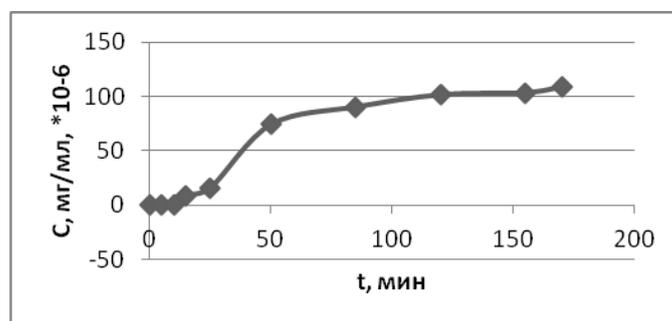


Рис. 1. Динамическая кривая массопереноса эозина волокнистым сорбционным материалом полисульфоном, модифицированным наночастицами бемита

Оценка массопереноса через модифицированную мембрану проводилась анализом динамической кривой. На динамической кривой массопереноса молекул эозина (рисунок) из волокон, внутренняя поверхность ко-

торых покрыта наночастицами бемита, имеется участок нулевых концентраций, после чего через ~ 15 мин результаты свидетельствуют о возрастании скорости массопереноса молекул эозина через мембрану в диализирующую дистиллированную воду и достижении значений $113 \cdot 10^{-6}$ мг/мл.

Таким образом, модифицирование мембраны, выполненное в работе, привело к повышению ее проницаемости не менее чем в 8,3 раза. Это свидетельствует о том, что процесс пропитки волокон полисульфона наночастицами бемита не приводит к закупориванию пор в мембране и обеспечит качественный процесс гемодиализа.

Выводы

Предложен новый метод повышения сорбционной способности и проницаемости мембраны гемодиализатора путем группировки наночастиц на внутренней поверхности ее волокон. Наночастицы бемита размером 30-50 нм способствуют повышению функциональных характеристик диализатора за счет повышения удельной поверхности мембраны, их гидрофильности, электроположительного заряда и бактерицидности.

Список источников

1. Воеводина Н.В., Лидохова О.В., Макеева А.В. Оценка эффективности гемодиализа как метода заместительной терапии при хронической почечной недостаточности // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – № 4-7.
2. Дорофеева Н.И. Исследование скорости удаления метаболитов из отработанного диализата // Молодой учёный. – 2015. № 10 (90). – С. 200-203.
3. Бекман И.Н. Мембраны в медицине: курс лекций. М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2010. – URL: <http://profbeckman.narod.ru/MedMemb.htm>
4. Строков А.Г., Поз Я.Л. Высокая проницаемость мембран для гемодиализа: плюсы и минусы. // Вестник трансплантологии и искусственных органов. – 2018. – Т. 20. – № 4. – С. 100-106.
5. Каграманов Г.Г. Диффузионные мембранные процессы: учеб. пособие. – М. РХТУ им. Менделеева. – 2009. – 73 с.
6. Марченко И.Н. Синтез и коллоидно-химические свойства гидрозолей бемита и смешанных дисперсий $AlOOH-ZnO$: дис. ... канд. техн. наук: 02.00.11. – М.: Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, 2017. – 114 с.
7. Влияние импрегнации наноструктурированных бемитом на структуру и свойства плазмонапыленных керамических покрытий / Мельникова И.П., Лясникова А.В., Веселухина С.В., Гринев В.С., Сурменко Е.Л. // Письма в «Журнал технической физики». – 2014. – Т. 40. – Вып. 19. – С. 34-41.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПАССИВНОЙ ФИКСАЦИИ В ЭНДОПРОТЕЗЕ ЛОКТЕВОГО СУСТАВА

Андриянова Н.В., Пичхидзе С.Я., Фадеева Ю.С.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Пичхидзе С.Я.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В работе предложен способ модернизации эндопротеза локтевого сустава в интересах снижения вероятности его расшатывания. Также предложен метод повышения остеоинтеграции путем нанесения покрытия на ножки с помощью микродугового оксидирования. С помощью исследований на твердомере показано, что при токе 4,5А в течение 5 минут покрытие получилось более равномерным, чем при меньшем токе.

Ключевые слова: эндопротезирование, титан, прочность, локтевой сустав, МДО

Известно, что протез – искусственное приспособление, способное заменить функцию определенного органа. Если он располагается внутри человеческого тела, то он называется эндопротезом [1].

Достаточно активно применяется эндопротезирование локтевого сустава. Это связано с тем, что заболевания и травмы локтевого сустава, приводящие к тяжелым последствиям, встречаются достаточно часто и составляют соответственно 5,5 – 9,7 и 11,4 – 20 %. Известно, что даже незначительная травма локтевого сустава, без переломов костей, конгруэнтности суставных поверхностей, повреждений мышечно-связочного аппарата могут приводить к тяжелым осложнениям. Замена поврежденного сустава тотальным эндопротезом в таком случае является одним из самых эффективных методов лечения [2].

Как правило, полный эндопротез локтевого сустава состоит из двух частей – локтевой и плечевой. Локтевая часть состоит из ножки в виде цилиндрического стержня с продольными канавками и суставного компонента, который соединен с ножкой по внутреннему конусу. Плечевая часть включает в себя ножку в виде цилиндрического стержня с продольными канавками, переходную вилку, соединенную с ножкой по внутреннему конусу, и полиэтиленовую головку, которая соединена с вилкой при помощи пазов. Как правило ножка локтевой части протеза, относительно суставной вилки, выполнена под углом с внутренним наклоном [3].

Протезирование локтевого сустава, как и любая другая хирургическая операция, способна вызвать определенные осложнения. Одним из распространенных видов осложнений является расшатывание ножек протеза в костных каналах в 13,7 % случаев [4].

Цель работы: исследование механизмов, материалов и метода МДО, применяемых при эндопротезировании и модернизация конструкции существующей модели эндопротеза локтевого сустава для снижения вероятности расшатывания ножек протеза в костных каналах и увеличения срока службы эндопротеза.

Предлагаемое решение: Обеспечение стабильности крепления ножки эндопротеза достигается путем добавления круглых отверстий в плечевой части и последующим нанесением покрытия с помощью МДО. При установке локтевого эндопротеза используется бесцементная фиксация, поэтому полученное покрытие будет создавать дополнительную остеоинтеграцию, тем самым уменьшая расшатывание плечевой кости.

Расчет статических нагрузок: поскольку конструкция эндопротеза была модифицирована за счет изменения конструкции ножки было принято решение провести расчёт статических нагрузок на полученную деталь.

В качестве материала, используемого в симуляции, использовался сплав Ti-6Al-4V, имеющий наилучшие прочностные характеристики при требуемой биосовместимости.

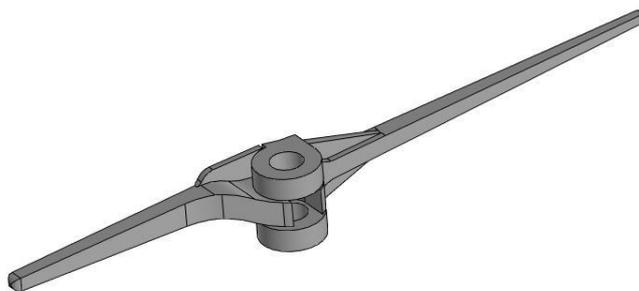


Рис. 1. Конструкция локтевого протеза

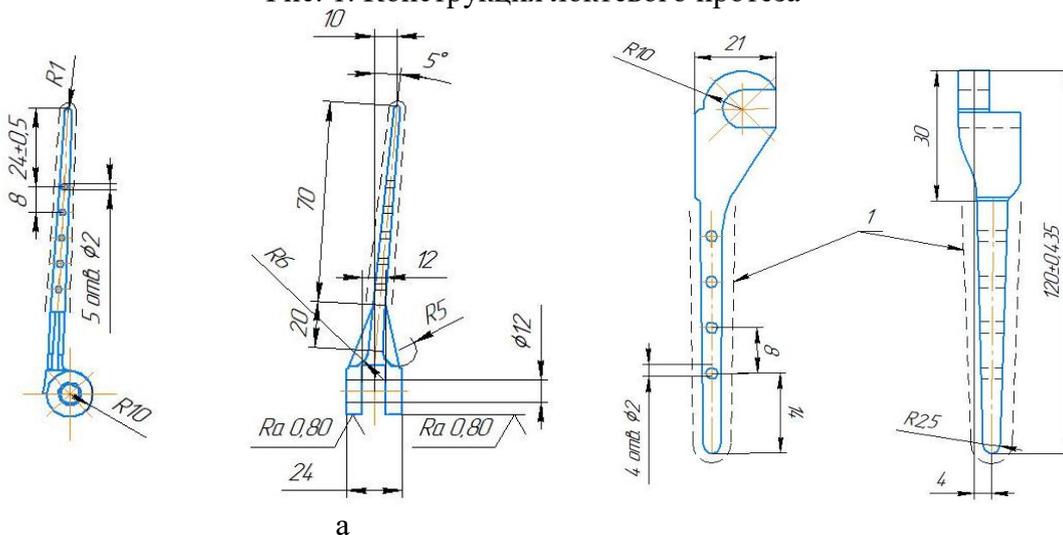


Рис. 2. Чертеж конструкции локтевого эндопротеза с отверстиями, под цифрой 1 указано покрытие МДО:
а – плечевая часть; б – локтевая часть

Возможны погрешности размеров: $\pm 0,01$ мм.



Рис. 3. Конструкция плечевой ножки локтевого протеза с отверстиями

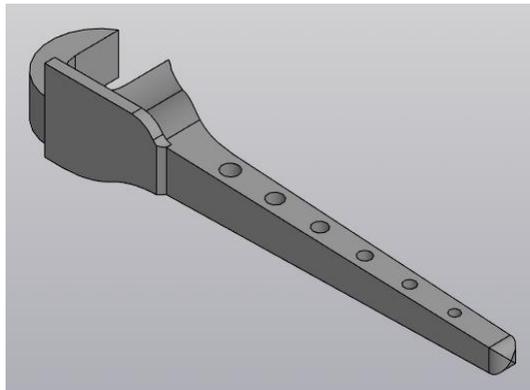


Рис. 4. Конструкция локтевой ножки локтевого протеза с отверстиями

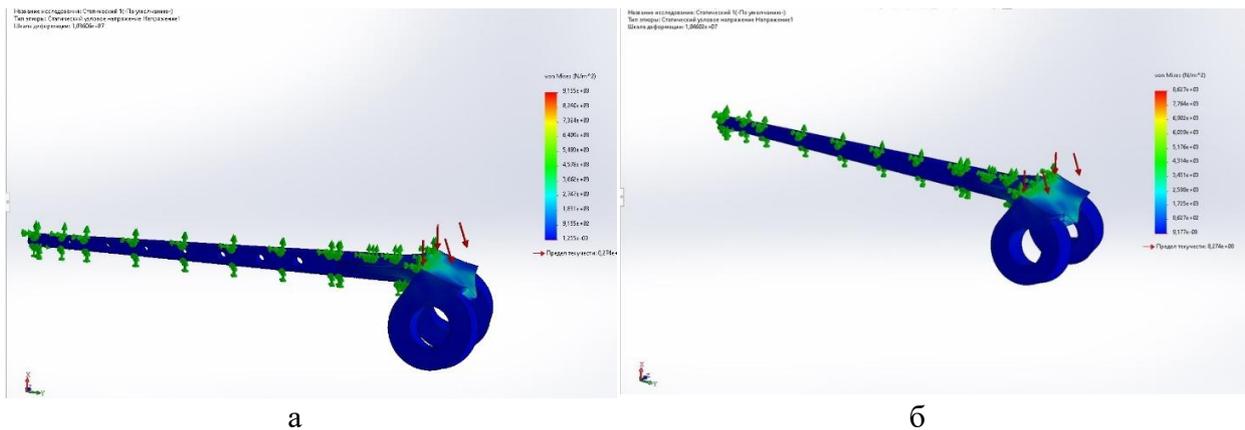


Рис. 5. Расчет НДС плечевой части по Мизесу с нагрузкой 300 Н:
а – с отверстиями; б – без отверстий

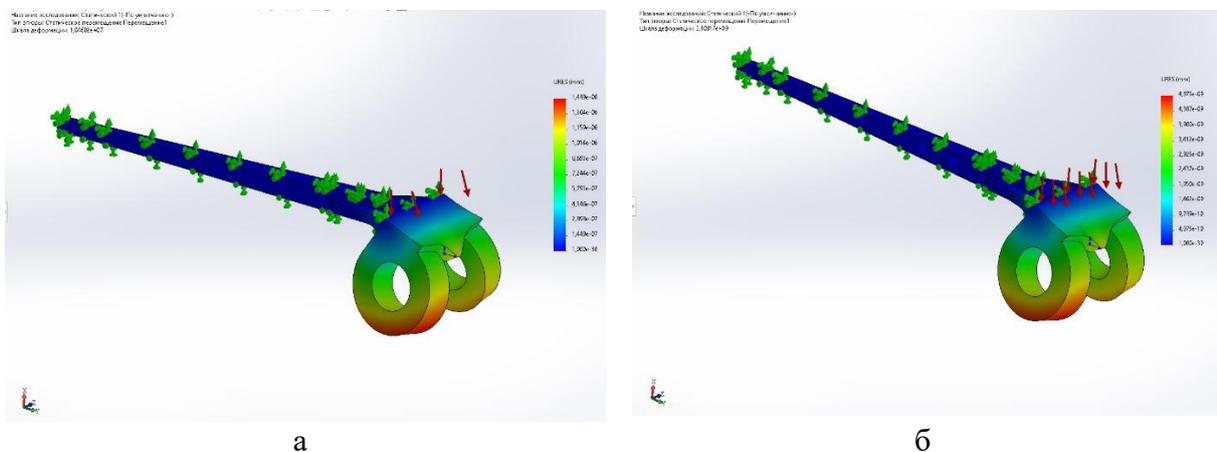


Рис. 6. Расчет НДС плечевой части с нагрузкой 300 Н (статическое перемещение):
а – с отверстиями; б – без отверстий

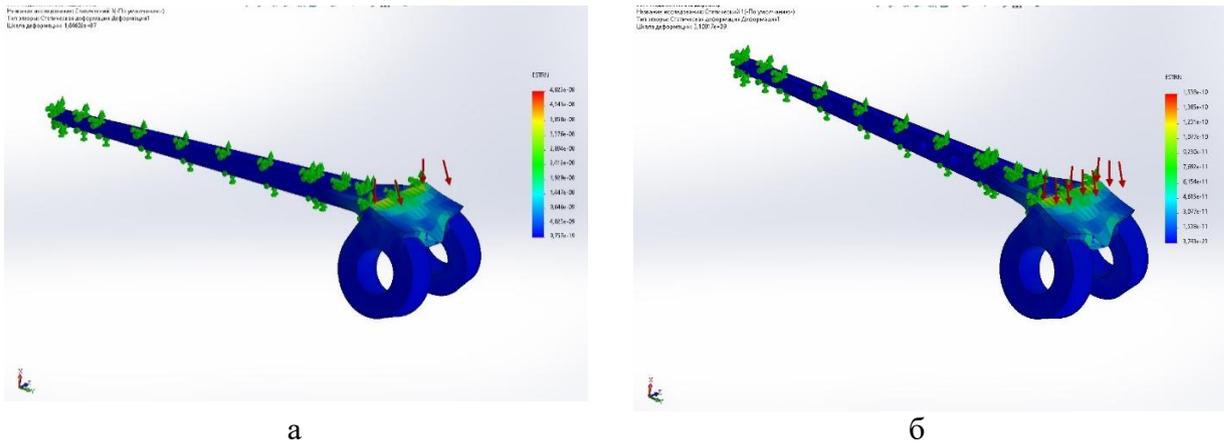


Рис.7. Расчет НДС плечевой части с нагрузкой 300 Н (статическая деформация):
а – с отверстиями; б – без отверстий

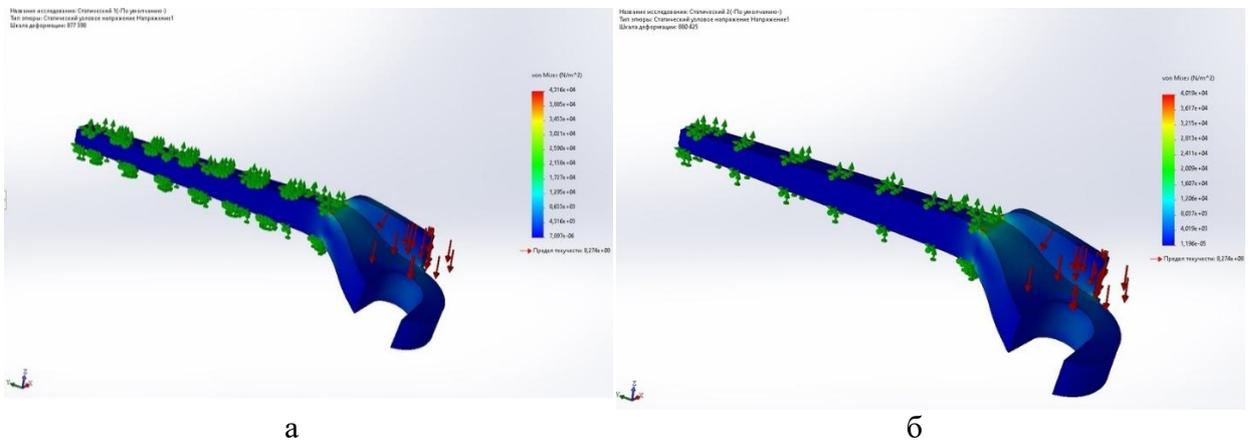


Рис. 8. Расчет НДС локтевой части по Мизесу с нагрузкой 300 Н:
а – с отверстиями; б – без отверстий

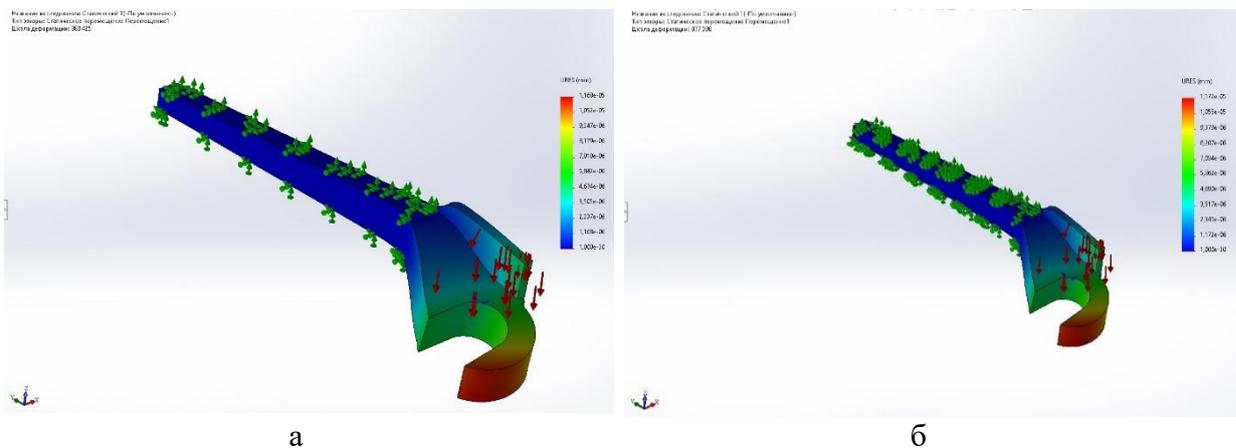


Рис. 9. Расчет НДС плечевой части с нагрузкой 300 Н (статическое перемещение):
а – с отверстиями; б – без отверстий

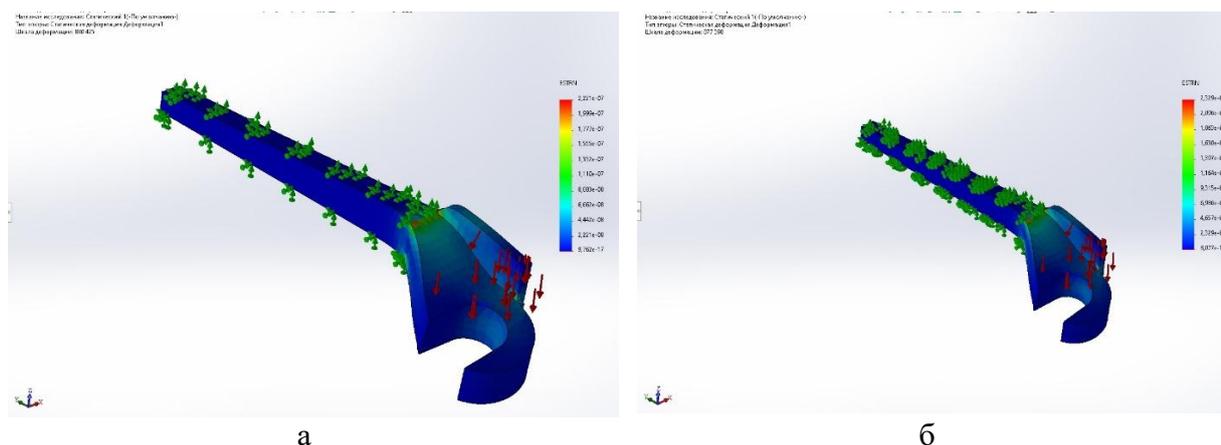


Рис. 10. Расчет НДС плечевой части с нагрузкой 300 Н (статическая деформация):
а – с отверстиями; б – без отверстий

Для исследования были взяты 4 образца из титана ВТ6Л размером $10 \times 10 \times 1 \text{ мм}^3$.

Для очищения от загрязнений и подготовки поверхности для напыления была проведена воздушно-абразивная обработка поверхностей образцов корундовым порошком в течение 10-20 с. под давлением $P = 0,4-0,6 \text{ МПа}$. Обработка была выполнена с помощью эжекционной установки «Чайка-20».

После воздушно-абразивной обработки проведено ультразвуковое обезжиривание в ультразвуковой ванне «УЗУМИ-2». При ультразвуковом обезжиривании использовался водный раствор (3...5 г/л Na_3PO_4 и 3...5 г/л поверхностно-активного вещества ОП-10), частота колебаний – 35 кГц, продолжительность обработки – 5 мин.

После подготовки образцов было проведено микродуговое оксидирование на экспериментальном стенде.

В качестве раствора для МДО использовался раствор NaOH концентрацией 3г/л.

Таблица 1

Режимы МДО		
№	Ток, А	Время
1	2,7	5
2	3,5	5
3	4	5
4	4,5	5

Все образцы после МДО сушили в муфельной печи ОВЕН ТПН-1 при 110°C по 10 минут.

Так как при МДО получается аморфная структура, отожгли образцы в муфельной печи при 700°C 10 минут и оставили остывать на 10 часов.

Для анализа микротвердости использовались нагрузка на индентор Виккерса, равная 100 г и 200 г, и выдержка 15 с (ГОСТ 9450-76).

Результат анализа представлен в табл. 2.

Таблица 2

Анализ микротвёрдости поверхности

Образец	Нагрузка на индентор, Н	Значение микротвердости					Среднее значение, HV
1	0,981	365	392	378	518	2400	810±10
1	1,962	580	380	830	240	545	515±10
2	0,981	1500	1950	730	800	219	1039±10
2	1,962	535	500	440	590	760	565±10
3	0,981	840	518	1110	240	680	677±10
3	1,962	535	1430	644	1648	3400	1531±10
4	0,981	660	1600	1200	800	572	966±10
4	1,962	388	923	360	535	2000	841±10

На образце 4 микротвёрдость распределена более равномерно.

Из исследованных образцов наилучшим является образец 4 с покрытием МДО, проведенным при токе 4,5 в течение 5 минут. Покрытие данного образца составляет лучшее сцепление с напыляемой поверхностью.

Выводы: проведено исследование механизмов, материалов и метода МДО, применяемых при эндопротезировании и модернизация конструкции существующей модели эндопротеза локтевого сустава для снижения вероятности расшатывания ножек протеза в костных каналах и увеличения срока службы эндопротеза.

Список источников

1. Протезирование: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 103314047, сохранённая в 21:24 UTC 13 ноября 2019 / Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2019. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=103314047>.

2. Слободской А.Б., Прохоренко В.М., Дунаев А.Г. Эндопротезирование локтевого сустава // Гений ортопедии. №3. – С. 61–65.

3. Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования – М.: – Чебоксары, 2017. – Режим доступа: <http://www.orthoscheb.com/technology/endoprotezirovanie-sustavov/> ФГБУ «РНИИТО им. Р.Р. Вредена» – М.: Санкт-Петербург. – Режим доступа: https://www.rniito.org/r/otdelenie_travmatologo_ortopedicheskoe_21/endoprotezirovanie_loktevogo_sustava.html.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ КОРПУСА КАПСУЛЫ ДЛЯ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

Камышева Ю.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Маркелова О.А.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В статье предложена модернизация деталей корпуса капсулы для адресной доставки лекарственных веществ. Рассмотрены элементы корпуса, а также предполагаемый материал для изготовления.

Ключевые слова: капсула, лекарственное вещество, полиэтилен высокого давления, микротвердомер, разрывная машина

На сегодняшний день перспективным направлением развития систем доставки лекарств является разработка интеллектуальных систем (ИС), в том числе «умных» капсул для персонализированной медицины. Актуальность применения ИС заключается в том, что лекарственные средства доставляются в определенную локализованную область путем фиксации и диагностики патологий и окружающих тканей, а также навигации в пространстве, что отличает их от обычных препаратов [1].

В предыдущих статьях был рассмотрен вариант конструкции капсулы, представленный на рис. 1 [2].

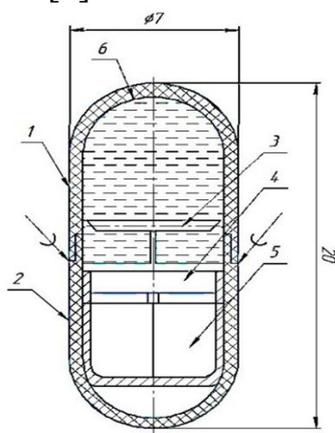


Рис. 1. Авторская модернизация капсулы: 1 – верхний корпус капсулы; 2 – нижний корпус капсулы; 3 – игла; 4 – пьезоэлемент; 5 – электроника; 6 – отсек с лекарством

На данный момент предложено следующее проектно-конструкторское решение – верхнюю и нижнюю часть корпуса спроектировать таким образом, чтобы элементы соединялись с натягом, образуя при этом систему вала и отверстия (рис. 2).

Данные элементы капсулы планируется изготовить литьем под давлением полиэтилена высокого давления (ПВД) марки 17603-006. Элементы

корпуса предполагается соединить горячей посадкой для сохранения целостности электронного устройства во время нахождения капсулы внутри желудочно-кишечного тракта.

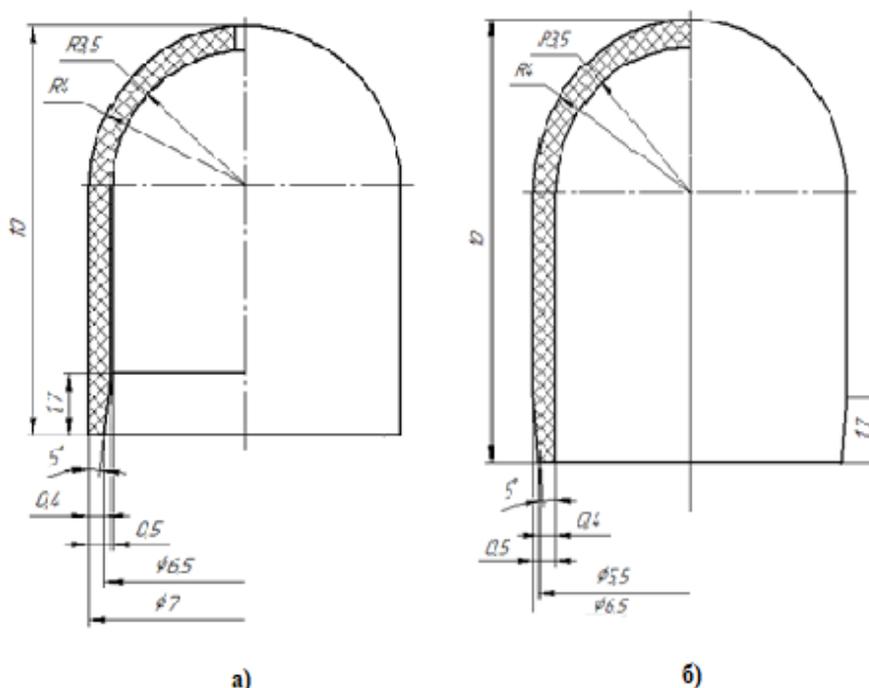


Рис. 2. Элементы модернизируемой капсулы: а – верхний корпус капсулы; б – нижний корпус капсулы

Были проведены серии опытов, в которых рассматривалась твердость и исследования полимера на разрыв.

Твёрдость измерялась с помощью микротвердомера Shahe LXD-A (рис. 3), метод измерения – по Шору.

В ходе проведенного измерения средняя твердость по Шору равнялась 62,5, что соответствует очень высокой твердости по шкале D для данного метода измерения.

Исследование на разрыв проводилось при помощи разрывной машины ИР 5082 – 100 (рис. 4).



Рис. 3. Микротвердомер Shahe LXD-A



Рис. 4. Разрывная машина ИР 5082 – 100

Значения для трех образцов исследованного материала показаны в таблице.

Характеристика образцов полимера ПВД марки 17603-006

№ п/п	Габариты образца, мм	Скорость нагрузки, приложенной к образцу, кН/с	Напряжение образца, МПа	Относительное удлинение, %
1	6,9×3×0,95	0,2	31	8.5
2	6,7×3×0,95	0,2	22	5
3	6,9×4×0,95	0,2	15	11,5

По полученным данным можно судить о приемлемой деформации материала под воздействием иглы (предполагаемая нагрузка со стороны иглы – от 40 до 50 Н).

Исходя из вышеописанного, можно сделать следующие выводы: детали корпуса должны образовывать систему вала и отверстия, соединяться с помощью горячего натяга, и одновременно изготавливаться из достаточно прочного материала для сохранности электронного устройства (с микротвердостью не менее 62,5 по Шору и с напряжением не менее 15 МПа) в условиях внутрибрюшного давления ($9,33 \cdot 10^{-6}$ МПа).

Список источников

1. Галиуллина Л.Ф. Принципы и системы адресной доставки лекарственных средств: учебное пособие. – Казань: Издательство Казанского университета, 2021. – 172 с.
2. Камышева Ю.В. Разработка электронного устройства капсулы для адресной доставки лекарственных веществ // Перспективные материалы и высокоэффективные процессы обработки: сб. материалов Всерос. молодежной конф., Саратов, 18-19 мая 2022 г. / под. общ. ред. д-ра. техн. наук, доцента А.А. Фомина. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2022. 380 с.
3. Камышева Ю.В. Технологический процесс изготовления элементов капсулы для адресной доставки лекарственных веществ // Перспективные материалы и высокоэффективные процессы обработки: сб. материалов Всерос. молодежной конф., Саратов, 18-19 мая 2022 г. / под. общ. ред. д-ра. техн. наук, доцента А.А. Фомина. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2022. 380 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА СЛУХОВОГО АППАРАТА

Гуманюк А.Д.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Пичхидзе С.Я.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В ходе работы построена математическая модель корпуса слухового аппарата, изготовленного из пластика ABS, рассмотрены прочностные характеристики конструкции.

Ключевые слова: корпус слухового аппарата, пластик, прочность

Слуховой аппарат представляет собой искусственную конструкцию, предназначенную для улучшения восприятия звука. Конструкция корпуса состоит из 4 частей: лючок, батарейный отсек, левая часть, правая часть [1–4].

Наиболее распространенными материалами для корпуса слухового аппарата является пластик ABS.

Цель работы: анализ конструкции корпуса слухового аппарата.

Разработанная конструкция корпуса слухового аппарата, изготовленного из пластика ABS, представлена на рис. 1.

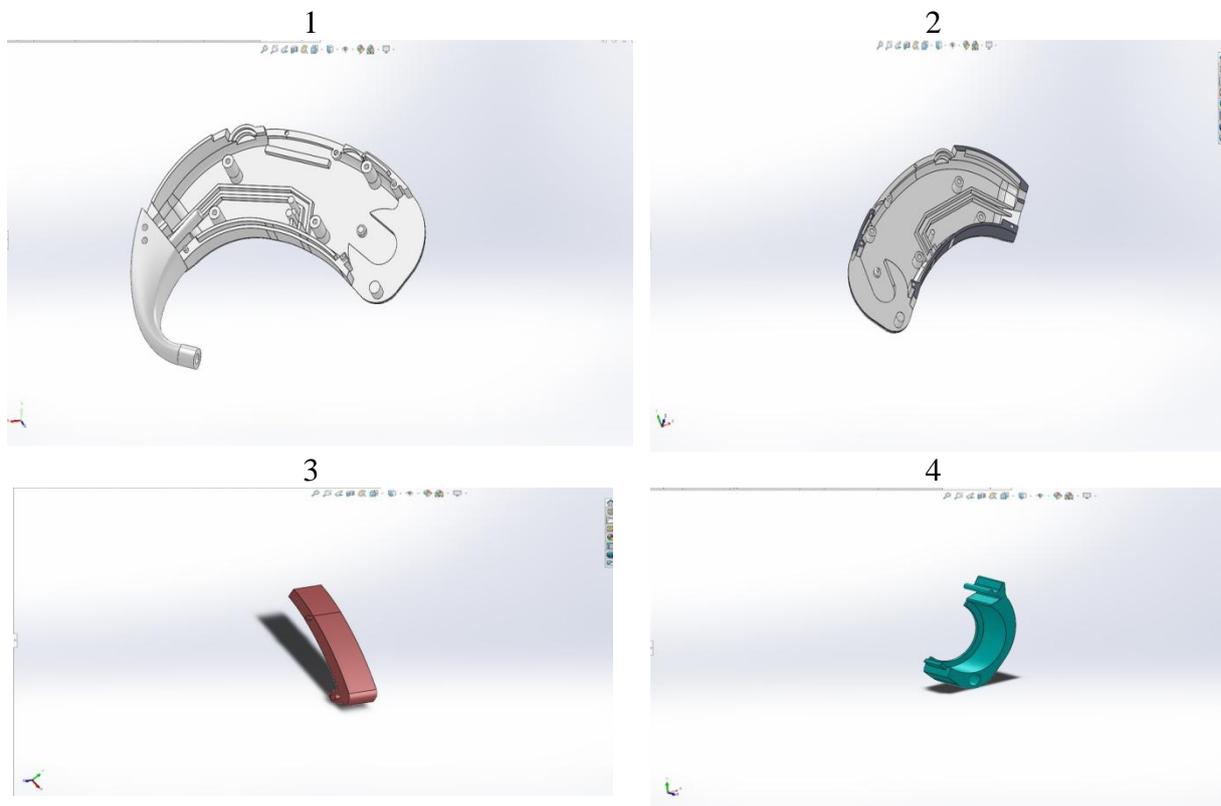


Рис. 1. Общий вид корпуса слухового аппарата с разработанными деталями:
1- правая часть, 2 – левая часть, 3 – лючок, 4 – батарейный отсек

Для расчета прочностных характеристик корпуса слухового аппарата использована программа SOLIDWORKS.

Для оценки работоспособности корпуса слухового аппарата проведен расчет запаса прочности модели в разобранном виде при нагрузках в 10, 20 и 30 Н для правой части, и в 1, 2 и 3 Н для левой части. Запас прочности корпуса составляет примерно 7,4, 7,6 и 7,8 раз для правой части, и 0,5, 1,1, 1,6 раз для левой части корпуса, соответственно, рис. 2. Основываясь на результатах расчета НДС был построен график зависимости запаса прочности от нагрузки (рис. 3, 4).

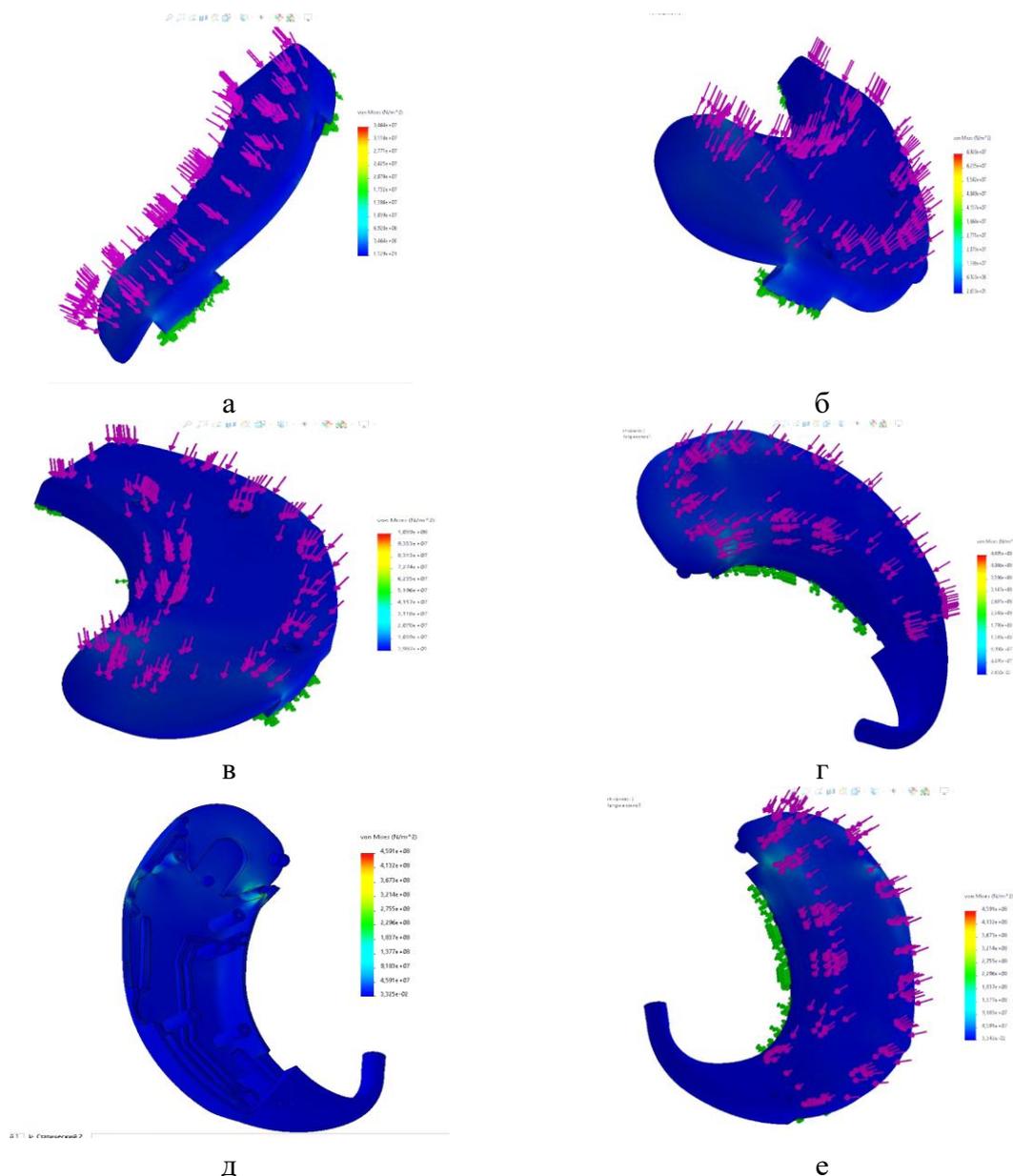


Рис. 2. Статический анализ напряжений деталей корпуса слухового аппарата, где: а – эпюра напряжений левой части при нагрузке 1 Н, б – эпюра напряжений левой части при нагрузке 2 Н, в – эпюра напряжений левой части при нагрузке 3 Н, г – эпюра напряжений правой части при нагрузке 10 Н, д – эпюра напряжений правой части при нагрузке 20 Н, е – эпюра напряжений правой части при нагрузке 30 Н

Проведенный расчет запаса прочности для правой части при нагрузках 10, 20 и 30 Н показал, что с ростом нагрузки запас прочности пропорционально падает с 7,4 до 7,8 раз, при нагрузках 1, 2 и 3 Н запас прочности для левой части корпуса пропорционально падает с 0,5 до 1,6 раз.

Графики изменения запаса прочности при нагрузках на правую и левую части корпуса слухового аппарата представлены на рис. 3, 4.



Рис. 3. Зависимость запаса прочности от нагрузки на левую часть корпуса

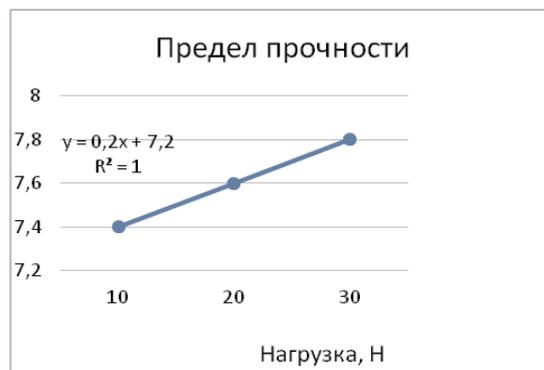


Рис. 4. Зависимость запаса прочности от нагрузки на правую часть корпуса

Выводы: проведен анализ конструкции корпуса слухового аппарата. Показано, что корпус слухового аппарата из пластика ABS достаточно прочный и способен выдерживать требуемые нагрузки.

Список источников

1. Плавинский А. Н. Строение уха человека: медицинский справочник. 2018. – 154 с.
2. Кудряшова В. А., Яковлева И. А., Фаткуллина О. И. Анатомия и физиология слухового аппарата: учеб. пособие. М., 2014. – 239 с.
3. Куклина Г. М., Рябинина С. В., Муравьев Е. Ю. Основы анатомии и физиологии слуха. – М., 2016. – 119 с.
4. Баксеев В.В. Физиология слуха: учеб. пособие. – М., 2011. – 58 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ МЕМБРАНЫ ТОНОМЕТРА ВГД

Краморев Д.В.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Пичхидзе С.Я.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В ходе работы построена математическая модель мембраны контроля давления, изготовленного из бериллиевой меди (UNS C17300, отечественный аналог В 196М-90), рассмотрены характеристики конструкции.

Ключевые слова: мембрана, тонометр, бериллиевая медь

Первичным преобразователем в манометрических приборах является чувствительный элемент – упругая мембрана. Мембрана представляет собой тонкую круглую оболочку, заделанную по контуру. Она может быть плоской, выпуклой или гофрированной, выполненной из металла или неметаллических эластичных материалов. Обычно используют способность мембраны преобразовывать распределенную силу, в виде давления, в прогиб или в сосредоточенную силу.

Наиболее распространенными материалами для создания мембран используются высококачественные пружинные материалы: коррозионно-стойкие стали (08X18H10T), бериллиевые бронзы, меди (БрБ2, БрБНТ1,9), прецизионные сплавы (36НХТЮ, 36НХТЮМ) и др.

Цель работы: анализ конструкции мембраны тонометра ВГД.

Разработанная конструкция мембраны, изготовленной из бериллиевой меди (UNS C17300, отечественный аналог В 196М-90), представлена на рис. 1-2.

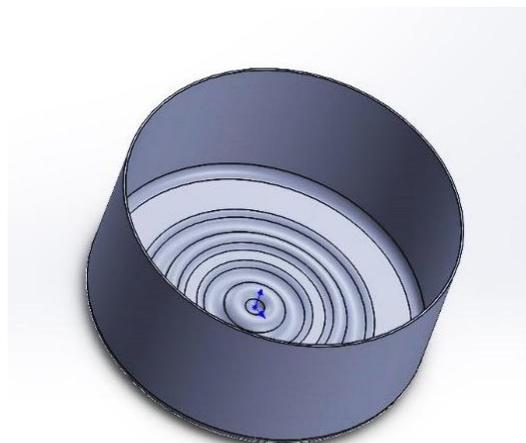


Рис. 2. Конструкция мембраны тонометра ВГД

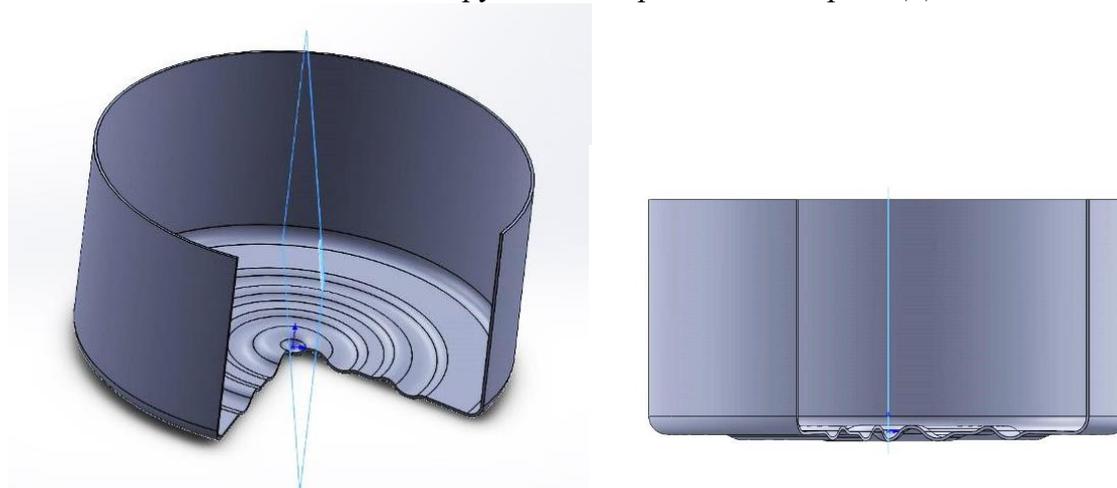


Рис. 2. Разрез конструкции мембраны тонометра ВГД

Основными особенностями разработанной конструкции является более линейная характеристика и максимальный прогиб жесткого центра. Это объясняется тем, что материал мембраны при наличии гофров в боль-

шей степени работает на изгиб, чем на растяжение, в отличие от плоских мембран, которые имеют нелинейную характеристику, малую чувствительность и незначительные деформации, применяющиеся обычно для преобразования давления в сосредоточенную силу.

Для расчета характеристик мембраны была использована программа SolidWorks 2020. Нагрузки, приложенные к модели, соответствовали нагрузкам, применяемым при медицинском исследовании внутриглазного давления (40 мм рт. ст. – 0.0053 МПа, без учета атмосферного давления).

Полученные эпюры напряжений и перемещений представлены на рис. 3-6.

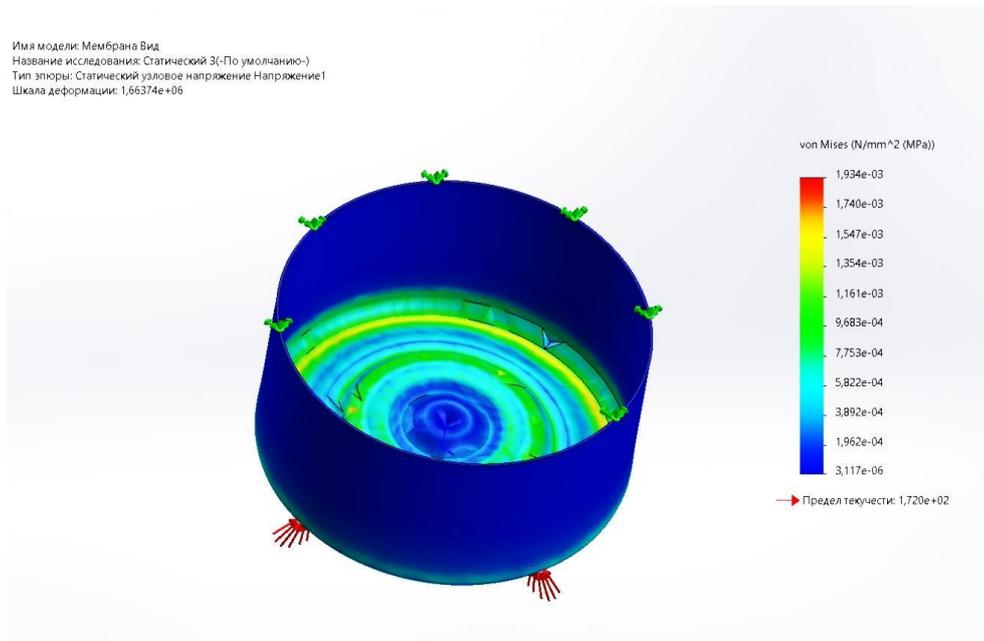


Рис. 3. Эпюра напряжений, вид 1

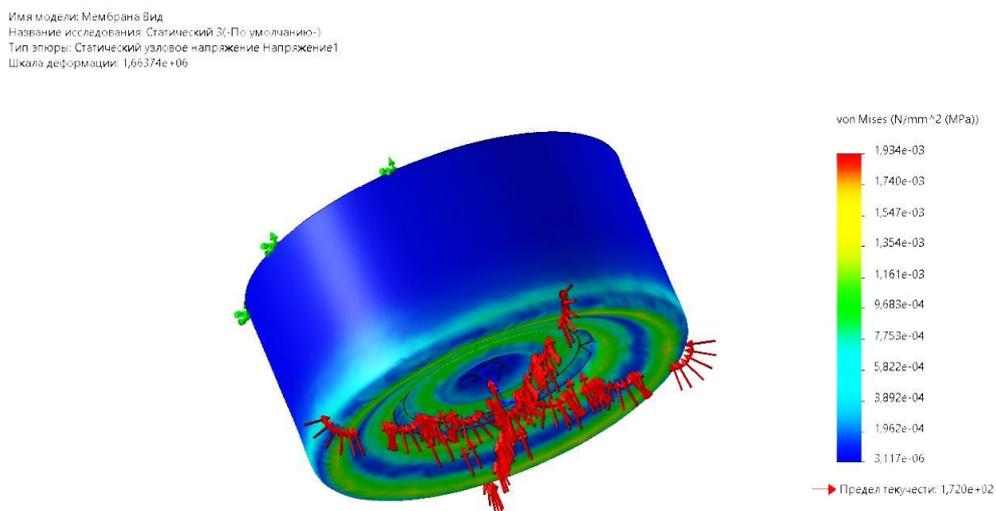


Рис. 4. Эпюра напряжений, вид 2

Имя модели: Мембрана Вид
Название исследования: Статический 3(-По умолчанию-)
Тип эпоры: Статическое перемещение Перемещение1
Шкала деформации: 1,66374e+06

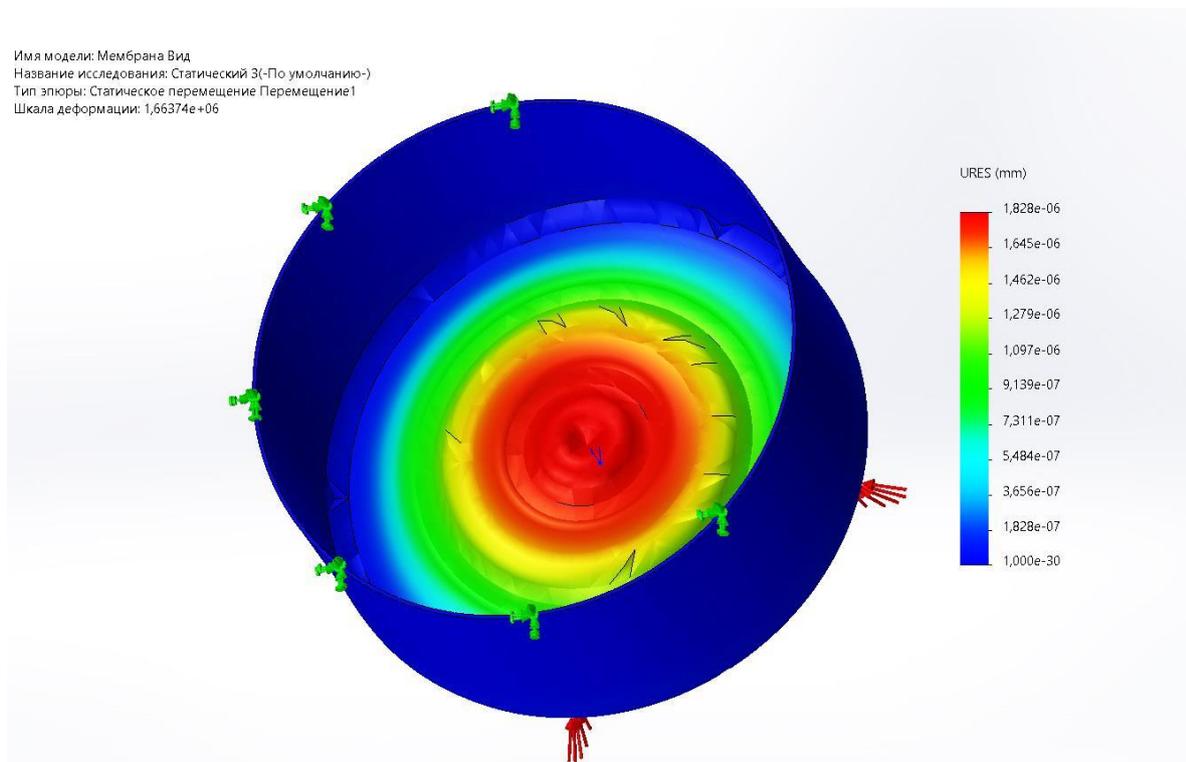


Рис. 5. Эюра перемещения, вид 1

Имя модели: Мембрана Вид
Название исследования: Статический 3(-По умолчанию-)
Тип эпоры: Статическое перемещение Перемещение1
Шкала деформации: 1,66374e+06

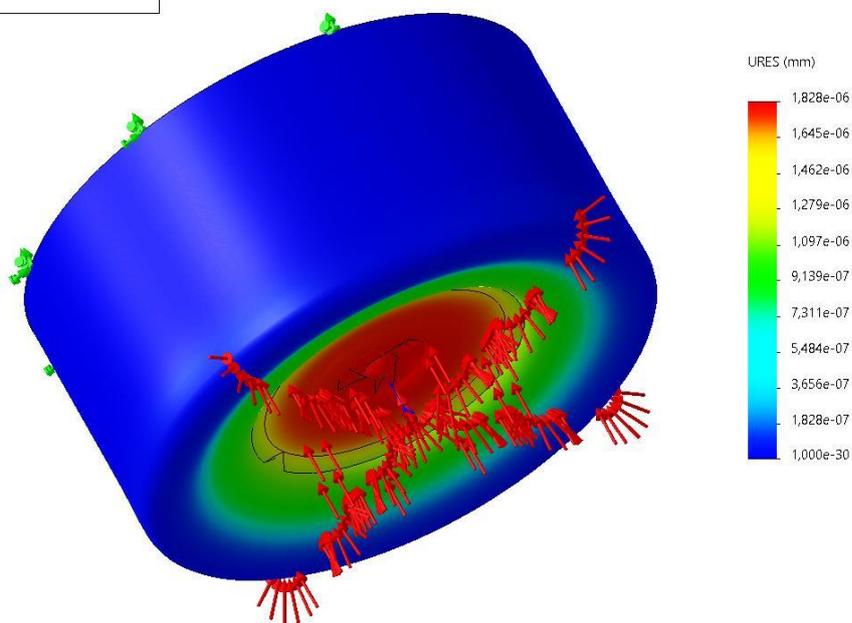


Рис. 6. Эюра перемещения, вид 2

Из данных, полученных при анализе воздействия рабочего давления величиной 40 мм рт. ст. относительно атмосферного, можно сделать вывод о достаточном высоком запасе прочности, т. к. диапазон рабочего давле-

ния не выходит за предел текучести (рабочее давление: 40 мм рт. ст.= 0.0053 МПа, 50 мм рт. ст.= 0.0066 МПа), а также оптимальном ходе мембраны (рис. 7).

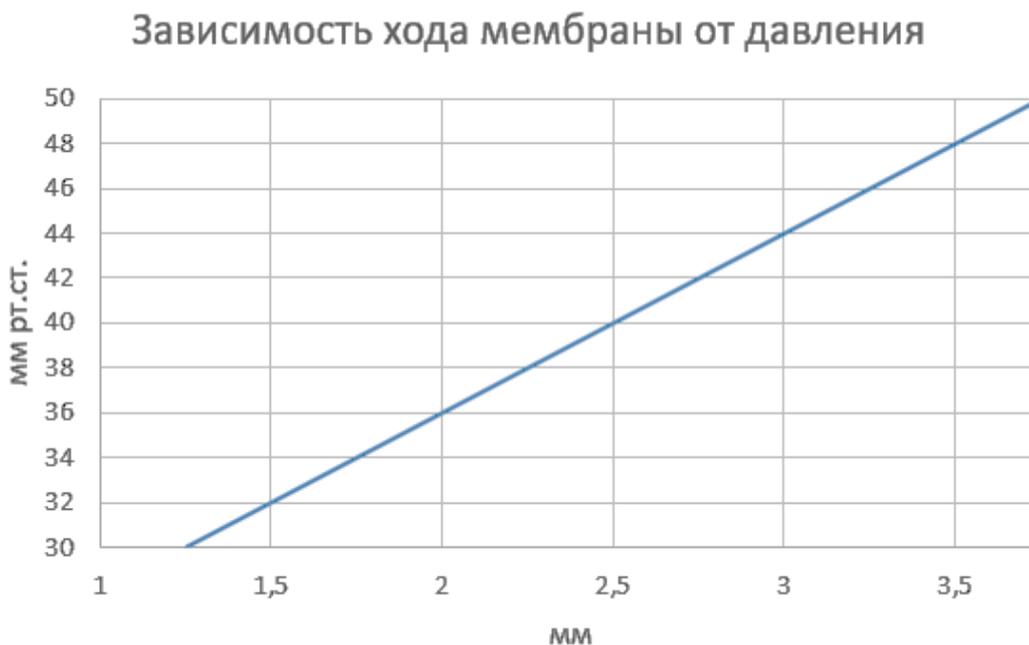


Рис. 7. График зависимости хода мембраны от давления

Выводы: предложенная конструкция мембраны подходит для работы в тонометре внутривидеального давления пневматического принципа работы.

Список источников

1. Агеев Е.П. Автоколебательный массоперенос через полимерные мембраны // Рос. хим. ж. 1996. Т. 60. № 2. С. 62–76.
2. Грязнов В.М. Система мембрана – катализатор // Крит. технол. мембраны. 1999. № 3. С. 3–9.
3. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. М.: Химия. 1978. 352 с.
4. Заболоцкий В.И., Никоненко В.В. Перенос ионов в мембранах. М.: Наука, 1996. 392 с.
5. Мулдер М. Введение в мембранную технологию. М.: Мир, 1999. 573 с.
6. Нечаев Н.Н., Березкин В.В., Виленский А.И. и др. Асимметричные трековые мембраны // Крит. технол. мембраны. 2000. № 6. С. 17–25.
7. Николаев Н.И. Диффузия в мембранах. М.: Химия, 1980. 232 с.
8. Тимашев С.Ф. Физикохимия мембранных процессов. М.: Химия, 1988. 240 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИОСОВМЕСТИМЫХ ПЛАЗМОНАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Дудко Н.С.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Маркелова О.А.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

Проведено исследование порошковых материалов на структурно-морфологические параметры и механические свойства биоактивных плазмонапыленных покрытий на эндопротез плечевого сустава, выполненного из сплава титана ВТ6.

Ключевые слова: титан ВТ6 (Ti-6Al-4V), эндопротез, плечевой сустав, плазмонапыленное покрытие, трикальцийфосфат (ТКФ), порошок титана стабилизированный (ПТС).

Плечевой сустав – самый подвижный в организме, и нарушение его функции значительно влияет на качество жизни человека. Эндопротезирование плечевого сустава – достаточно сложная операция. И всё же, назначая пациенту операцию, врачи должны убедиться, что другие методы лечения не помогут.

Эндопротезирование плечевого сустава представляет собой операцию, при которой воссоздаются изменённые после травм или заболеваний суставные поверхности лопатки и плечевой кости с помощью искусственных имплантатов. Эндопротезирование плечевого сустава позволяет в большинстве случаев восстановить утраченную функцию плечевого сустава, при этом снизить интенсивность болевого синдрома либо полностью его купировать. Эндопротезирование плечевого сустава является эффективным и часто единственным способом восстановления утраченного движения руки [1].

Главной проблемой эндопротезов является количество повторных операций. Ещё одной проблемой является неверный подбор материала для эндопротеза, что приводит к низкой остеоинтеграции.

Цель работы: повысить остеоинтеграционные характеристики эндопротеза плечевого сустава путем нанесения на его внутрикостную поверхность биоактивного покрытия.

Выбранная конструкция эндопротеза плечевого сустава состоит из двух основных элементов: головки и ножки, которая в свою очередь состоит из основания, скрепляющей пластины с шейкой и винта (рис. 1, 2). Сборка ножки осуществляется в несколько этапов: основание соединяется со скрепляющей пластиной, после чего фиксируется винтом.

Сборка эндопротеза осуществляется во время операции – сначала хирург устанавливает в натяг собранную ножку в плечевую кость, после чего на шейку крепится в натяг головка эндопротеза.



Рис. 1. Модель эндопротеза плечевого сустава

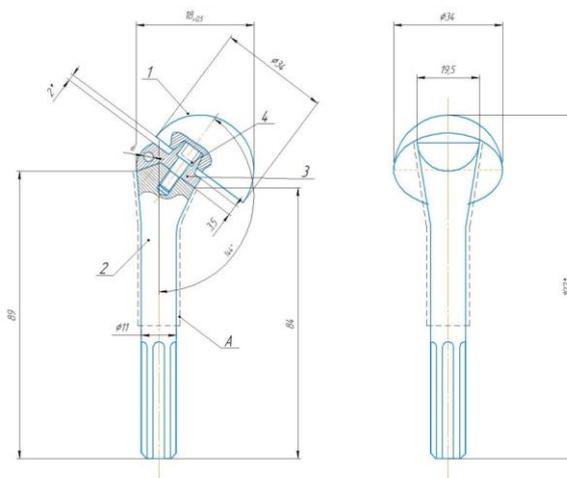


Рис. 2. Схематичное изображение плечевого эндопротеза

Пористость покрытия наносимого на внутрикостные имплантаты должна составлять 35-40%, при этом значения открытой пористости – 30-35%. Диаметр открытых пор не менее 100 мкм для успешного прорастания кости и капилляров в имплантат. Покрытие с такими характеристиками можно получить методом плазменного напыления [2,3].

Образцы представляют собой пластины из титана марки ВТ6 с напыленным слоем смеси порошков титана стабилизированного (ПТС) и порошка трикальцийфосфата (ТКФ).

В зависимости от смеси напыляемых порошков были изготовлены 2 типа образцов, характеристики которых указаны в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики исследуемых образцов

Режимы напыления	Номер и состав образца
Ток плазменной дуги 300 А, дистанция напыления 150 мм; время напыления 10-15 с; расход плазмообразующего газа 20 л/мин; расход транспортирующего газа 5 л/мин	Образец №1 из титана со слоем порошка титана, дисперсностью 100-150 мкм., и порошка трикальцийфосфата дисперсностью до 90 мкм. Пропорции смеси: 50 % объем. порошка ПТС и 50 % объем. порошка ТКФ
	Образец № 2 из титана марки ВТ6, с подслоем из порошка титана (ПТС-1) со слоем порошка титана, дисперсностью 100-150 мкм., и порошка трикальцийфосфата дисперсностью до 90 мкм. Пропорции смеси: 50% объем. порошка ПТС и 50 % объем. порошка ТКФ

На рис. 3 показаны микрорельеф поверхности для образца №1 (а) и образца №2 (б), полученные с помощью анализатора изображения микро-структур АГПМ-6М.

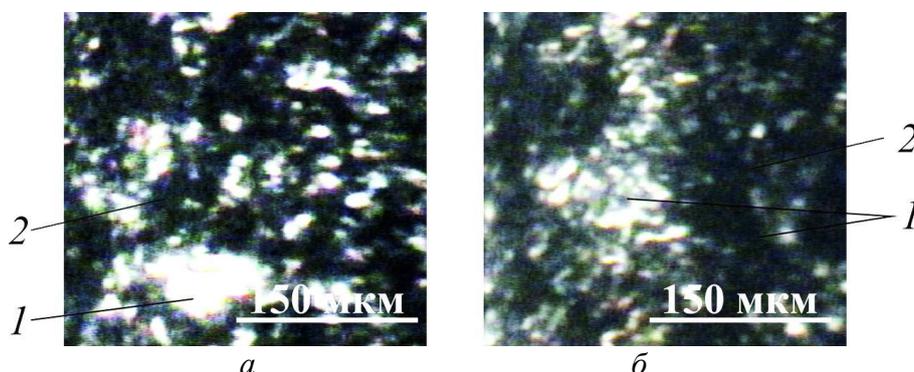


Рис. 3. Микрофотографии плазмонапыленных образцов: а – без подслоя титана; б – с подслоем титана; 1- частицы титана; 2- открытые поры

Анализ приведенных фотографий показывает, что покрытие образца №1 представлено неравномерной структурой, имеются крупные частицы титана размером 70-100 мкм и мелкие 20-50 мкм, смешанные с частицами ТКФ, размер открытых пор – 20-100 мкм (рис. 3, а).

Покрытие образца № 2 имеет более равномерное распределение частиц напыленных порошков, имеются как небольшие поры размером 10-50 мкм, так и крупные с размером до 100 мкм (рис. 3, б).

Изображения микрорельефов шлифов образцов также были изучены с помощью металлографического микроскопа МИМ-7 (увеличение $\times 120$) и представлены на рис. 4.

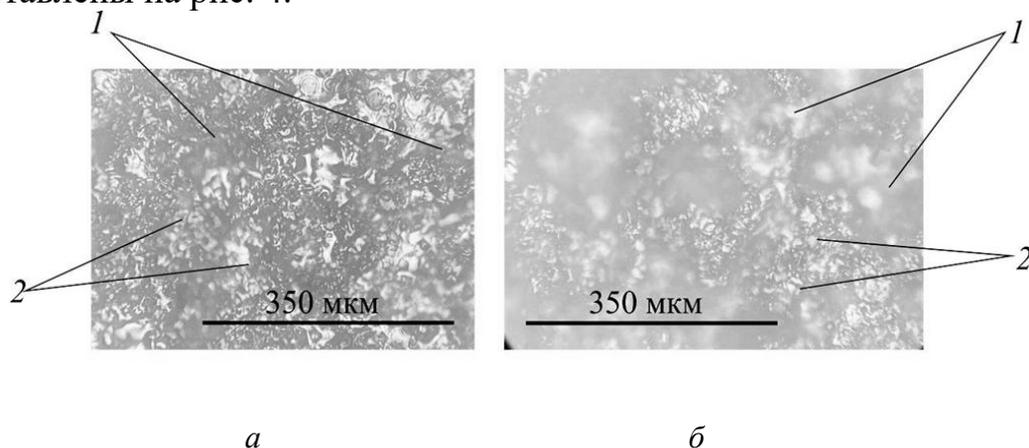


Рис. 4. Микрорельеф плазмонапыленных образцов: а – без подслоя титана; б – с подслоем титана; 1 – частицы ТКФ; 2 – частицы титана

На изображениях микрорельефов образцов можно увидеть равномерное распределение частиц порошков в соответствии с их процентным отношением.

Для исследования микротвердости покрытия использовались шлифы образцов (рис. 5).

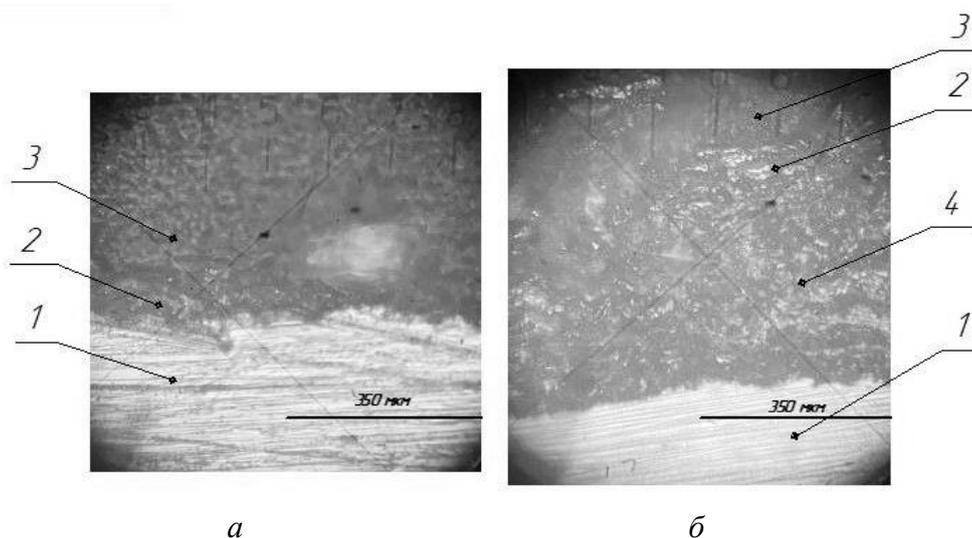


Рис. 5. Изображение поверхности образцов: а – без подслоя титана, б – с подслоем титана; 1 – подложка из титана VT6, 2 – плазмонапыленный ТКФ+ПТС-1, 3 – эпоксидная смола, 4 – плазмонапыленный подслоем ПТС-1

Проводилось по 3 исследования на каждый образец, где проверялась на покрытия. Прикладывалась нагрузка 0,490 Н (50 гс) для образца без нанесенного подслоя титана ПТС-1 и 0,490 Н (50 гс) для образца с подслоем из титана ПТС-1. Полученные значения микротвёрдости показаны в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерения твердости покрытия

Наличие подслоя	1	2	3	Среднее значение микротвердости по Виккерсу, НV
без подслоя ПТС-1	713	840	945	832±54
с подслоем ПТС-1	446	466	544	492±63

В результате проведенного исследования выяснилось, что образец без подслоя обладает наибольшим средним значением микротвердости (832 НV), а значение микротвердости образца с подслоем титана ПТС-1 (492 НV).

Выводы: выявлено, что покрытие без подслоя обладает наибольшим средним значением по сравнению с покрытием с подслоем титана ПТС-1. Оба покрытия обладают более высоким значением микротвердости, чем кость (390 НV), благодаря чему не произойдет разрушения покрытия во время операции эндопротезирования. Также выявлено, что покрытие обладает развитой структурой и морфологией. Размер пор 60-100 мкм, что будет способствовать прорастанию костной ткани.

Список источников

1. Однополюсное эндопротезирование при дефектах проксимального отдела плечевой кости после огнестрельных ранений / А. Н. Горячев [и др.]. – Человек и его здоровье: материалы международного конгресса. – СПб. : Питер , 1998. – 49 с.
2. Егоров Е.Н. Разработка технологии создания пористого титанового покрытия на деталях эндопротезов тазобедренного сустава путем плазменного напыления: дисс. к.т.н. – Москва, 2006. – 186 с.
3. Применение специальных покрытий в изделиях медицинского назначения: учеб. пособие / А.В. Лясникова, Н.В. Протасова, В. Н. Лясников, Н.В. Бекренев; под ред. проф. В.Н. Лясникова. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. – 272 с.

**АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ЧАШЕЧКОВОГО ЭЛЕКТРОДА,
ИЗГОТАВЛИВАЕМОГО ПО ТЕХНОЛОГИИ
ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ**

Семивражнова В.В.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Пичхидзе С.Я.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В ходе работы рассматриваются прочностные характеристики конструкции чашечкового электрода, основные элементы которого изготовлены из ABS-пластика.

Ключевые слова: чашечковый электрод, 3-Д печать, ABS-пластик

Чашечковые электроды состоят из пластикового корпуса формы вогнутой линзы, внутри которого контактная электродная паста и отводящий провод. Также в пасту могут добавлять вещества, размягчающие верхний слой эпидермиса. Для более устойчивого положения электрода, его края могут быть обработаны медицинским коллодием, обладающим «приклеивающим» эффектом. Стандартные размеры чашечковых электродов это 10 мм для колпачка, 2 мм для отверстия. Значения могут отличаться.

Чаще всего в качестве покрытия для чашечковых электродов используют серебро. Для многоцветных моделей также могут использовать золото, которое предотвращает преждевременный износ.

Цель работы: анализ конструкции чашечкового электрода, изготавливаемого по технологии трехмерной печати.

Разработанная конструкция чашечкообразного электрода на основе ABS пластика представлена на рис. 1.

Основной отличительной особенностью данной конструкции является возможность печати корпуса на 3D принтере.

По построенной 3D модели были оценены параметры деформации изделия при рабочих нагрузках 3...10 Н.

Для расчета прочностных характеристик изделия была использована математическая модель программы КОМПАС-3D [1, 2], к месту крепления электрода была приложена вертикальная нагрузка в 3...10 Н, что соответствует следующим эпюрам, представленным на рис. 2 – 5.

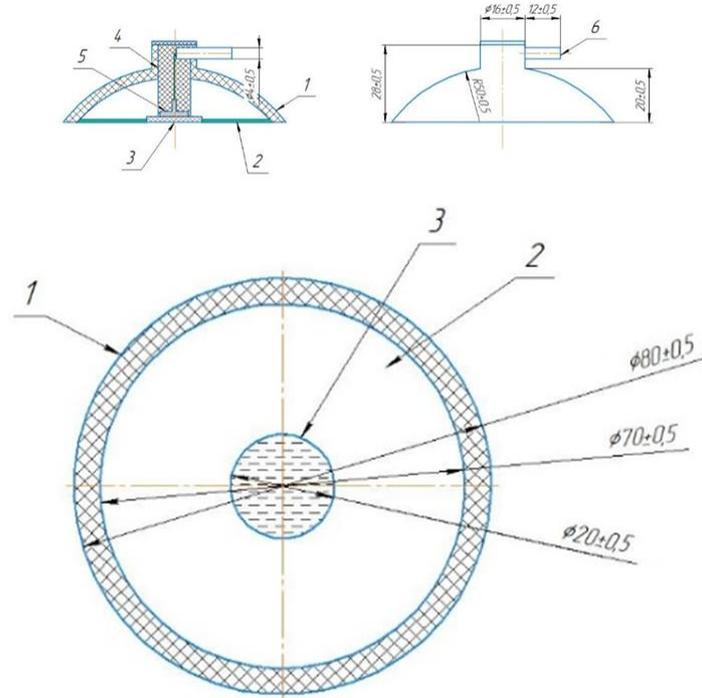


Рис. 1. Конструкция электрода, где: 1 – корпус электрода, 2 – резиновая прокладка, 3 – полость с хлоридом серебра, 4 – керамический корпус, 5 – серебряный электрод, 6 – вывод электрода

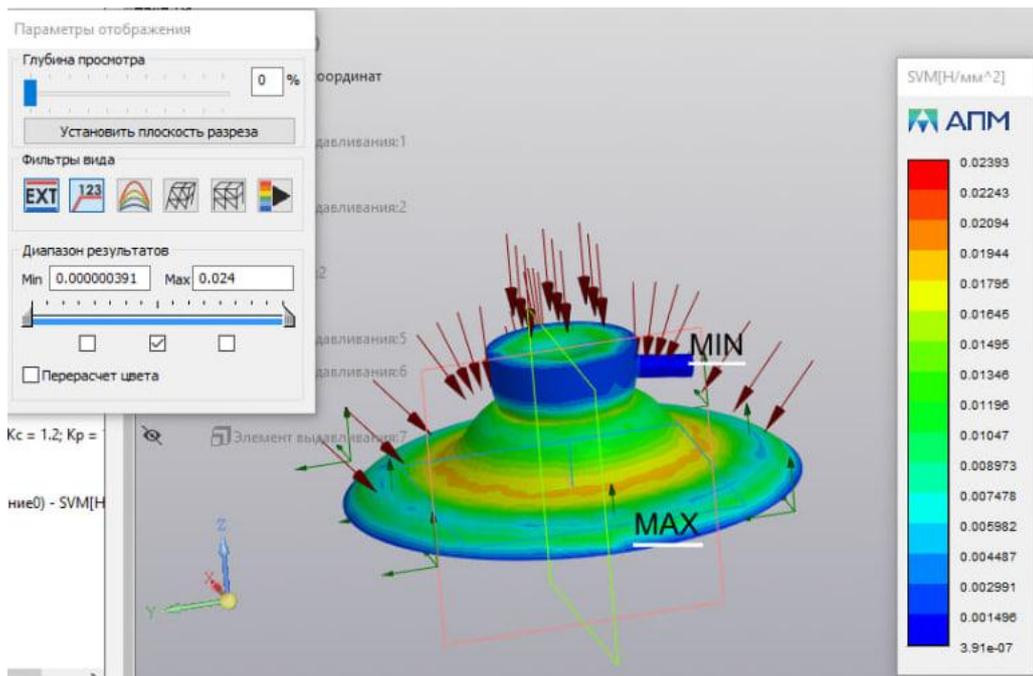


Рис. 2. Эпюра напряжений при нагрузке 10 Н

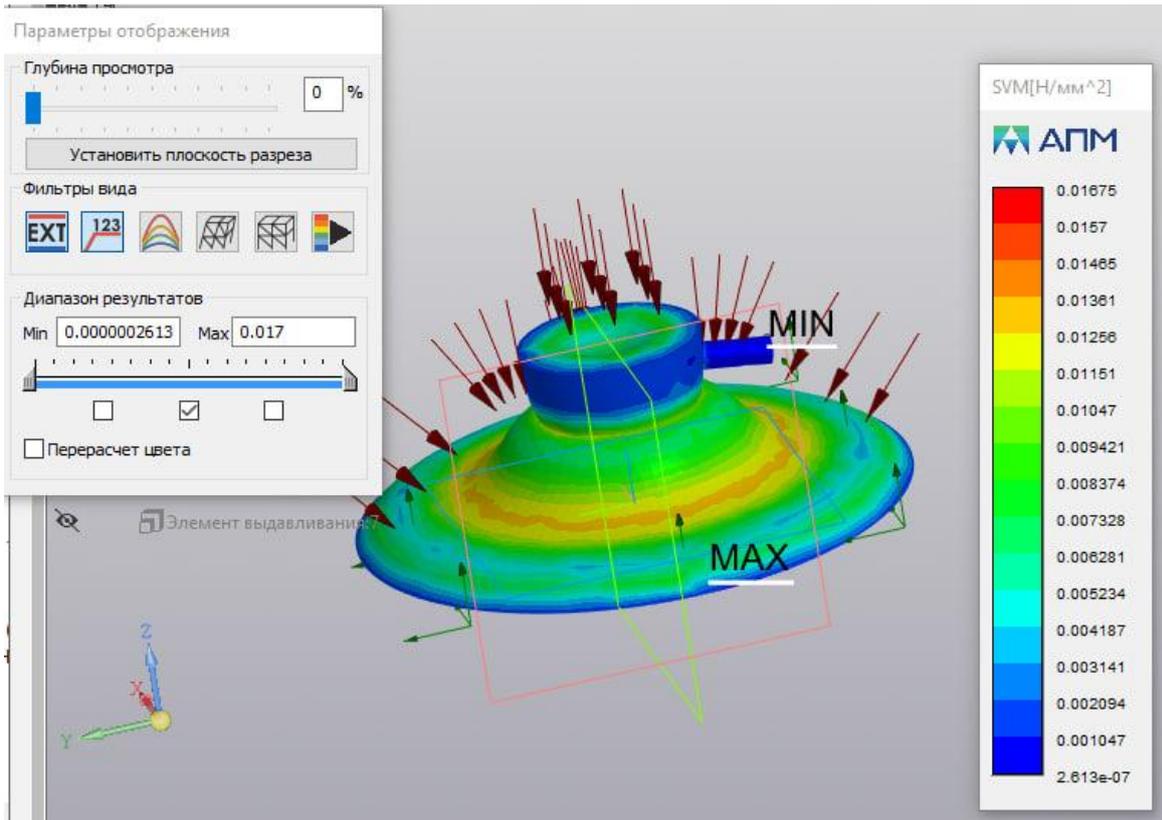


Рис. 3. Эпюра напряжений при нагрузке 7 Н

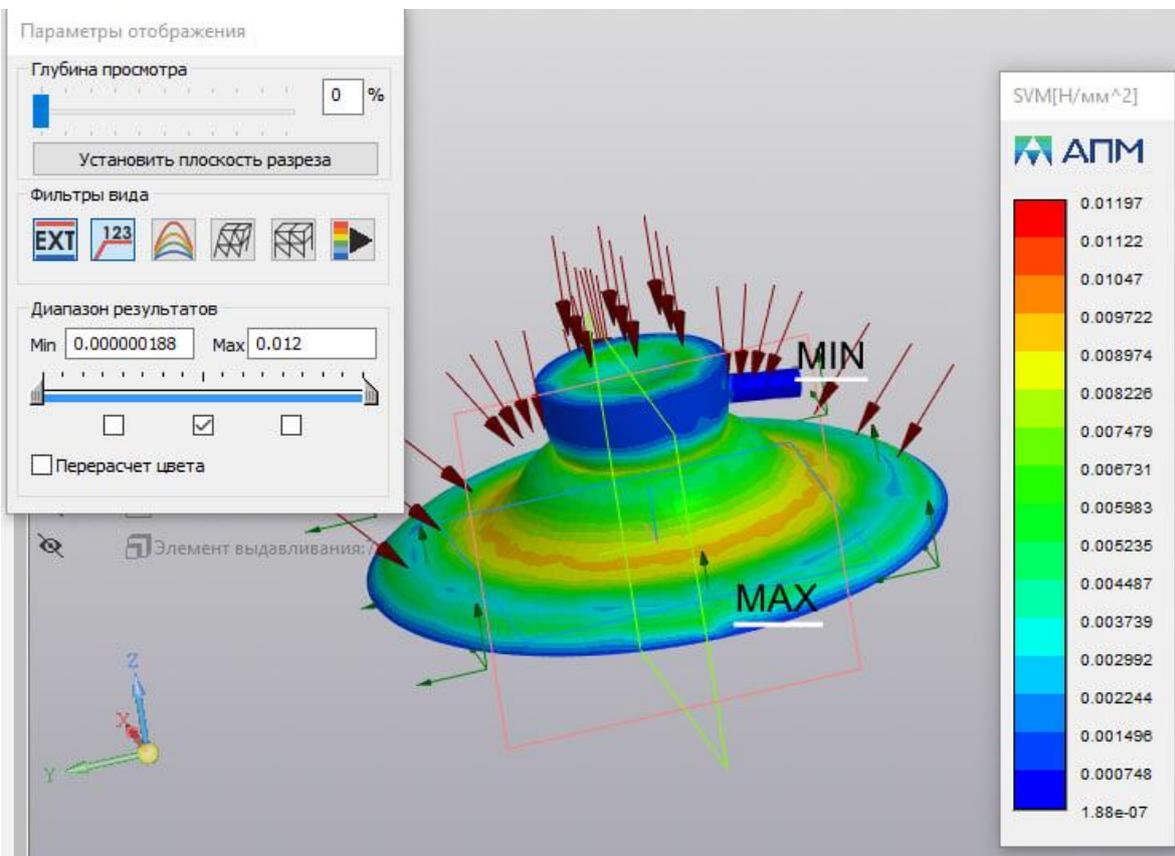


Рис. 4. Эпюра напряжений при нагрузке 5 Н

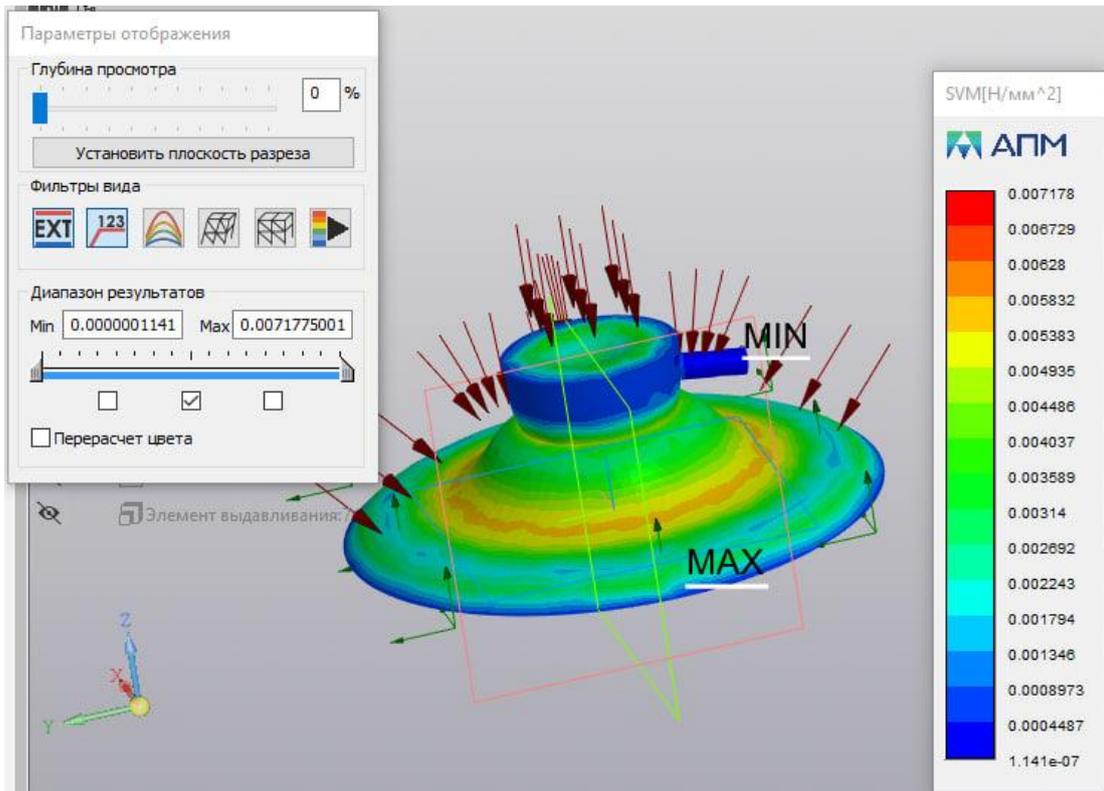


Рис. 5. Эпюра напряжений при нагрузке 3 Н

График изменения запаса прочности при различных нагрузках на корпус электрода из ABS пластика представлен на рис. 6.



Рис. 6. Запас прочности при различной нагрузке на корпус электрода из ABS пластика

Анализ зависимости запаса прочности от нагрузки показывает значительную прочность предлагаемой конструкции.

График изменения максимального напряжения при различных нагрузках на корпус электрода из ABS пластика представлен на рис. 7.

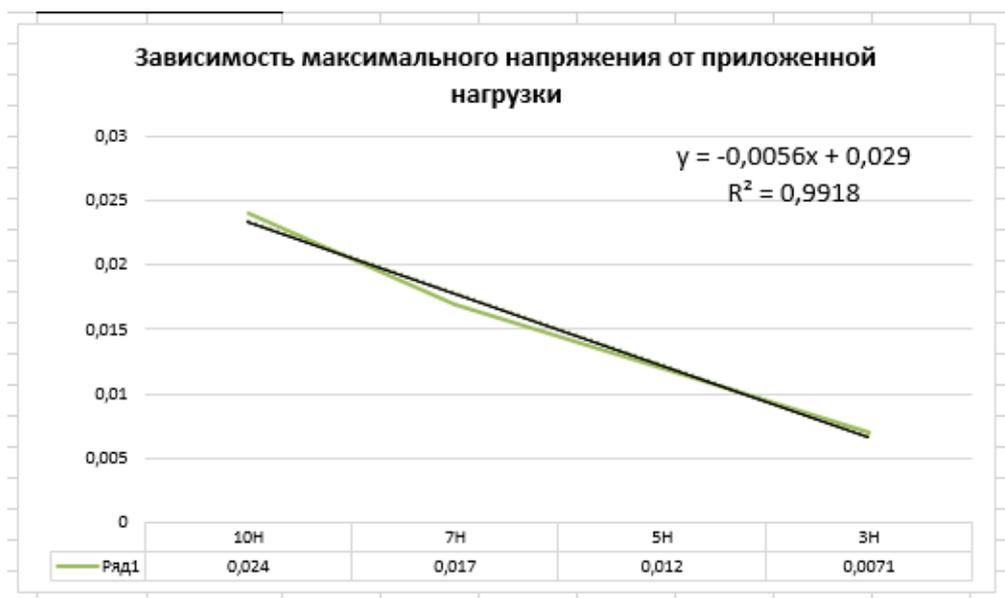


Рис. 7. Зависимость максимального напряжения при различной нагрузке на корпус электрода из ABS пластика

Также на основе построенной 3D модели из ABS-пластика был распечатан макет корпуса электрода, представленный на рис. 8.

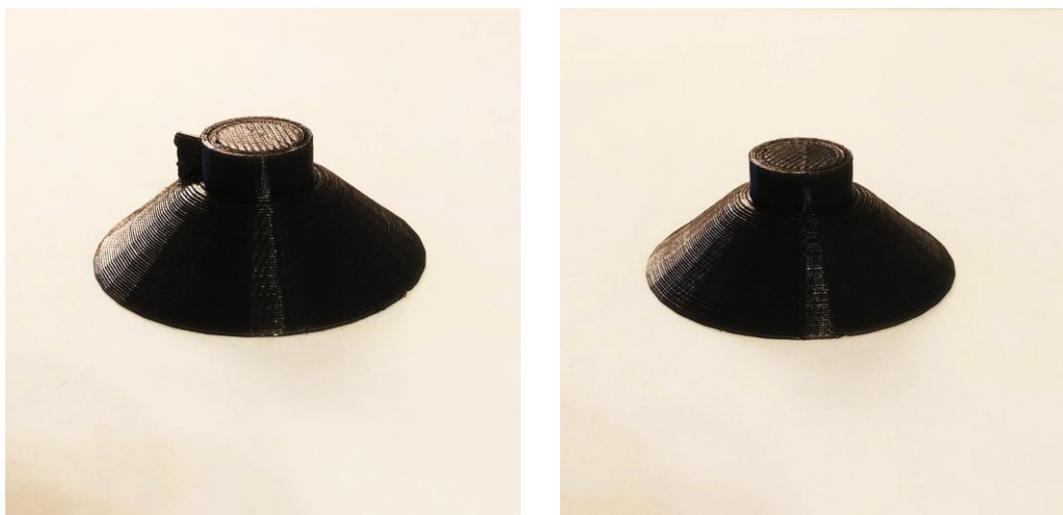


Рис. 8. Образец разработанного корпуса электрода

Выводы: показано, что разработанный вариант конструкции электрода способен выдерживать требуемую нагрузку в диапазоне 3...10 Н.

Список источников

1. Дубровский В.И., Федорова В.Н. Биомеханика / Учеб. для сред, и высш. учеб. заведений. – М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. – 672 с.
2. Большаков В.П. 3D-моделирование в КОМПАС-3D версий V17 и выше / Учебное пособие для вузов. В.П. Большаков, А.В. Чагина. – Санкт-Петербург: Питер, 2021. – 256 с.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНО-ПОРОШКОВЫХ КРАСОК

Пузаков А.В.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Пичхидзе С.Я.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В статье исследуются режимы термической обработки алюминиевых сплавов при полимеризации порошковых красок.

Ключевые слова: краски, порошковые покрытия, литой диск, напыление

Благодаря своей высокой адгезии и износостойкости порошковые краски широко применяются в производстве. Порошковые краски имеют 100% сухой остаток, что делает их применение экономически выгодным. Также порошковые покрытия в сравнении с лакокрасочными имеют ряд преимуществ, а именно:

- не требуется их подготовка перед применением,
- лучшие, по сравнению с лакокрасочными покрытиями адгезионные свойства,
- более высокая экономичность производства,
- полная автоматизация процесса.

Цель работы: провести анализ термической обработки алюминиевых сплавов при полимеризации полимерно-порошковых красок.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести анализ литературы,
- 2) провести выбор подходящего покрытия,
- 3) построить графики зависимости модуля упругости от вида и толщины формируемого покрытия,
- 4) получить эпюры нагрева при помощи программы моделирования «ELCUT 6.6».

Существует несколько видов порошковых красок, у каждой из которых есть свои различия, свои плюсы и минусы. Рассмотрим некоторые из них.

Эпоксидная краска

Из преимуществ можно отметить, что для данного вида красок характерна высокая адгезия, механическая прочность, химическая стойкость к воздействию влаги, щелочей, алифатических и ароматических углеводов, смазочных масел, топлива, сырой нефти. Интервал рабочих температур: от -60 до $+120^{\circ}\text{C}$. Диэлектрические свойства покрытий достаточно высоки.

К недостаткам можно отнести низкую устойчивость к ультрафиолету и, соответственно, слабую стойкость вне помещений, невысокую термостойкость, склонность к пожелтению при отверждении.

Область применения: антикоррозионная защита изделий, подвергающихся химическому воздействию, а также используемых внутри помещений: металлической мебели; бытового оборудования.

Эпоксидно-полиэфирная краска

К преимуществам данного вида красок относят: Относительно низкую цену и хорошее качество получаемых покрытий. Краски получают комбинированием эпоксидного и полиэфирного олигомера. Покрытия имеют красивый внешний вид, хороший глянец и равномерную окраску, устойчивы к воздействию воды, водных растворов солей, разбавленных щелочей и кислот.

К недостаткам относят, по сравнению с эпоксидным покрытием – пониженную стойкость к химреактивам, трудность получения матовых покрытий при низкотемпературном отверждении.

Область применения: окраска изделий, эксплуатирующихся внутри помещений: – металлической мебели; осветительного оборудования; электронагревательных и бытовых приборов; различной металлической фурнитуры.

Полиэфирная краска

Из преимуществ можно отметить, что у данного вида красок достаточно высокая стойкость к воздействию атмосферных факторов, светостойкость, механическая и электрическая прочность, повышенная стойкость к истиранию. Улучшают внешний вид изделия благодаря высокой глянецитости. Удовлетворительная адгезия к металлам.

К числу недостатков относят щелочестойкость и диэлектрические показатели. Они несколько ниже по сравнению с эпоксидными и эпоксидно-полиэфирными красками.

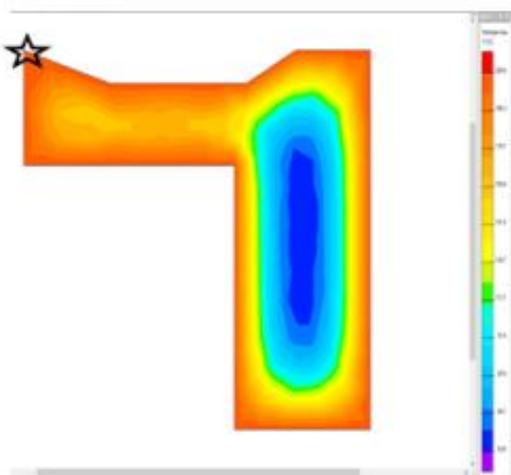
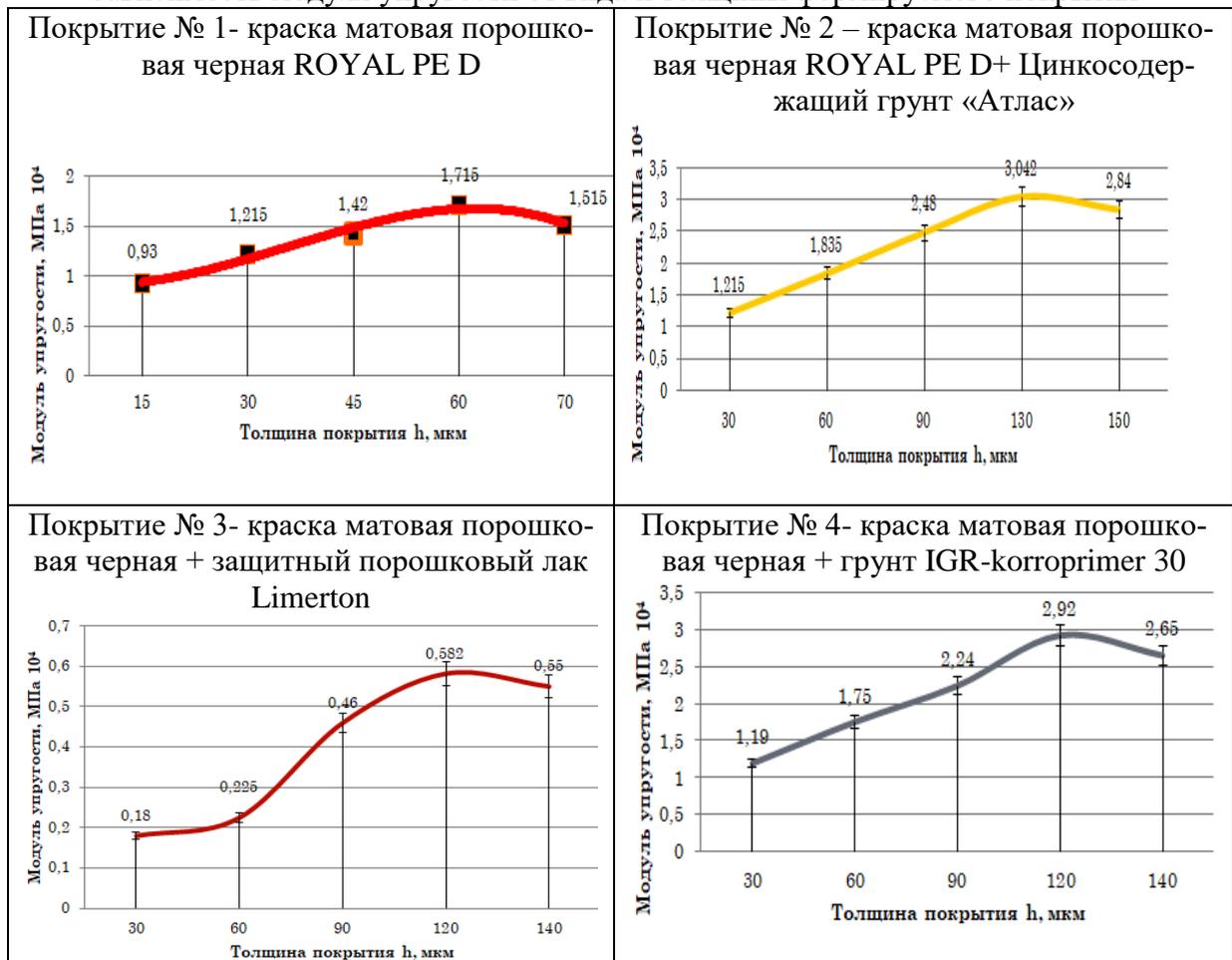
Область применения: для окраски изделий, подвергающихся постоянному воздействию атмосферных факторов: – фасадных панелей – сельскохозяйственной техники, велосипедов – кондиционеров – других металлических изделий и конструкций, находящихся на открытом воздухе.

Рассмотрим вариант с нанесением полиэфирной краски, так как она лучше всего отвечает заявленным требованиям. В таблице представлены варианты напыления данного покрытия с нанесением прочих защитных покрытий и зависимость модуля упругости от вида и толщины формируемого покрытия. Данные для таблицы взяты из инструкций по пользованию порошковатыми красками.

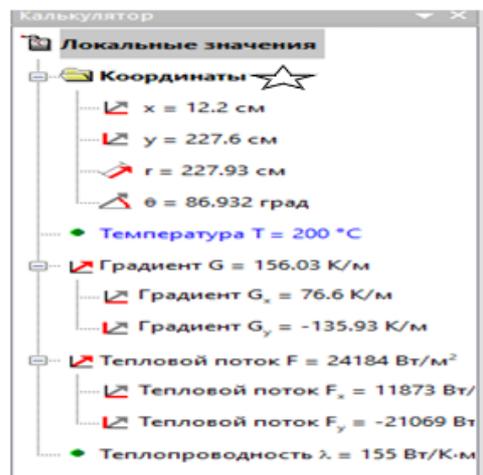
При этом, чтобы не допустить перегрева, важно соблюдать заявленную температуру полимеризации порошковых красок. Определено, что оптимальная температура в печи полимеризации при оплавлении покрытия должна сохраняться на уровне 200 градусов в течение 12 минут, при этом,

перед нанесением покрытия, сам диск должен быть нагрет также до температуры 200 градусов.

Зависимость модуля упругости от вида и толщины формируемого покрытия



а



б

Температура диска на 12 минуте нагрева, где: а – результат расчета, б – локальное значение на внешнем крае диска в указанной точке

Для получения эюр нагрева по температуре использовалась программа моделирования «ELCUT 6.6».

Выявлено, что при воздействии на алюминиевый диск температуры 200 градусов в течение 12 минут, вся поверхность диска равномерно прогревается до указанной температуры, что позволяет наносить на поверхность краску электростатическим методом без образования дефектов.

Выводы: исходя из полученных результатов, можно сделать заключение, что оптимальным покрытием для напыления на алюминиевые сплавы является покрытие №2. Для него выдержана оптимальная толщина покрытия 130 мкм. При этом, был сохранен максимальный модуль упругости 3,042 МПа. Перед нанесением краски на поверхность, необходимо равномерно нагревать диск в печи при температуре в 200 градусов в течение 12 минут.

Список источников

1. Яковлев А.Д. Порошковые краски: книга. – Л.: Химия, 1987.– 216 с.
2. Волков Г. М. Материаловедение: учебник для студ. высш. учебных заведений: учеб. – Ленинград: Химия, Ленингр. отд-ние, 2008. – 397 с.
3. Лобанов М.Л. [и др.]. Защитные покрытия: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 200 с.
4. Белый В. А., Рутто Р. А. Антифрикционные покрытия из полимеров // Теория смазочного действия и новые материалы: сб. М.: Наука, 1965. – 219 с.
5. Фомин Г.С. Лакокрасочные материалы и покрытия. Энциклопедия международных стандартов: книга. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 576 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ДЕНЕРВАЦИОННОЙ АТРОФИИ МЫШЦ КИСТИ

Сидоров С.М.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Пичхидзе С.Я.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В ходе работы построена математическая модель модернизированной конструкции приспособления для лечения денервационной атрофии мышц кисти, основным материалом которого является ABS пластик, рассмотрены механические свойства конструкции.

Ключевые слова: атрофия мышц кисти, ABS пластик

Конструкция приспособления для лечения денервационной атрофии мышц кисти – это аппарат, отличающийся от уже существующих, более

простым процессом лечения, заключающимся в неинвазивности метода, что позволяет человеку избежать негативных последствий хирургического вмешательства, а также экологичным и быстрым изготовлением.

Цель работы: анализ прочности модернизированной конструкции приспособления для лечения денервационной атрофии мышц кисти.

Общий вид модернизированной конструкции, изготовленной из ABS пластика (предел текучести 60 МПа) и 3D-модель сборки, представлены на рис. 1 и 2.

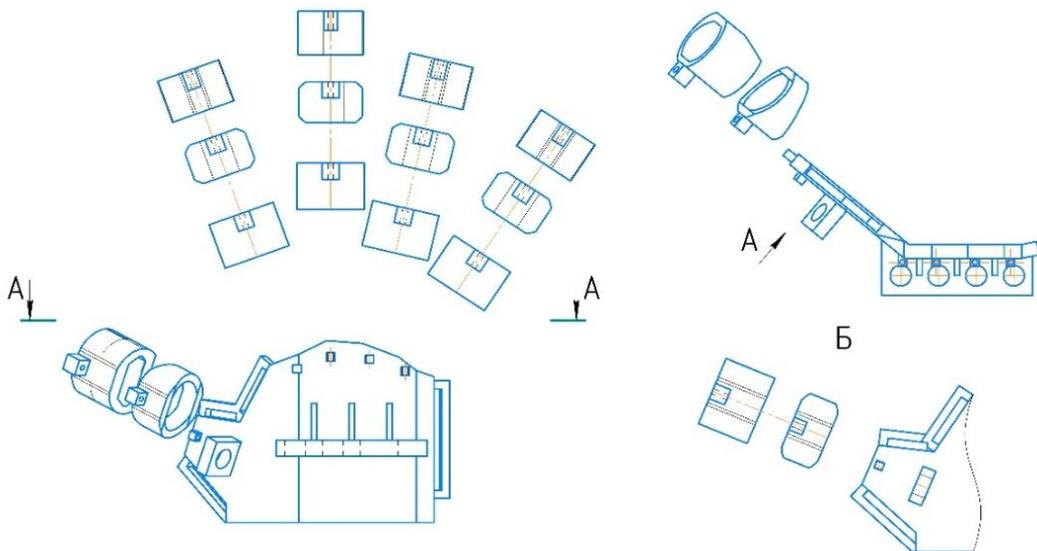


Рис. 1. Общий вид модернизированной конструкции

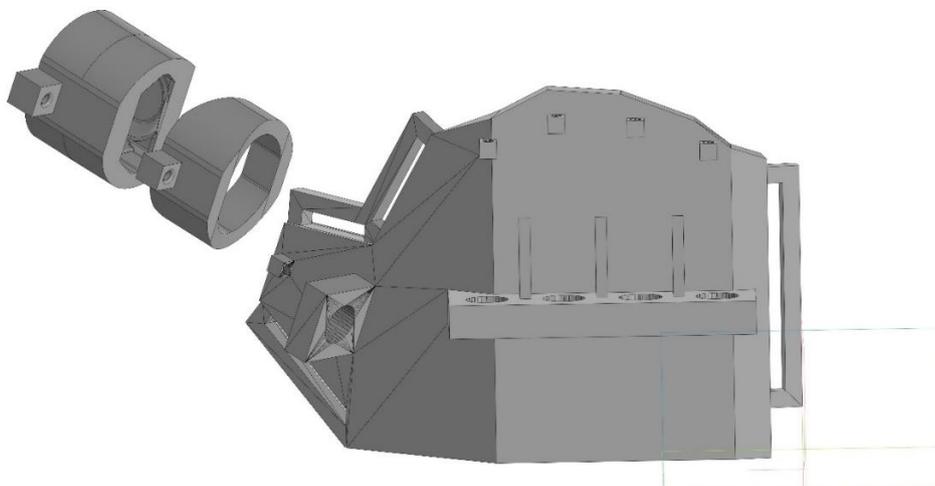


Рис. 2. 3D-модель площадки и фаланговых насадок на большой палец

Представленная конструкция работает по принципу действия – принудительного разгибания межфаланговых суставов каждого пальца, посредством оказания статического воздействия путём натяжения фаланговых насадок с помощью нейлоновых нитей.

На рис. 3 представлено сравнение данной версии площадки данной конструкции, имеющей недостатки, связанные с конструктивной особенностью, и модернизированной конструкции. Модернизированная конст-

рукция является более удобной для человека за счет лучшей обтекаемости и внутреннего строения, а также большего запаса прочности за счет изменения строения площадки и добавления ребер жесткости (рис. 4 – 7).

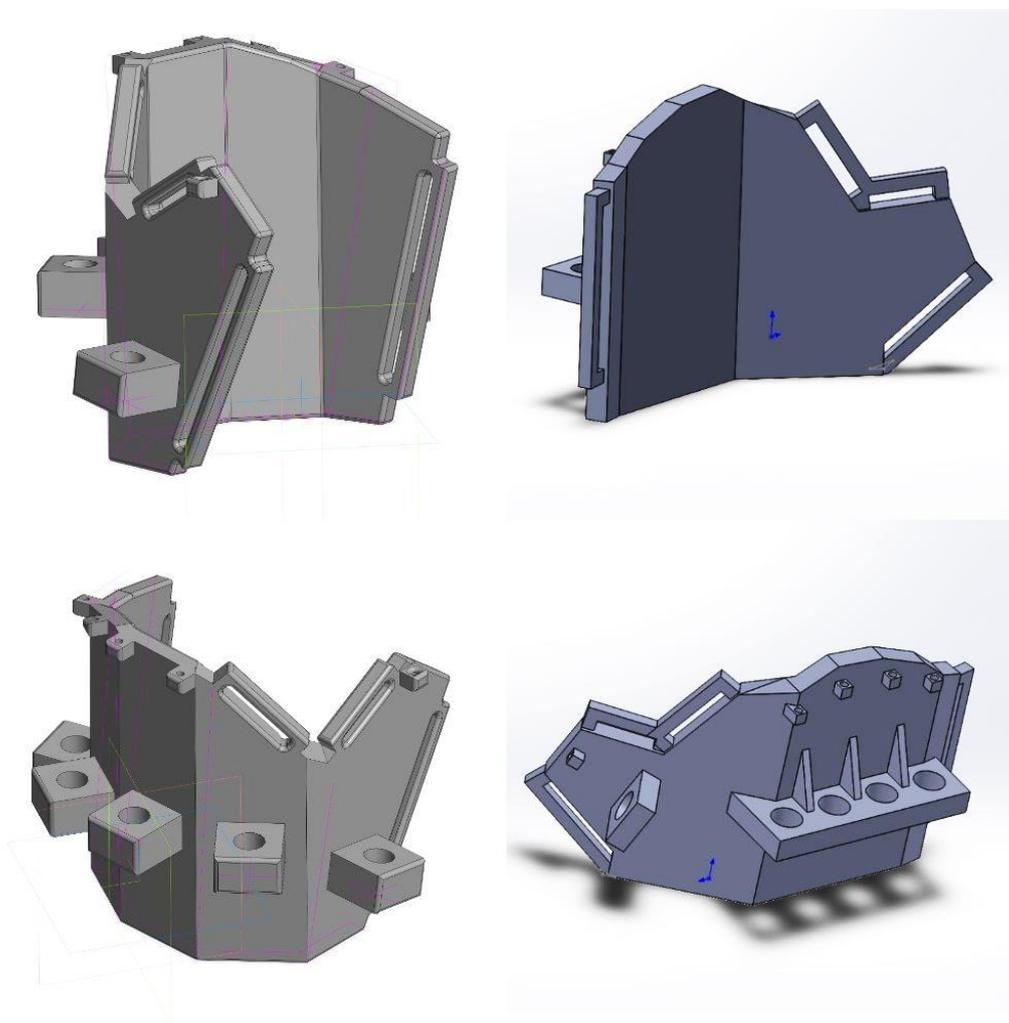


Рис. 3. Слева – данная конструкция площадки, справа – модернизированная

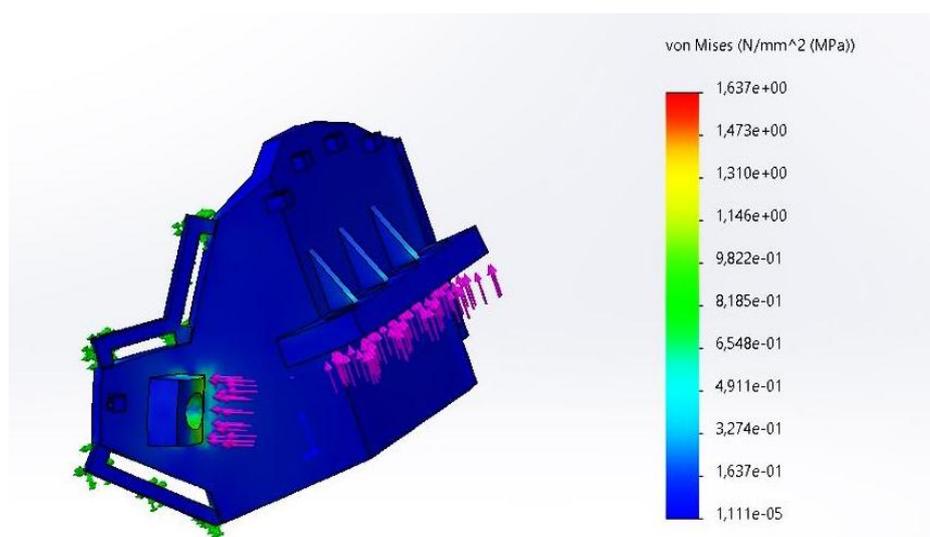


Рис. 4. Эпюра статического напряжения участков конструкции, подверженных нагрузке

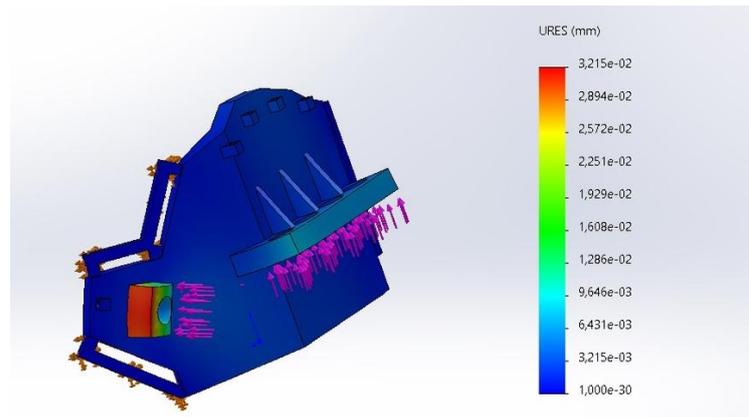


Рис. 5. Эпюра статического перемещения участков конструкции, имеющих наибольшее напряжение

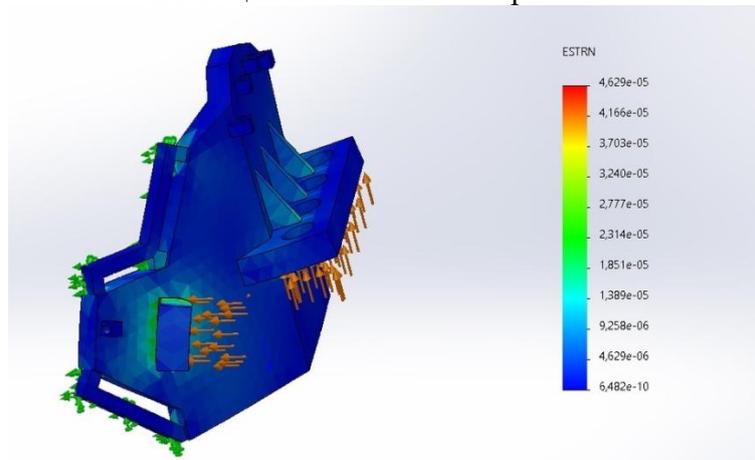


Рис. 6. Эпюра статической деформации всей площадки под действием напряжений

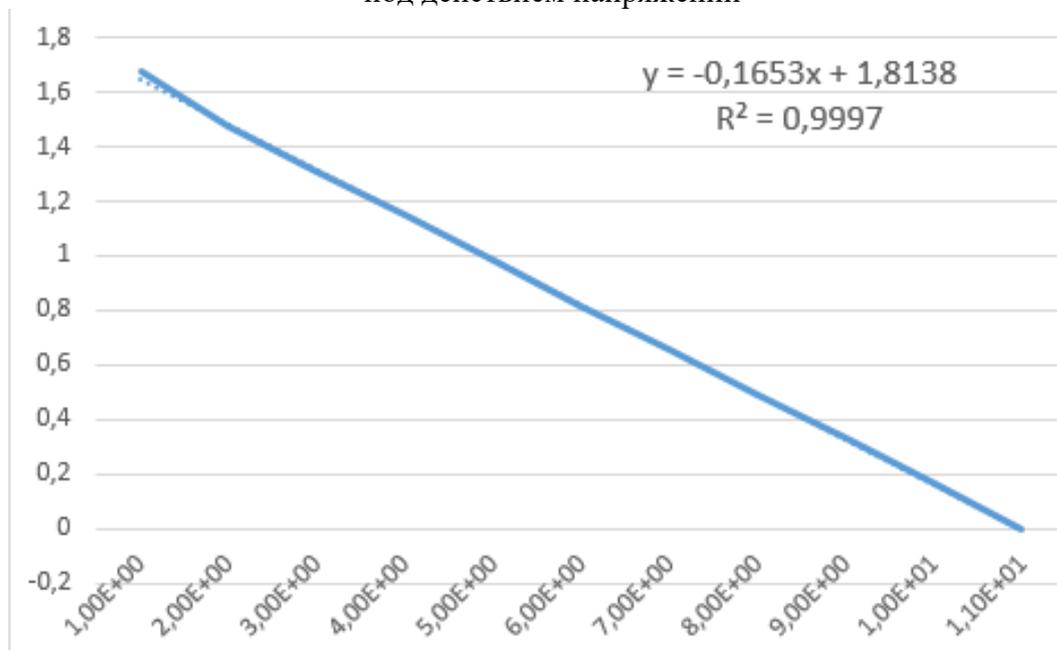


Рис. 7. Зависимость статического напряжения от статического перемещения

Для расчета прочностных характеристик конструкции использована программа SOLIDWORKS. Нагрузки были приложены к местам крепления

нитей и накладки-бинта. Исходя из полученных графиков можно сделать вывод, что данная конструкция имеет большой запас прочности, а именно 37,5 раз, максимальное смещение = 0,03 мм. При данном напряжении конструкция сохраняет свою форму и не деформируется.

Выводы: модернизированная конструкция приспособления для лечения денервационной атрофии мышц кисти способна выдерживать требуемые нагрузки.

Список источников

1. Основы конструирования приборов и аппаратов: учеб. пособие для студ., бакалавров и магистров техн. спец. / В.М. Таран [и др.]; Саратовский гос. техн. ун-т им. Гагарина Ю.А. – Саратов: СГТУ, 2016 (ООО ИД Вариа). – 171 с.
2. Проектирование и конструирование в машиностроении : в 2 ч. : учеб. пособие / В.П. Бахарев [и др.] ; под ред. А.Г. Схиртладзе. – Старый Оскол : ТНТ, 2016.
3. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст]. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
4. Инженерная графика: Учебник для средних специальных учебных заведений. – 3 изд., испр. 674 и дополн. – М.: Машиностроение 2000. – с. 352: ил./ Боголюбов С.К.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЧАСТИЧНОГО ПРОТЕЗА ПАЛЬЦА

Хащенко М.А.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Пичхидзе С.Я.,
к.т.н., доцент Маркелова О.А.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В ходе работы построена математическая модель частичного протеза пальца, основным элементом которого является ABS пластик, рассмотрены прочностные характеристики конструкции.

Ключевые слова: частичный протез пальца, ABS пластик

Протезом пальца является искусственное приспособление, которые способно заменить утраченный палец. Конструкция протеза состоит из 3 частей: дистальная фаланга, средняя фаланга и проксимальная фаланга.

Широкий спектр материалов в 3D-печати в восстановительной медицине позволяет изготавливать как прототипы, так и готовые модели, в том числе протезы, составляющие которых напечатаны из разных материалов.

Цель работы: анализ конструкции частичного протеза пальца.

Разработанная конструкция протеза, изготовленного из ABS пластика (предел текучести 30 МПа), представлена на рис. 1.

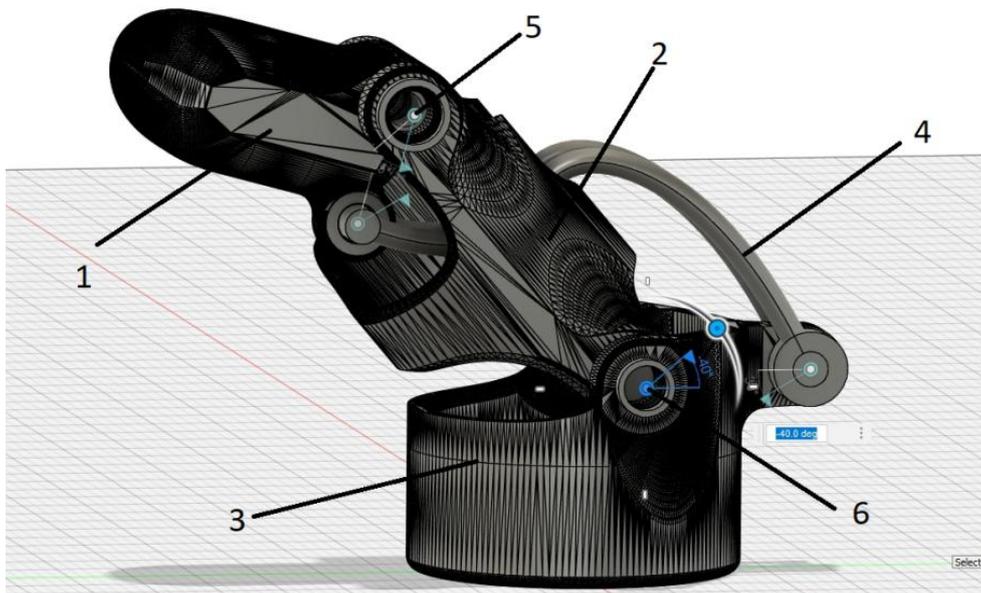


Рис. 3. Конструкция частичного протеза пальца:
1 – дистальная фаланга; 2 – средняя фаланга;
3-проксимальная фаланга; 4- нейлоновая нить; 5, 6- штифты

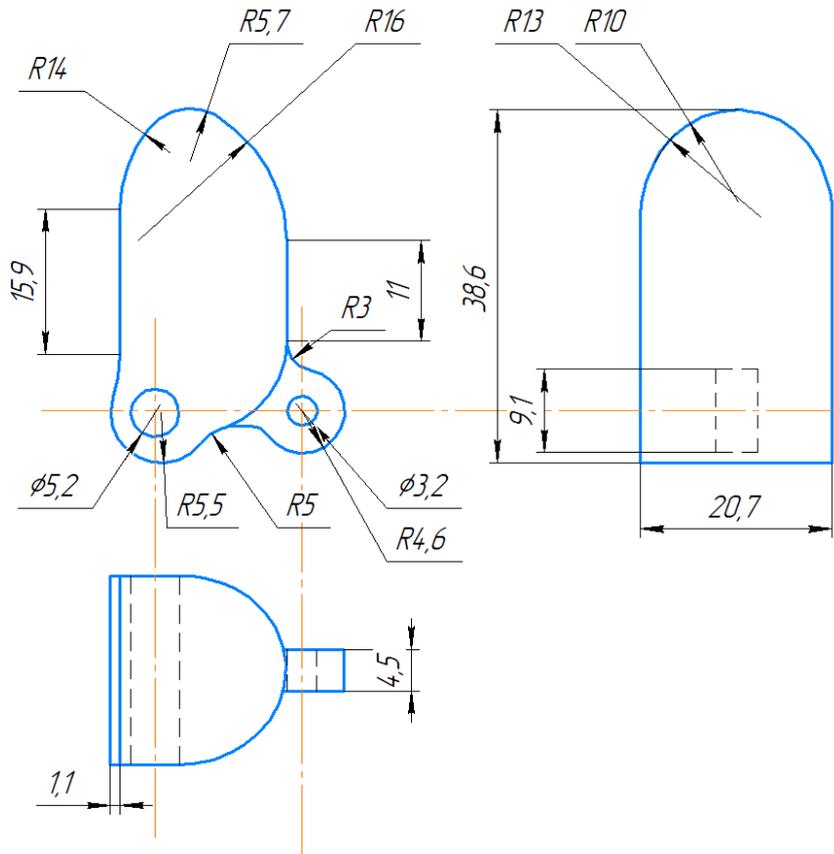


Рис. 2. Чертеж дистальной фаланги частичного протеза пальца

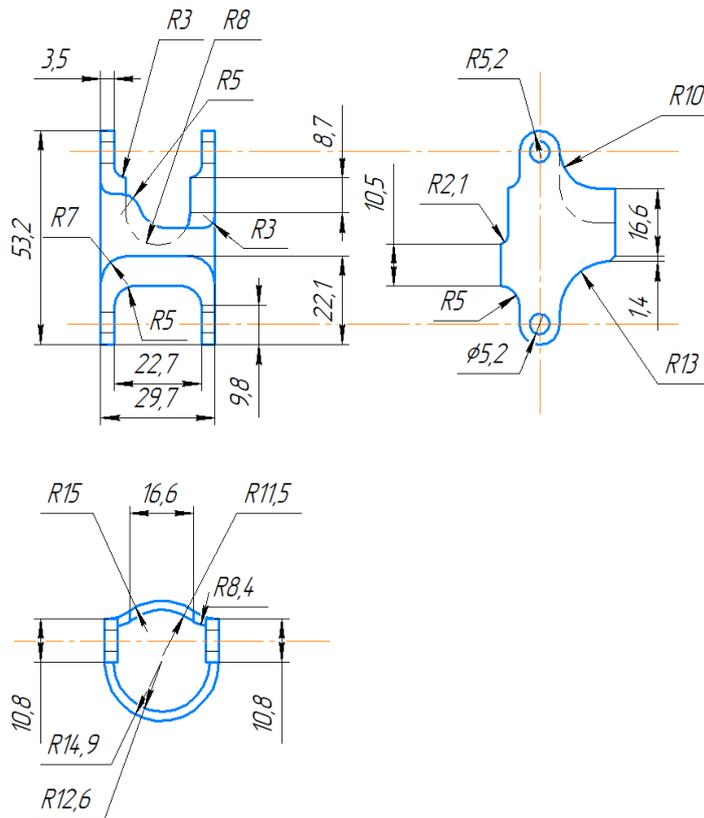


Рис. 3. Чертеж средней фаланги частичного протеза пальца

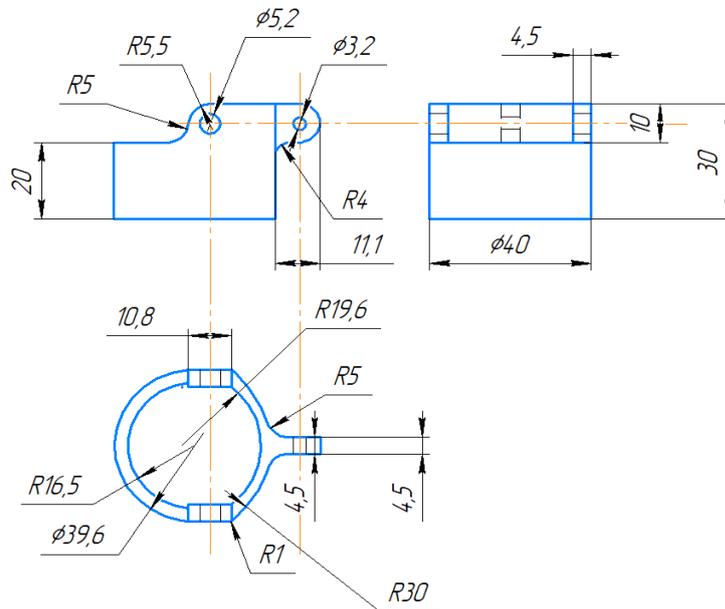


Рис. 4. Чертеж проксимальной фаланги частичного протеза пальца

Основной особенностью данной конструкции является твердость, устойчивость к ультрафиолетовому излучению и высоким температурам, низкая стоимость. Данный полимер обеспечивает хорошую детализацию, а также позволяет совершать механическую обработку напечатанной модели, например, полировать ее. При этом, частичный протез пальца можно печатать на 3D-принтере.

Для расчета прочностных характеристик конструкции была использована программа КОМПАС-3D. Нагрузки были приложены к одной из трех частей протеза, а именно: проксимальной фаланге. Нагрузка приложена с силой в 300 Н, 500 Н и 700Н со всех сторон. Полученные эпюры напряжений представлены на рис. 5-7.

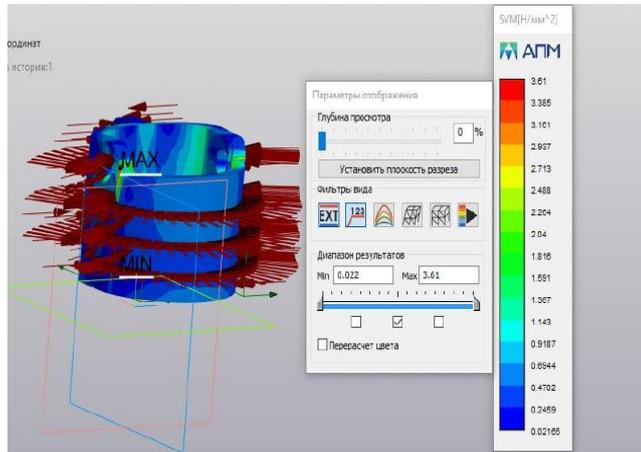


Рис. 5. Эпюра напряжений при нагрузке 300 Н

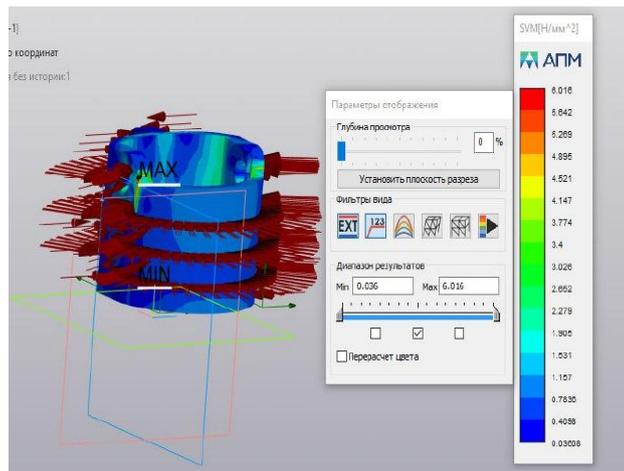


Рис. 6. Эпюра напряжений при нагрузке 500 Н

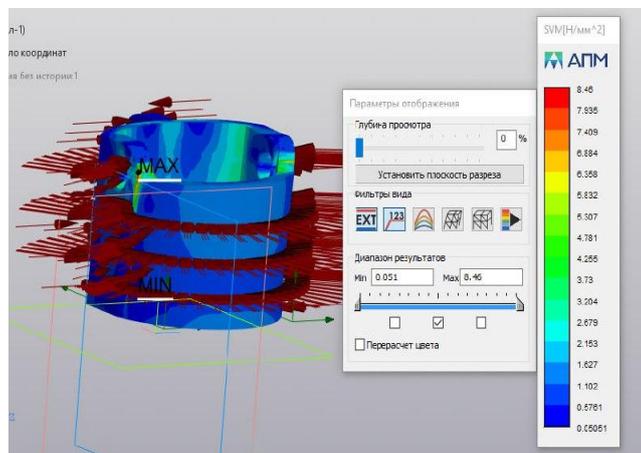


Рис. 7. Эпюра напряжений при нагрузке 700 Н

Предел текучести, Мпа	30	Нагрузка, Н	Запас прочности	Максимальное напряжение, Мпа
		300Н	8,31	3,61
		500Н	4,97	6,036
		700Н	3,54	8,46

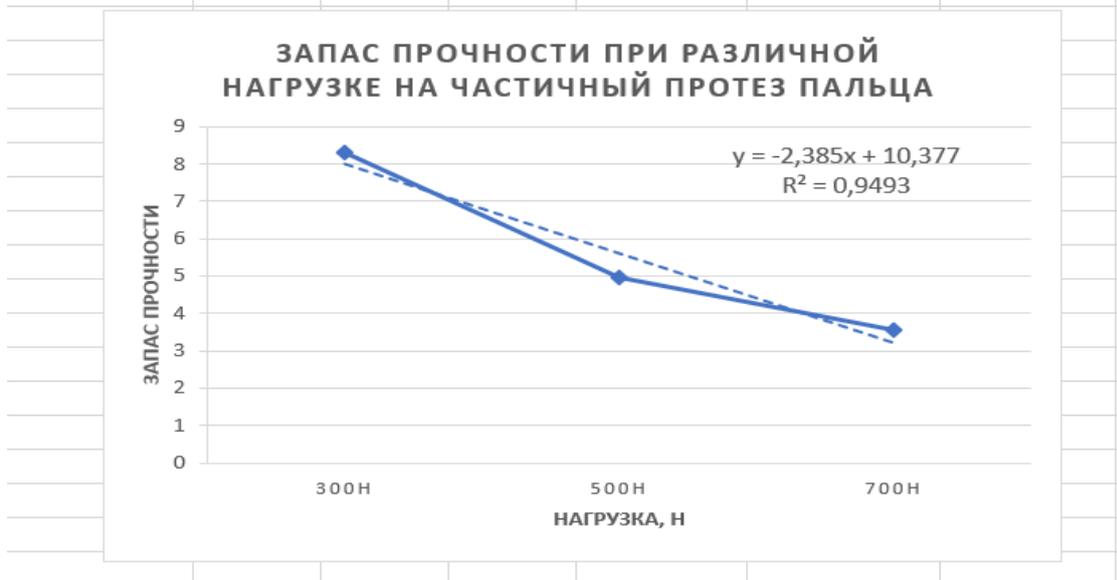


Рис. 8. Зависимость запаса прочности от нагрузки на частичный протез пальца из ABS пластика

Анализ данных, полученных из графика запаса прочности, при различных нагрузках, позволяет сделать вывод о том, что разработанная конструкция имеет достаточную прочность для повседневных занятий человека.

Выводы: разработанная конструкция частичного протеза пальца способна выдерживать требуемые нагрузки 300...700 Н.

Список источников

1. Основы конструирования приборов и аппаратов: учеб. пособие для студ., бакалавров и магистров техн. спец. / В.М. Таран [и др.]; Саратовский гос. техн. ун-т им. Гагарина Ю.А. – Саратов: СГТУ, 2016 (ООО ИД Вариа). – 171 с.
2. Проектирование и конструирование в машиностроении: в 2 ч.: учеб. пособие / В.П. Бахарев [и др.]; под ред. А.Г. Схиртладзе. – Старый Оскол: ТНТ, 2016.
3. Боголюбов С.К. Инженерная графика: учебник для средних специальных и высших учебных заведений. – М.: Альянс, 2016.

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТВЁРДОСТИ ПО ВИККЕРСУ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6Л ОТ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Гребенников Н.А.

Научный руководитель: ассистент Телегин С.В.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В статье исследуется зависимость твёрдости по Виккерсу титанового сплава ВТ6Л от режимов обработки импульсным лазерным излучением.

Ключевые слова: импульсная лазерная обработка, вт6л, титан, лазерная обработка, твёрдость

Введение

Целью работы является исследование зависимости твёрдости от параметров лазерного излучения для получения адгезионнопрочных покрытий на поверхности титановых изделий.

Материалы и методы

Выполнялись исследования на плоских образцах размером 10x10x2 мм из титанового сплава марки ВТ6Л, в количестве 3 штуки. Перед лазерной модификацией проведена очистка поверхности титана с использованием установки ультразвуковой обработки “УЗУМИ-2” при частоте 18 кГц в этиловом спирте в течение 5 мин, затем высушивалась на воздухе.

Поверхность экспериментальных образцов подверглась импульсной лазерной обработке на Nd : YAG-лазерном технологическом комплексе LRS-50 (длина волны 1.064 мкм) в воздушной среде. Диаметр сфокусированного луча $d = 2$ мм. Коэффициент перекрытия пятен 50%. Режимы лазерной обработки сведены в табл. 1.

Таблица 1

Варьирование технологических параметров лазерной модификации

Технологические параметры	Диапазон
Напряжение лампы накачки U, В	300, 350, 400, 450
Длительность импульса τ , мс	5, 10, 15, 20
Частота следования импульсов f, Гц	1, 2, 3, 4

Различные сочетания параметров технологического процесса лазерной обработки приводят к различному энергетическому воздействию на поверхность титана. Измерение и контроль данных параметров планируется осуществлялось с помощью специального измерителя Laserstar Ophir. Микротвёрдость определялась методом Виккерса на микротвердомере HVS-1000В.

Результаты эксперимента

Было проведено по 4 опыта на 3 образцах титана ВТ6Л. В каждом из опытов меняется лишь один из параметров лазерного излучения, другие остаются неизменными.

Результаты опытов на первом образце сведены в табл. 2.

Таблица 2

Выявление зависимости твёрдости по Виккерсу
от длительности импульса лазерного излучения

Номер опыта	U, [В]	f [Гц]	τ [мс]	HV
1	450	1	5	503
2	450	1	10	593
3	450	1	15	857
4	450	1	20	1035

Результаты опытов на втором образце сведены в табл. 3.

Таблица 3

Выявление зависимости твёрдости по Виккерсу
от частоты следования импульсов лазерного излучения

Номер опыта	U, [В]	f [Гц]	τ [мс]	HV
1	450	1	5	509
2	450	2	5	723
3	450	3	5	927
4	450	4	5	1128

Результаты опытов на третьем образце сведены в табл. 4.

Таблица 4

Выявление зависимости твёрдости по Виккерсу
от напряжения лампы накачки

Номер опыта	U, [В]	F [Гц]	τ [мс]	HV
1	300	1	5	259
2	350	1	5	295
3	400	1	5	457
4	450	1	5	503

Вывод: выявлено влияние импульсного лазерного излучения на твёрдость титанового сплава ВТ6Л; выявлено, что для повышения твёрдости титана импульсным лазерным излучением, эффективнее всего увеличивать частоту следования импульсов.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ИМПЛАНТАТА МЕЖПОЗВОНОЧНОГО ДИСКА

Бушева А.Ю.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Пичхидзе С.Я.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А, г. Саратов*

В данной работе предложено улучшение конструкции имплантата межпозвонкового диска, изготовленного из полиэфирэфиркетона (ПЕЕК L.22.10.10, ПЭЭК) и исследовано его НДС.

Ключевые слова: эндопротез, имплантация, межпозвонковый диск

Имплантаты типа металл-пластик могут изнашиваться со временем и обладают «холодной текучестью» и старением, типичной для пластика, что приводит к деформации и разрушению имплантата. Кроме того, продукты износа полимерных материалов нередко вызывают злокачественные перерождения окружающих тканей.

Подвижный имплантат межпозвонкового диска должен воссоздавать биомеханические функции естественного диска. Он должен уменьшать механические нагрузки на смежные диски, предупреждать развитие в них дегенеративных процессов. После установки имплантата восстанавливается высота дискового промежутка и увеличиваются межпозвонковые отверстия, что предупреждает компрессию корешков. Установка имплантата должна восстановить нормальный объем движений, высоту дискового промежутка и лордоз.

Требования к подвижному имплантату очень высокие. Он должен быть биологически инертен для организма, не приводить к развитию воспалительного процесса. Углы наклонов имплантата должны восстанавливать объем движений в трех плоскостях – сгибание-разгибание, латеральное сгибание, аксиальную ротацию.

Цель работы – улучшение эндопротеза межпозвонкового диска для повышения биосовместимости, биомеханических свойств, подвижности имплантата в костных тканях.

Форма имплантата должна быть максимально анатомической, а также обеспечивать возможность качественной установки и правильное позиционирование между замыкательными пластинами.

Зубчатые поверхности позволяют стабилизировать имплантат в дисковом пространстве.

За счет удаления внутренних перегородок и образования широкого окна появляется возможность разместить дополнительное количество трансплантата.

В сравнении с предыдущей версией имплантата [3], было уменьшено количество внутренних перегородок, что приводит к экономии материала, а также размещению большего количества трансплантата и увеличению подвижности имплантата в костных тканях. Также была уменьшена толщина стенки имплантата на 0,2 мм для более экономичного и рационального использования полиэфирэфиркетона, при этом сохраняется необходимый запас прочности по материалу.

Эндопротез был смоделирован в программе Solidworks 2016. Трёхмерное изображение эндопротеза межпозвонкового диска указано на рис. 1.

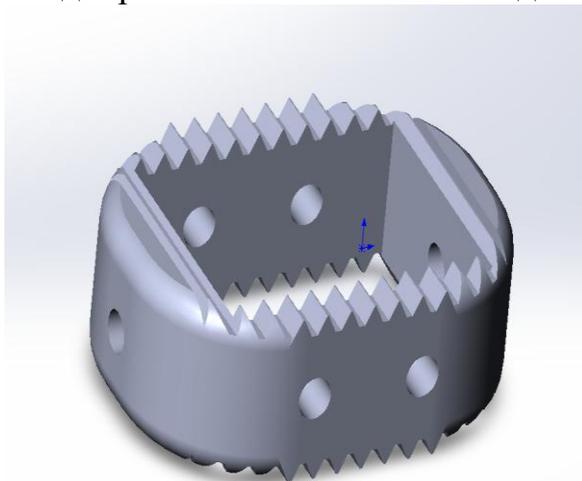


Рис. 1. 3D-модель эндопротеза межпозвонкового диска

Для исследования конструкции эндопротез подвергся суммарной вертикальной (сверху-вниз) нагрузке в 350 Н в программе Solidworks Simulation.

На верхние плоские грани и зубчатые элементы прикладывалась общая нагрузка в 350 Н.

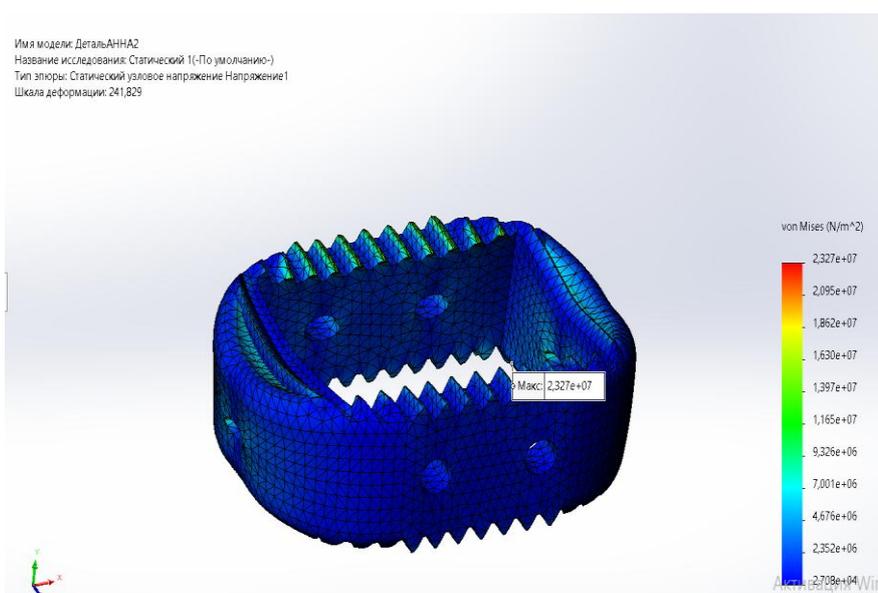


Рис. 2. Результаты расчёта статических напряжений по Мизесу

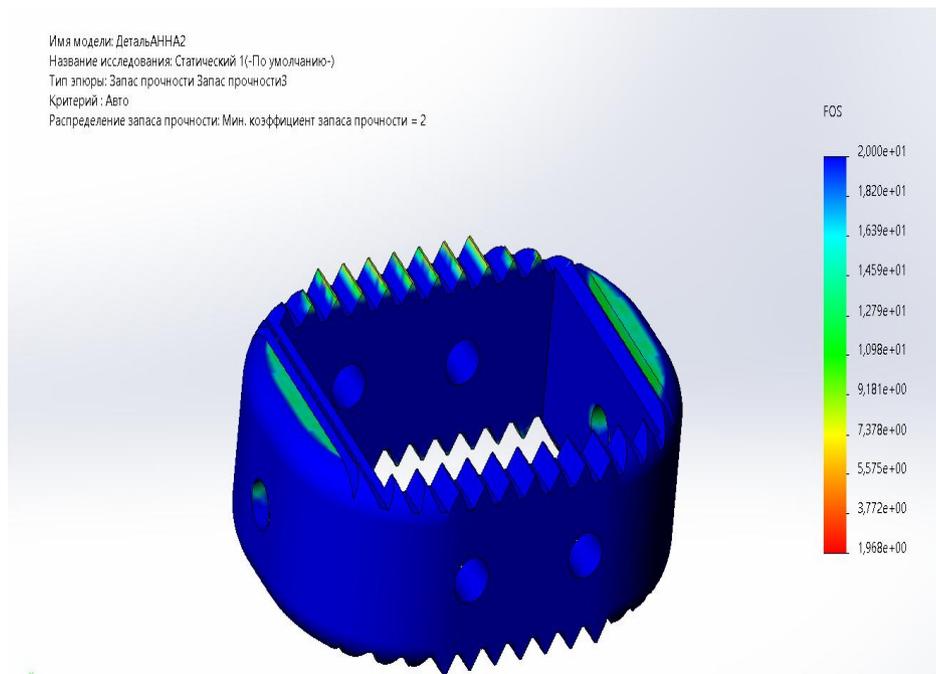


Рис. 3. Коэффициент запаса прочности

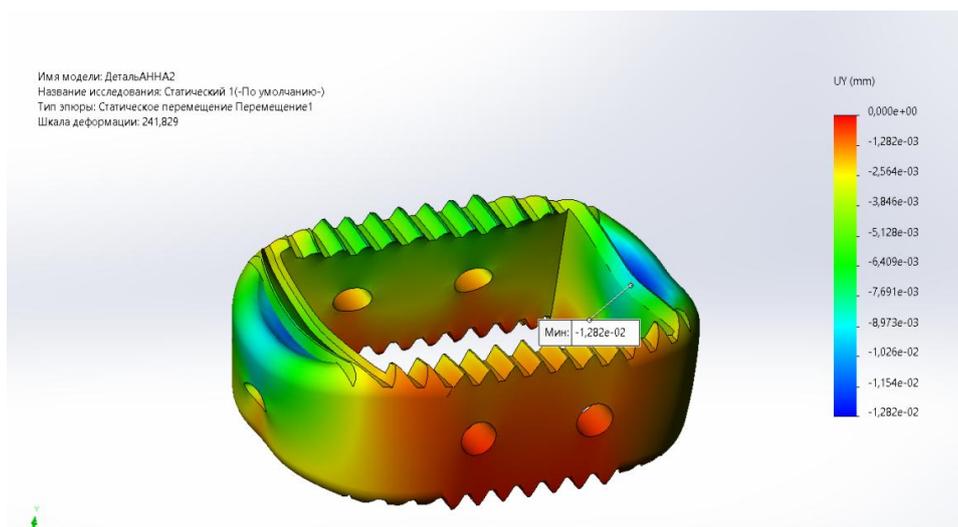


Рис. 4. Эпюра перемещений по оси Y

В результате расчета видно, что максимальное перемещение (сжатие) составляет $1,282 \cdot 10^{-4}$ мм, а напряжения в детали не достигают предела текучести.

Максимальные напряжения достигаются в зонах приложения нагрузки, на опорных зубчатых элементах.

Выводы: 1) улучшена конструкция имплантата межпозвоночного диска; 2) создана 3D модель имплантата и проведён анализ НДС под статической нагрузкой, коэффициент запаса прочности равен 2 ед.

Список источников

1. Интернет-ресурс: <https://titanmed.ru/articles/296-implanty-dlya-pozvonochnika-vidy-materialy-proizvoditeli-sroki-sluzhby.html>

- Интернет-ресурс: <https://spinelife.ru/mezhpozvonkovyy-disk/#i-2>
- Бушева А.Ю. Анализ подвижных имплантатов для протезирования межпозвонкового диска. Проблемы развития современного общества, Сборник научных статей 8-й Всероссийской национальной научно-практической конференции, (19-20 января 2023 года) / под редакцией: Кузьминой В.М., в 4-х томах, Том 4, – Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2023. – 221 – 224.

АНАЛИЗ НДС КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ ПРОТЕЗА СТОПЫ

Павлюков Т.А.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Пичхидзе С.Я.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А, г. Саратов*

В ходе работы была построена математическая модель детали протеза стопы, изготовленной из сплава стали 12X18H9T, рассмотрены прочностные характеристики конструкции.

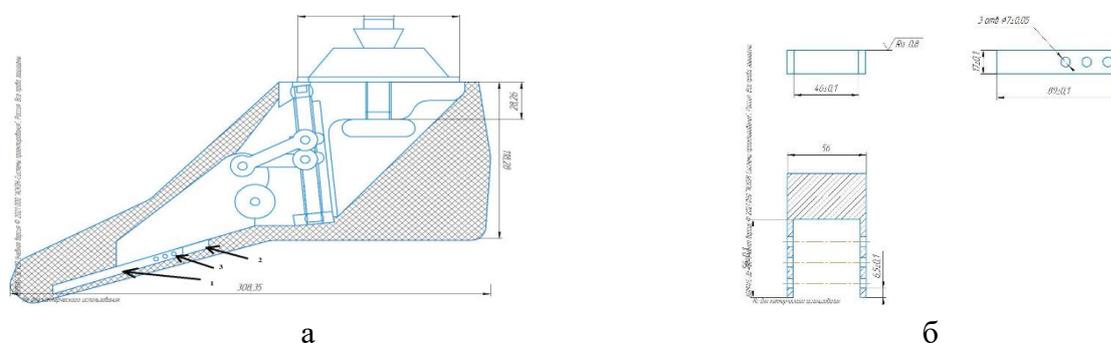
Ключевые слова: протез стопы, сталь, прочность, 3-Д печать.

Протезы стопы представляют собой искусственную конструкцию, предназначенную для замены утраченной конечности. Конструкция разработанной детали протеза состоит из 3 частей: стержень, передняя часть, задняя часть.

Наиболее распространенными материалами для создания протезов является сплав стали 12X18H9T.

Цель работы: анализ конструкции детали протеза стопы, являющейся элементом подошвы.

Разработанная конструкция детали протеза стопы, изготовленной из сплава стали 12X18H9T, представлена на рис. 1.



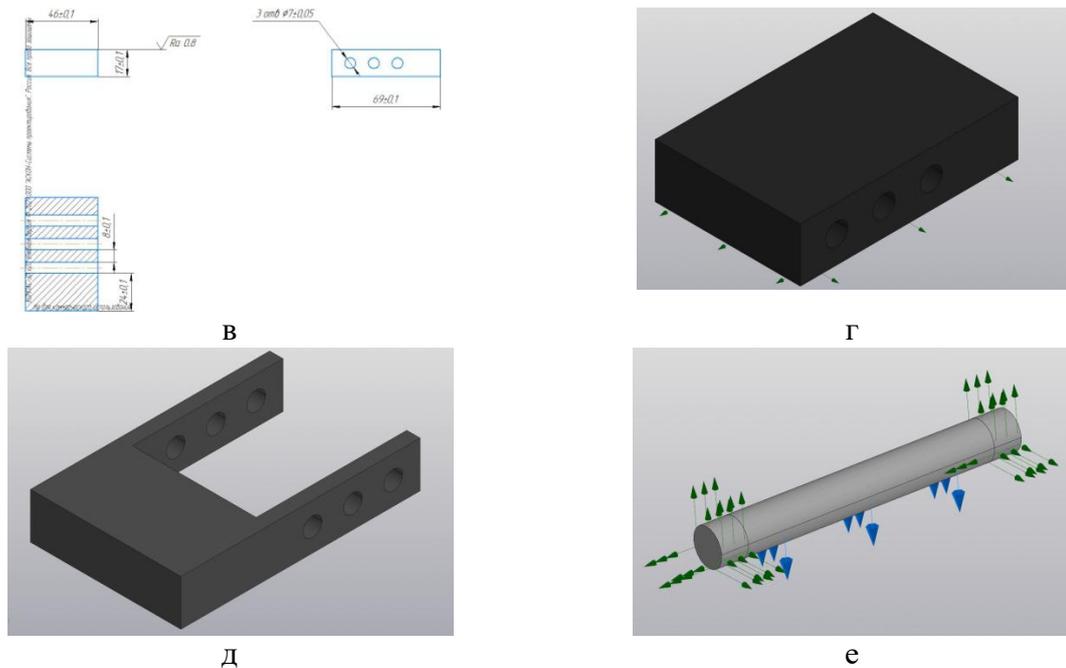
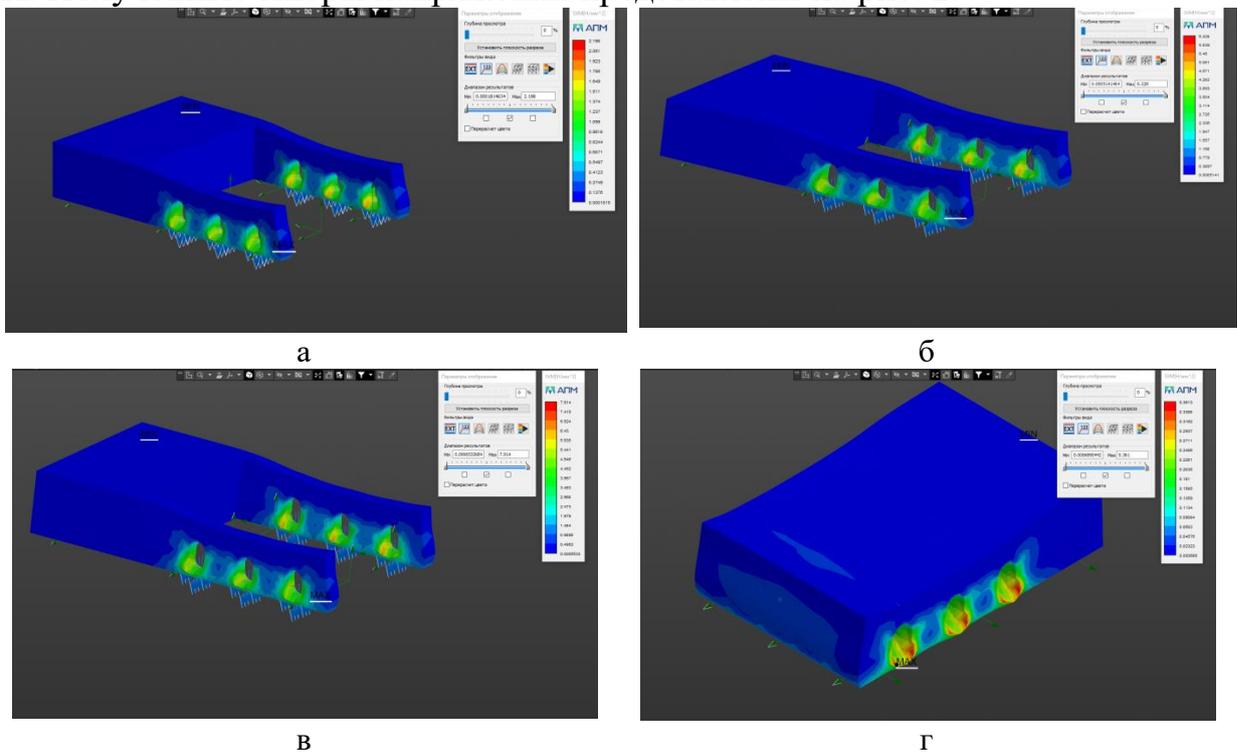
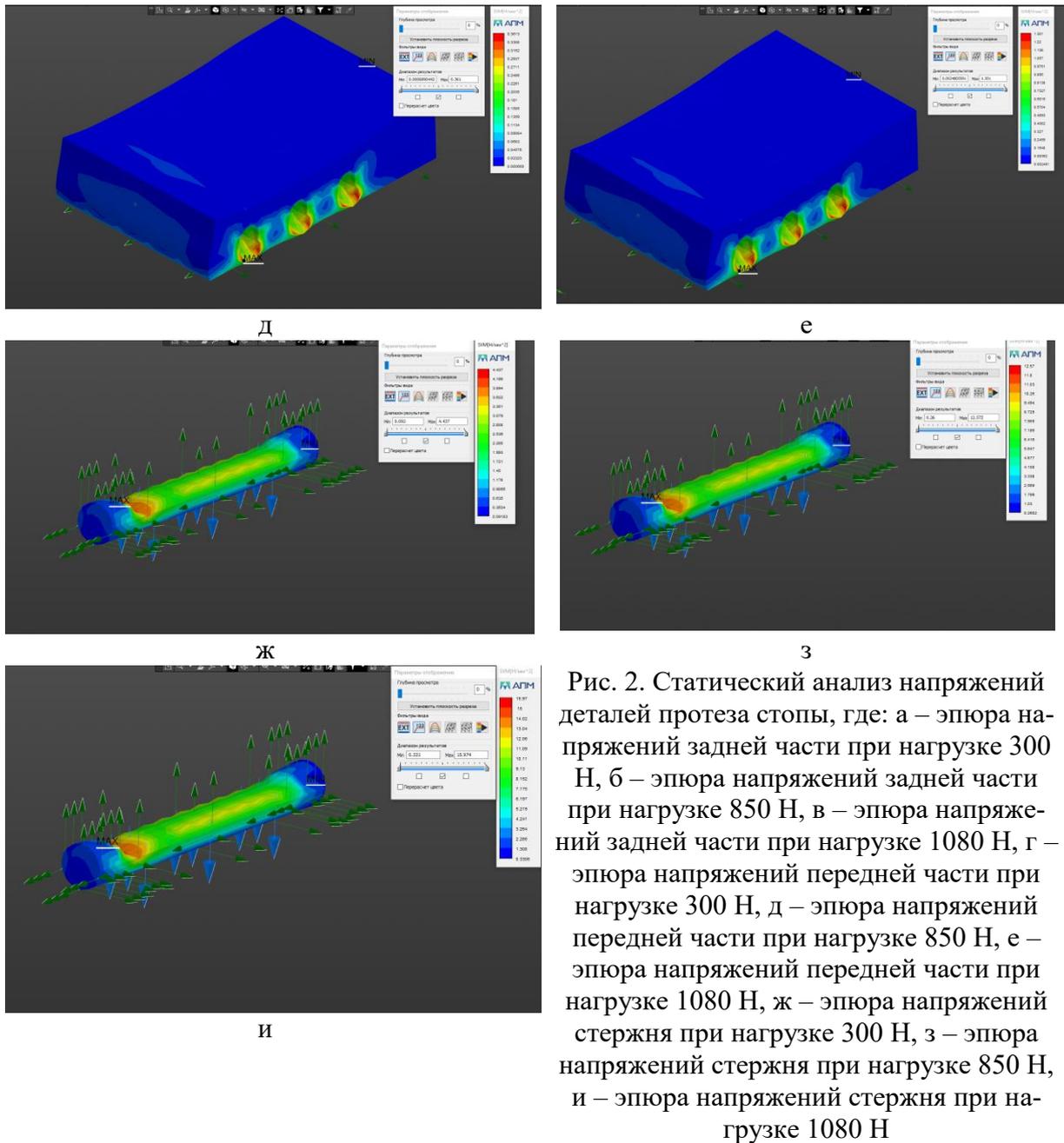


Рис. 4. Чертеж разработанной детали протеза стопы, где: 1- задняя часть, 2 – передняя часть, 3 – стержень, а – общий вид стопы, б – детализировка детали 1, в – детализировка детали 2, г – конструкция передней части детали протеза стопы, д – конструкция задней части детали протеза стопы, е – конструкция стержня

Для расчета прочностных характеристик детали протеза стопы была использована программа КОМПАС-3D. Нагрузки, приложенные к модели, соответствовали нагрузкам на ступню человека массой 60 кг во время стояния, ходьбы, бега, а именно: стоя – 300Н; ходьбы – 850 Н; бега – 1080 Н. Полученные эпюры напряжений представлены на рис. 2.





Графики изменения запаса прочности при нагрузках на переднюю и заднюю части детали протеза стопы представлены на рис. 3...5.

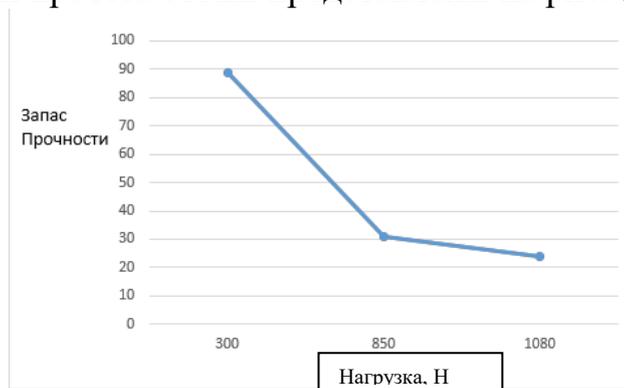


Рис. 3. График изменения запаса прочности при нагрузках на переднюю часть

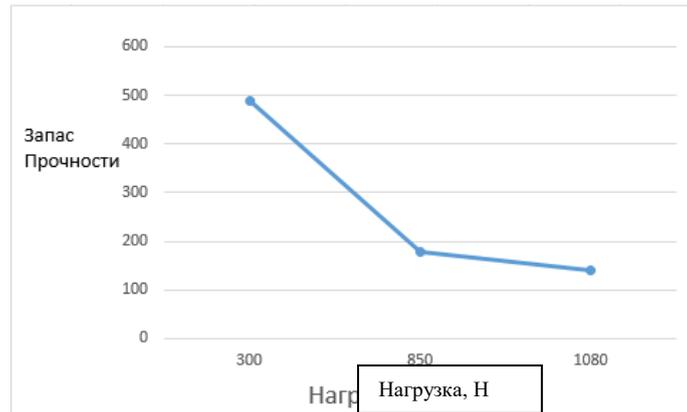


Рис. 4. График изменения запаса прочности при нагрузках на заднюю часть

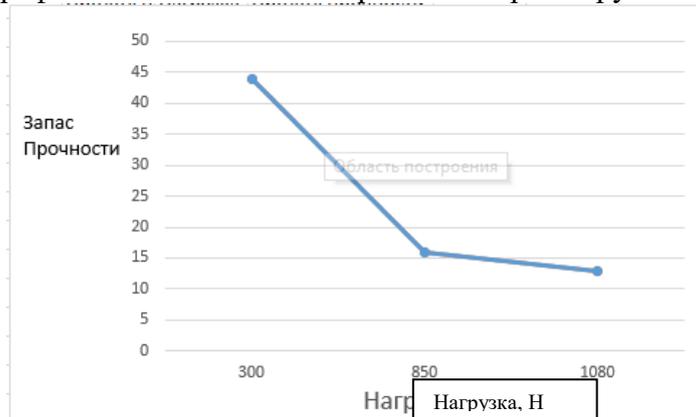


Рис. 5. График изменения запаса прочности при нагрузках на стержень

Из данных рис. 3-5, полученных при анализе запаса прочности при различных нагрузках, можно сделать вывод о достаточной прочности предложенной конструкции.

На основе построенной 3-D модели из ABS-пластика распечатан макет деталей протеза стопы, представленный на рис. 6.



Рис. 5. Образец разработанных деталей протеза стопы

Выводы: предложенная конструкция детали протеза стопы способна выдерживать требуемые нагрузки. Запас прочности составляет: минимум – 13, максимум – 490 единиц.

Список источников

1. Конструкции протезно-ортопедических изделий [Учеб. пособие для техникумов Кужекин А. П., Морейнис И. Ш., Якобсон Я. С. и др.]; Под ред. А. П. Кужекина, – М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1984. – 239 с.
2. Анатомия человека: учеб.: в 2 т./под ред. С.С. Михайлова, А.В. Чукбар, А.Г.Цыбулькин, Л.Л. Колесникова. – М.: Медицина, 2011. – 608 с.
3. Обучающие материалы КОМПАС-3D. URL : <https://kompas.ru/publications/docs/>
4. Павлюков Т.А., Пичхидзе С.Я. Исследование конструкции детали протеза стопы // Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий: IX Международная научно-практическая конференция. Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2023. 5 с.

ИНДУКЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТИТАНОВЫХ SLM-БЛОКОВ

Гулиева Л.А., Казанова А.В., Осипова Е.О., Захаревич А.М.,
Кошуро В.А., Фомин А.А.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В работе проводились исследования остеозамещающих высокопористых блоков, сформированных аддитивным методом из титана ВТ6 и последующей индукционно-термической обработкой. Постобработка изделия способствовала изменению морфологии поверхности, а именно формированию наноструктурных компонентов размером 100-400 нм. Исследование микротвердости показало, что происходит выравнивание данного параметра по всему сечению на уровне от 216 до 274 HV_{0,49}. Индукционно-термическая обработка привела к снижению модуля упругости с 115,7 ГПа до 26,7 ГПа.

Ключевые слова: титан, титановый блок, костезамещающий блок, SLM, индукционно-термическая обработка, морфология, микротвердость, модуль упругости

Введение

В настоящее время довольно распространены заболевания костной ткани, способствующие разрушению костей. Для устранения данных де-

фектов используют биосовместимые материалы, которые имеют необходимые показатели пористости (порядка 40-60%) и прочности ~ 12 МПа [1].

Титан и его сплавы широко используются в ортопедических имплантатах из-за их биосовместимости. Имплантаты из Ti6Al4V являются одними из наиболее перспективных из-за сходства его модуля упругости с человеческими костями [2].

Известны технологии аддитивного производства (АП), позволяющие создавать трехмерные трабекулярные структуры, имитирующие трабекулярную структуру кости. В последнее время передовые технологии, такие как селективное лазерное плавление (SLM) и АП, позволяют проектировать и изготавливать детали сложной формы простым, быстрым и эффективным способом [3,4].

Одним из самых распространенных методов изготовления костных блоков является SLM метод. Однако на сегодняшний день ни одна технология 3D печати, не позволяет получить изделие готовое к использованию сразу после печати. В связи с этим неотъемлемым этапом изготовления изделий методом аддитивного производства является постобработка. Известно, что термическая постобработка способствует повышению механических характеристик (твердость, модуль упругости), а также образованию наноструктурных элементов [5]. Следовательно, целью данной работы являлось исследование влияния ИТО на морфологию, микротвердость и модуль упругости титановых костных блоков, полученных SLM методом.

Методология

Для исследований использовались цилиндрические блоки диаметром и высотой 14 мм, изготовленные из порошка титана марки VT6 с использованием SLM 3D-принтера «AddSol D520». После изготовления экспериментальные образцы подвергали очистке в водном растворе этилового спирта с применением УЗ-ванны «УЗУМИ» в течение 5 минут. Дальнейшая сушка осуществлялась на воздухе. ИТО производилась с использованием установки «ВЧ15» при температуре $T = 800^\circ\text{C}$ и длительности обработки $t = 300$ с (рис. 2). Контроль температуры осуществлялся с использованием тепловизора «Ti-400» («FLUKE»). Дальнейшее охлаждение образцов происходило на воздухе.

Исследование структурных элементов проводили при помощи растровой электронной микроскопии (РЭМ) на электронном микроскопе «MIRA II LMU». Микротвёрдость изучали по шлифам с использованием твердомера «ПМТ-3М» с нагрузкой на индентор Виккерса 0,49 Н. Модуль упругости исследовали методом на сжатие с применением универсальной испытательной машины «ИР 5082-100». Образцы подвергали деформации при скорости увеличения напряжения $\sigma(t) = 10$ МПа/с и одинаковой скорости первичного перемещения 5 мм /с.



Рис. 1. Процесс ИТО блоков на воздухе

Измерение микротвердости проводилось по шлифам согласно ниже приведенной схеме (рис. 3), где: 1 – верхняя часть образца (0,2-0,4 от торца); 2 – середина блока (6-7 мм от торца); 3 – низ образца (область деформированной при SLM печати структуры).

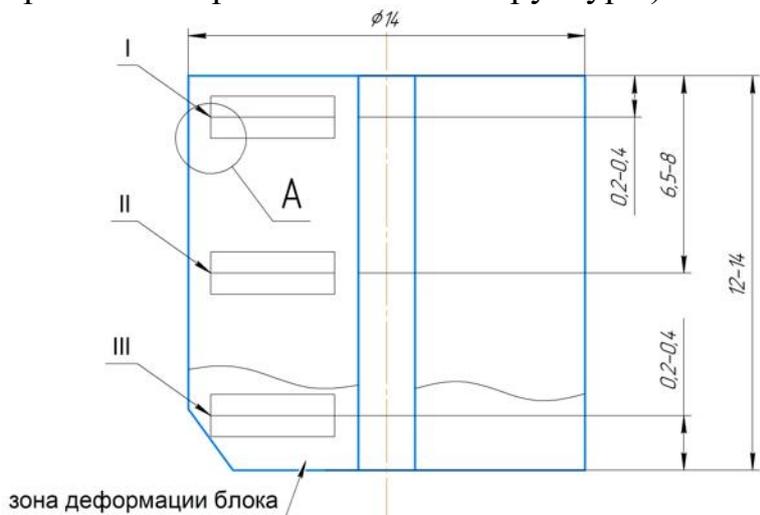


Рис. 2. Схема измерения микротвердости по сечению

Экспериментальная часть

Костные блоки до ИТО имели макроструктуру с частицами сферической формы размером от 50 до 100 мкм, а также сплэты размерами от 300 до 800 мкм (рис. 4 а, б).

После ИТО покрытие состояло из проплавленных частицы размером от 15 до 45 мкм, а также наночастиц размером 100-400 нм (рис.4 в, г). Также на поверхности визуализировались трещины, способствующие более глубокому проникновению кислорода вглубь титана.

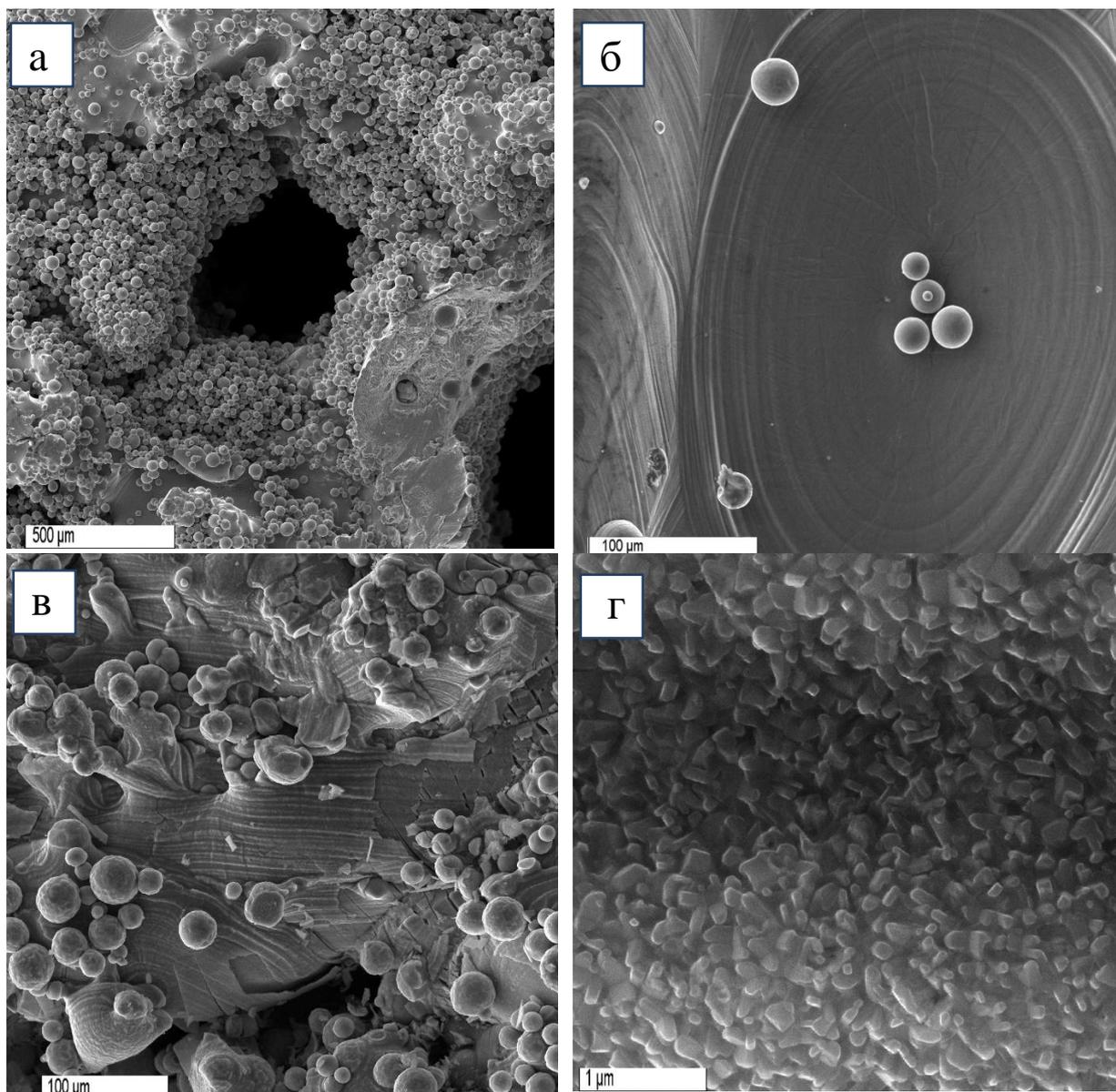


Рис. 3. Структура поверхности титанового блока а, б – до ИТО; в, г – Структура титанового блока после ИТО

Исследование микротвердости блоков, подвергнутых ИТО, позволило установить, что на измеряемых участках показатели твердости выровнялись по сечению. До термической обработки значения варьировались от 218 до 468 $HV_{0,49}$ (табл. 1), ИТО способствовало установлению значений на уровне от 216 до 274 $HV_{0,49}$ (табл. 2), что связано со снятием внутренних напряжений.

Исследование модуля упругости позволило установить, что данный показатель компактного ВТ6 составляет 115,7 ГПа. ИТО способствовала снижению данного параметра до 26,7 ГПа, по всей вероятности за счет увеличения кристалличности покрытий, что соответствует модулю упругости костной ткани (~30 ГПа). Предел прочности и относительное сжатие при этом снижались с 1140 до 945 МПа и с 2,8% до 2,5% соответственно.

Таблица 1

Показатели микротвердости от боковой поверхности до ИТО

Участок	Микротвердость $HV_{0,49}$ металла на разной глубине от боковой поверхности SLM блока								
	50 мкм	150 мкм	250 мкм	500 мкм	1000 мкм	2000 мкм	3000 мкм	4000 мкм	5000 мкм
1	441±26	438±62	393±20	415±35	468±42	422±47	423±43	440±25	425±43
2	261±47	277±32	228±44	237±37	169±35	218±29	271±34	251±38	239±31
3	259±54	244±67	224±51	218±27	249±28	230±38	232±20	229±47	208±37

Таблица 2

Показатели микротвердости от боковой поверхности после ИТО

Участок	Микротвердость $HV_{0,49}$ металла на разной глубине от боковой поверхности SLM блока								
	50 мкм	150 мкм	250 мкм	500 мкм	1000 мкм	2000 мкм	3000 мкм	4000 мкм	5000 мкм
1	221±50	248±35	274±43	270,4±19	242±33	259±32	256±21	247±24	273±49
2	250±24	231±39	240±18	233±49	273±30	259±25	272±31	230±35	235±36
3	259±47	270±54	254±31	216±35	269±18	265±38	253±36	253±36	255±36

Выводы:

Индукционно-термическая обработка способствовала изменению структуры титанового блока, а именно появилась наноструктура, состоящая из частиц размером от 15 до 45 мкм, а также наночастиц размером 100-400 нм. ИТО позволило выровнять микротвердость образца по сечению и установить данный параметр в диапазоне 216 до 274 $HV_{0,49}$, что связано со снятием внутренних напряжений. Значение модуля упругости снизился с 115,7 ГПа до 26,7 ГПа за счет перекристаллизации.

Статья подготовлена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук (МД-965.2021.4, руководитель д.т.н., доцент Фомин А.А.).

Авторы также выражают благодарность российскому инженерному бюро AddSol (ООО «Титан-Авангард») за предоставленные образцы титановых 3D-блоков, полученных по SLM технологии.

Список источников

1. Functions and applications of metallic and metallic oxide nanoparticles in orthopedic implants and scaffolds. Niyu Wang, Jerry Ying Hsi Fuh, S Thameem Dheen, A Senthil Kumar. DOI: 10.1002/jbm.b.34688. 27.06.2020 – с.160-179

2. Bionic mechanical design and 3D printing of novel porous Ti6Al4V implants for biomedical applications. Wen-ming Peng, Yun-feng Liu, Xian-feng Jiang, Xing-tao Dong, Janice Jun, Dale A. Baur, Jia-jie Xu, Hui Pan, Xu Xu. doi.org/10.1631/jzus.B1800622. 2019 – с. 647-659.

3. Taniguchi N, Fujibayashi S, Takemoto M, Sasaki K, Otsuki B, Nakamura T et al. Effect of pore size on bone ingrowth into porous titanium implants fabricated by additive manufacturing: an in vivo experiment. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. 2016 – с. 690–701.

4. Deppe H, Grunberg C, Thomas M, Sculean A, Benner KU, Bauer FJ. Surface morphology analysis of dental implants following insertion into bone using scanning electron microscopy: a pilot study. Clin Oral Implants Res. 2015 – С. 1261–1266.

Ramos, A. P., Cruz, M. A. E., Tovani, C. B., Ciancaglini, P. Biomedical applications of nanotechnology. Biophys Rev. 2017 – с. 79-89.

5. Topological design and additive manufacturing of porous metals for bone scaffolds and orthopaedic implants: A review. Xiaojian Wang, Biomaterials 83 (2016) – с. 127–141.

ФОРМИРОВАНИЕ НА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ ЛАЗЕРНЫМ ВАКУУМНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

Бирюкова О.В., Кошуро В.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Кошуро В.А.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В работе проанализированы методы формирования титансодержащих слоев на медицинских изделиях из нержавеющей хромоникелевых сталей. С учетом результатов анализа разработана методика работы и проводились исследования морфологии, микротвердости поверхности титановых слоев, сформированных на стальных подложках лазерным распылением мишени при напряжении лампы накачки $U = 450$ В, длительности прямоугольного импульса 2,5 мс, частоте импульсов 2 Гц и дистанции между мишенью и подложкой 6-7 мм. Установлено, что в результате лазерной обработки образуются покрытия, характеризующиеся средним размером частиц 37-53 мкм и микротвердостью 1302-1700 HV_{0,98}.

Ключевые слова: нержавеющая хромоникелевая сталь, 12X10НТ, вакуумное лазерное распыление, титан, макроструктура поверхности, микротвердость

Нержавеющие хромоникелевые стали отличаются высокими показателями коррозионной стойкости, прочности, твердости и характеристик упругости. Данные сплавы обладают широким спектром применения: хи-

мическая и пищевая промышленности, машиностроение, медико-техническая отрасль и др. Они подразделяются на стали аустенитного, аустенитно-мартенситного и аустенитно-ферритного классов [1]. Аустенитно-мартенситные сплавы обладают более высокой прочностью, поэтому применяются для тяжело нагруженных деталей, работающих на истирание и на удар в агрессивных средах, в частности для изготовления скальпелей и рабочих частей медицинских инструментов. Аустенитно-ферритные стали применяются как заменители аустенитных сталей с целью экономии никеля. Они имеют прочность и твердость выше, но пластичность и ударную вязкость ниже, чем аустенитные стали [2].

Аустенитные хромоникелевые стали представляют собой наиболее широко применяемую группу коррозионностойких сталей. В медицине применяют следующие марки нержавеющей стали аустенитного класса: для протезов применяются 20X18H9T и 25X18H102C или ЭИ-95, в ортопедии для восстановления костной структуры, а также для изготовления временных чрескостных имплантатов – 12X18H9T, 12X18H10T [3].

Одним из основных недостатков хромоникелевых нержавеющей сталей является опасность возникновения межкристаллической коррозии за счет образования карбида хрома, располагающегося по границам зерен. Введение в состав сплава титана или ниобия, а также уменьшение количества углерода в общей массе сплава, приводят к снижению образования межкристаллической коррозии. Трудная свариваемость, преждевременный износ в условиях контактного трения, хрупкость при нагревании от 400 до 500° С, также являются недостатками данных сталей [4].

К современным имплантационным материалам предъявляют высокие требования. Они должны быть инертны по отношению к живым тканям, не канцерогенны, иметь достаточный запас механической прочности, быть стойкими к воздействию внутренней среды организма [5]. В результате химического взаимодействия имплантационных материалов с кровью, лимфой, слюной и другими жидкостями, присущими живым организмам, за счет протекающих анодных процессов, характеризующихся ионизацией атомов поверхности имплантатов и последующей диффузией ионов в окружающую биосреду, происходит развитие металлоза [6-8]. Вследствие этого изменяются состав и свойства поверхности имплантата, а также происходит нарушение нормальных клеточных процессов в биоструктурах, возникает опасность развития воспалительных процессов и отторжения имплантата [9-10]. Терапию инфекций затрудняет образование на поверхности нержавеющей стали биоплёнок, защищающих бактерии от воздействия клеток иммунной системы организма и антибиотиков [11].

Входящие в состав стальных имплантатов токсические агенты могут поступать в окружающие ткани не только в результате коррозии, но и механического разрушения, особенно при трении металла с костной тканью и другими поверхностями. При этом выход вредных веществ может увели-

чиваться в 100 раз по сравнению с обычной коррозией. Это является причиной возникновения металлозов, аллергических и воспалительных реакций вокруг стальных имплантатов [12].

В связи с вышесказанным, для повышения эксплуатационных характеристик, в том числе биосовместимости, изделия из нержавеющей стали подвергаются обработке, обеспечивающей придание поверхностному слою заданных свойств. Применяются следующие виды обработки: термическая (отжиг, нормализация, закалка и отпуск) термомеханическая (горячая прокатка, волочение, штамповка с быстрой закалкой), химико-термическая (цементация, азотирование, цианирование и нитроцементация, диффузионная металлизация (алитирование, хромирование, борирование, карбонитрация [13], нанесение покрытий вакуумными методами [14], газотермическим напылением и оксидированием [15], обработкой концентрированными потоками энергии (в виде электронного луча, лазерного излучения (лазерная закалка), плазменного и ионного воздействия).

Одним из наиболее часто применяемых методов придания поверхности изделия заданных свойств является нанесение различных покрытий. Применительно к медицинским изделиям, функционирующим в тканях организма, рациональным материалом покрытий является титан, который биологически совместим, не вызывает ионного обмена с жидкостями и тканями организма человека, не изменяет кислотность среды, не образует вредные соединения [16].

Существуют различные методы формирования титановых покрытий. Широко известны методы газотермического и вакуумного напыления (химическое осаждение из паровой фазы (CVD), физическое осаждение из паровой фазы (PVD) и химическое осаждение из паровой фазы с усилением плазмы (PECVD)).

Среди методов газотермического напыления выделяется метод плазменного напыления, позволяющий формировать высокопористые покрытия биомедицинского применения. При этом, плазма генерируется дуговым разрядом или высокочастотным электромагнитным полем от индуктора [17]. Известен также метод детонационного напыления, позволяющий формировать покрытие с наноразмерными структурными элементами. Однако существенным недостатком данного метода также является взаимодействие напыляемого материала с газовой средой [18]. Технологию динамического напыления предлагается применять для формирования биосовместимых высокопористых покрытий. Процесс заключается в введении порошкового материала дисперсностью от 5 до 150 мкм в поток газа (воздух, азот, гелий). При этом скорость газового потока достигает 1100 м/с [19]. Ряд авторов отмечает наличие значительных напряжений в покрытии и подложке, что приводит к образованию трещин и разрушению напыленного материала [20].

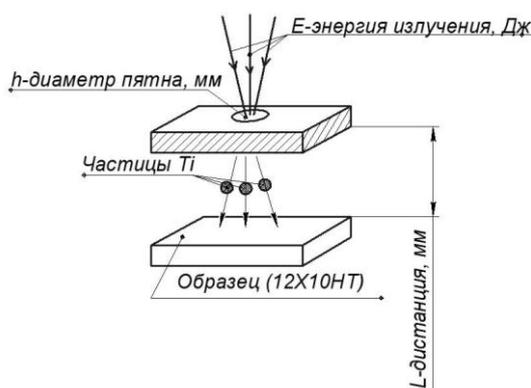
Для исключения влияния атмосферы на состав покрытия плазменное напыление титана и динамическое напыление потоком гелия проводят в вакууме [21]. Применение вакуума в процессе динамического или плазменного напыления конструктивно усложняет технологию формирования покрытий с контролируемым составом, поскольку необходимо поддерживать динамический вакуум при постоянном притоке газа в камеру, а также проводить подогрев основы.

Процессы PVD обеспечивают хорошую адгезию и износостойкость металлических или керамических покрытий и широко используется в технических и медицинских приложениях [22]. Данные методы основаны на распылении мишени под энергетическим воздействием различной природы в вакууме [23]. Например, магнетронное напыление при максимальном значении пульсирующего тока 300 А, выходном напряжении 1700 В и частоте 2000 Гц позволяет формировать на кремниевых подложках титановое покрытие, характеризующее шероховатостью Ra от 3,8 до 6 нм. При этом производительность процесса достигает 86 нм/мин [24].

К недостаткам выше указанных методов можно отнести высокую стоимость оборудования, низкую производительность для PVD метода, а для газотермического напыления не всегда качественную адгезию.

Применение различных *лазерных технологий* позволяет получать покрытия с разнообразной морфологией и структурой, и как следствие различными механическими, химическими и физическими свойствами [25-26]. Использование вакуумной среды в этом случае позволяет избежать окисления сплавов в процессе обработки. К основным достоинствам лазерного распыления относятся простота процесса и достаточная производительность.

Возможны два метода индуцированного лазером переноса вещества. При прямом способе (рис. 1,а) лазерный луч проходит через прозрачное окно вакуумной камеры, расплавляет материал мишени, и испаренный материал осаждается на подложке вдоль направления лазерного излучения. При обратном способе лазерный луч проходит через прозрачное окно вакуумной камеры, выбивает частицы с поверхности мишени и испаренный материал осаждается на подложку навстречу лазерному излучению (рис. 1,б).



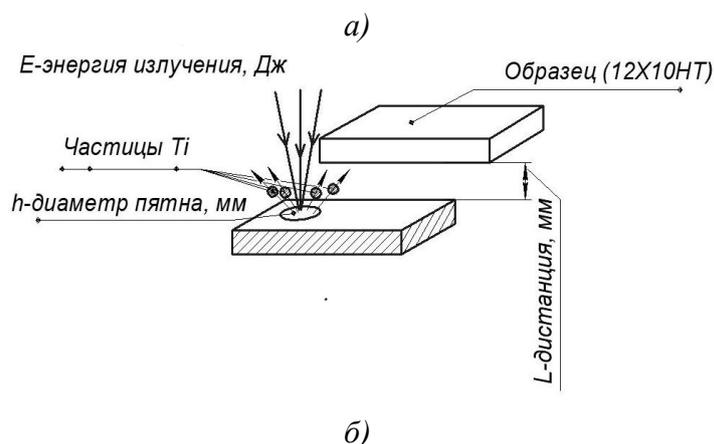


Рис. 1. Схематичное изображение процессов формирования покрытий при воздействии лазерного излучения на материал мишени:
а) прямой способ, б) обратный способ

Поэтому цель этой работы заключалась в первичной оценке структуры слоев, сформированных согласно схеме а и б (рис. 1) на подложке из хромоникелевой стали марки 12Х10НТ.

Методика эксперимента

В исследованиях использовались образцы в виде пластин $25 \times 25 \times 3$ мм из нержавеющей хромоникелевой стали марки 12Х10НТ. Перед нанесением проводилась очистка образцов от загрязнений в водном растворе этилового спирта.

Процесс испарения титановой мишени толщиной 0,6 мм под действием лазерного излучения проводился с использованием лабораторной вакуумной камеры (рис. 2) согласно схемам рис. 1а (образцы 1 и 2 серии) и рис. 1б (образцы 3 серии).



Рис. 2. Общий вид камеры

Обработку образцов проводили при помощи технологической лазерной установки «LRS-50А» при напряжении лампы накачки $U=450$ В и длительности прямоугольного импульса 2,5 мс, что обеспечивало энергию импульса $\approx 6,5-7,8$ Дж. Лазерное излучение фокусировалось в пятно 0,5-0,75 мм диаметром. Обработка титановой мишени производилась при частоте импульсов 2 Гц и дистанции между мишенью и подложкой $\approx 6-7$ мм.

Структура поверхности нержавеющей стали после лазерного напыления исследовалась с использованием оптического микроскопа «МБС-10». Размер частиц определялся с помощью анализатора изображений микроструктур «АГПМ-6М» с последующей обработкой в программе «Metallograph». Исследование микротвердости проводилось по методу Виккерса (ГОСТ 9450 – 76) с помощью микротвердомера «ПМТ-3М» при нагрузке на индентор 100 гс.

В результате лазерного воздействия на поверхность титановой мишени формировался поток отдельных частиц, который и обеспечивал структурообразование покрытия на нержавеющей стали (рис. 3).

На поверхности образцов наблюдалось наличие расплавленных частиц мишени, нагара, а также изменение цвета на образцах 3 серии говорит об окислении материала мишени.

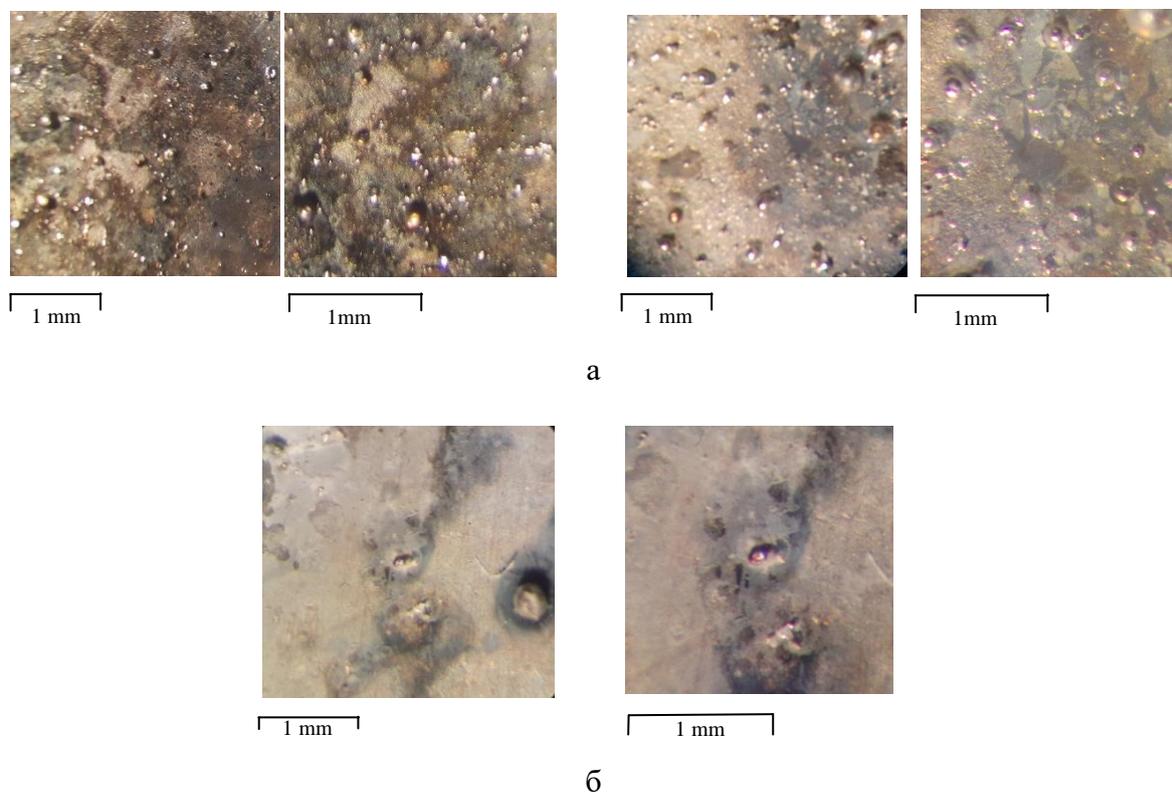


Рис. 3. Поверхность стальных образцов с покрытиями, сформированными *а)* прямым лазерным распылением (серии 1 и 2) и *б)* обратным (серия 3)

Структурные элементы покрытия представляли собой шарообразные объекты (рис. 4) со средним линейным размером 53 мкм для первой серии, 49 мкм для второй и 37 мкм для третьей. На рисунке 5 приведены диаграммы распределения частиц по размеру для каждой из серий. Полученные данные позволяют сделать вывод, что распределение структурных элементов по размеру и количеству носит нормальный характер.

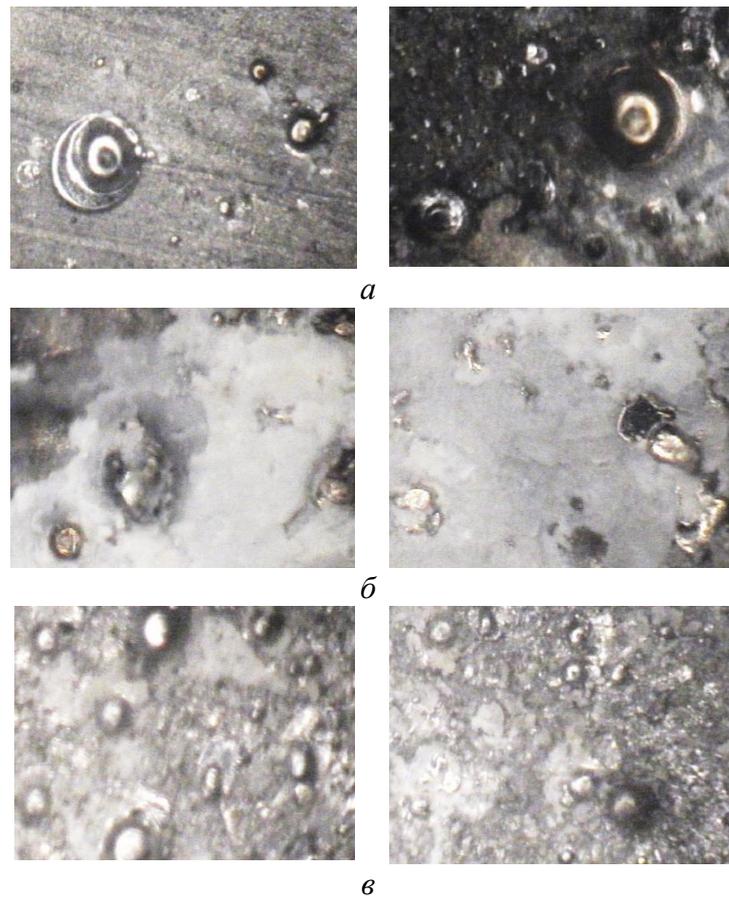


Рис. 4. Общий вид структурных элементов полученного покрытия, где: а – 1 серия, б – 2 серия, в – 3 серия (ширина кадра 540 мкм)

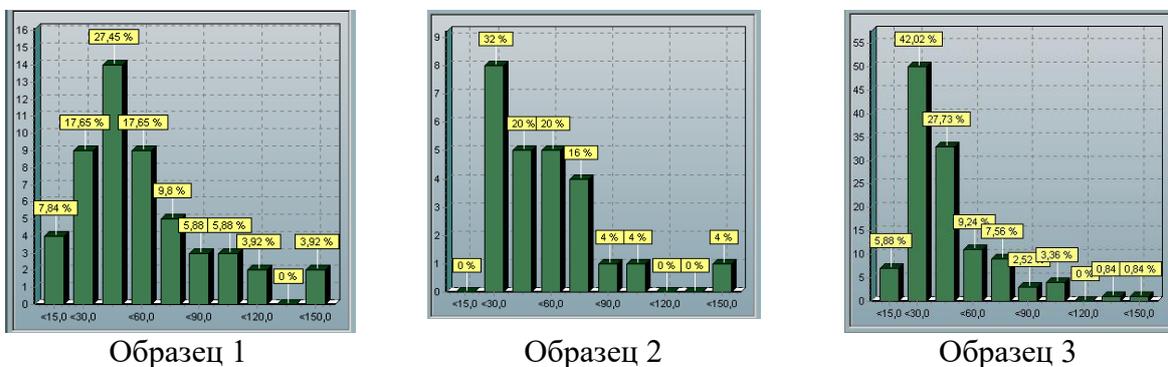


Рис. 5. Диаграмма распределения части по размеру

В результате измерений установлено, что формируемые слои характеризуются большей, чем у нержавеющей стали, микротвердостью (таблица).

Микротвердость поверхности исходных стальных образцов и после формирования титансодержащих покрытий

Схема обработки	Среднее значение микротвердости, HV0,98
без обработки	421±31
1 серия (рис. 1.а)	1495±366
2 серия (рис. 1.а)	1328±712
3 серия (рис. 1.б)	1715±58

Согласно полученным данным в процессе обработки произошло значительное повышение поверхностной твердости. Большой разброс данных на второй серии образцов свидетельствует о частичном окислении расплавленных частиц мишени.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что данный метод позволяет получить титансодержащее покрытие на хромоникелевой стали. В результате лазерной обработки образуются покрытия, характеризующиеся средним размером частиц 37-53 мкм и микротвердостью 1302-1700 HV_{0,98}. Согласно полученным данным, обратный способ формирования покрытий при воздействии лазерного излучения на материал мишени обладает низкой производительностью, а также слишком высокими показателями твердости и как следствие повышенной хрупкостью. Поэтому применение прямого способа предпочтительнее, за счет увеличения микротвердости.

Список источников

1. Сухарников А.Е. Конструкционное материаловедение: учебное пособие. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. – 199 с.
2. Потак Я. М. Высокопрочные стали. – М.: Металлургия, 1972. – 208 с.
3. Трезубов В.Н., Штейнгарт М.З., Мишнев Л.М. Ортопедическая стоматология: Прикладное материаловедение: Учебник для мед. вузов. – СПб.: СпецЛит, 2001. – 480 с.
4. Меркушкин Е.А., Березовская, В.В. Сомина С.В. Межкристаллитная коррозия сталей: учебно-методическое пособие / Мин-во науки и высш. образования РФ. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2020. – 72 с.
5. Скрябин В.Л. Эндопротезы из углеродного композиционного материала. – Ярославль, 1993. – 175с.
6. Коррозия имплантатов из титановых сплавов как результат воздействия окружающей среды / Р.Р. Шубкин, Р.Р. Татиатулин, В.К. Горчаковский, Е.П. Первышина // Анналы травматологии и ортопедии. – 1996. – № 2. – С. 43-44.
7. Пахалюк В. И., Калинин С. И., Олиниченко Г. Д. Биологические реакции на частицы износа, образующиеся в традиционных и альтернативных парах трения при тотальном замещении тазобедренного сустава // Ортопед. травматол. – 2003. – № 4. – С. 162-171.
8. Comparison of metal concentrations in rat tibia tissues with various metallic implants / Y. Okazaki, E. Gotoh, T. Manabe, K. Kobayashi // Biomaterials. – 2004. – V. 25. – № 28. – P. 5913-5920.
9. Модификация поверхностей внутрикостных имплантатов: современные исследования и нанотехнологии / Калита В.И., Маланин Д.А., Мамаева В.А., Мамаев А.И., Комлев Д.А., Деревянко И.В., Новочадов В.В., Ланцов Ю.А., Сучилин И.А. // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2009. – № 4 (32). – С. 17-22.

10. Карлов А. В., Хлусов И. А. Зависимость процессов репаративно-го остеогенеза от поверхностных свойств имплантатов для остеосинтеза // Гений ортопедии. – 2003. – № 3. – С. 46-51.
11. Van der Borden A.J., van der Werf H., van der Mei H.C., Busscher H.J. Electric current-induced detachment of staphylococcus epidermidis biofilms from surgical stainless steel // Applied and environmental microbiology. – 2004. – V. 70(11). – P. 6871–6874.
12. Краснов А. Ф., Аршин В. М., Аршин В. В. Травматология. Справочник. Ростов-на-Дону: изд-во «Феникс», 1998. – 608 с.
13. Красуля А.А., Пермитина А.А., Помельникова А.С., Цих С.Г. Химико-термическая обработка стали 08X18H10T для повышения ее эксплуатационных характеристик // Заготовительные производства в машиностроении. – 2021. – Т. 19. – № 9. – С. 419-421.
14. Endrino J. L., Fox-Rabinovich G. S., Gey C. Hard AlTiN, AlCrN PVD coatings for machining of austenitic stainless steel // Surface and Coatings Technology. – 2006. – V. 200. – №. 24. – P. 6840-6845.
15. Родионов И. В., Фомин А. А. Термомодифицирование поверхности чрескостных стержневых имплантатов для получения биосовместимых металлооксидных покрытий остеointegrационного типа // Медицинская физика. – 2013. – № 2. – С. 109-116.
16. Elias C. N. Lima J. H. C., Valiev R., Meyers M. A. Biomedical applications of titanium and its alloys // JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society. – 2008. – V. 60. – № 3. – P. 46-49.
17. Boulos M. I. RF induction plasma spraying: State-of-the-art review // Journal of thermal spray technology. – 1992. – V. 1. – P. 33-40.
18. Ulianitsky, V. Y., Dudina, D. V., Batraev, I. S., Kovalenko, A. I., Bulina, N. V., Bokhonov, B. B. Detonation spraying of titanium and formation of coatings with spraying atmosphere-dependent phase composition // Surface and Coatings Technology. – 2015. – V. 261. – P. 174-180.
19. Vilardell, A. M., Cinca, N., Garcia-Giralt, N., Dosta, S., Cano, I. G., Nogués, X., & Guilemany, J. M. Osteoblastic cell response on high-rough titanium coatings by cold spray // Journal of Materials Science: Materials in Medicine. – 2018. – V. 29. – P. 1-10.
20. Price, T. S., Shipway, P. H., McCartney, D. G. Effect of cold spray deposition of a titanium coating on fatigue behavior of a titanium alloy // Journal of Thermal Spray Technology. – 2006. – V. 15. – P. 507-512.
21. Dearnley, P. A., Roberts, K. A. Titanium matrix composites via vacuum plasma spraying: Part 2: Plasma instability and mechanisms of Co-Spray deposition // Powder Metallurgy. – 1991. – V. 34. – № 2. – P. 112-118
22. Probst, J. Binary nitride and oxynitride PVD coatings on titanium for biomedical application [Text] / J. Probst, U. Gbureck, R. Thull // Surface and Coatings Technology. – 2001. – V. 148. – P. 226-233.

23. Straumal, B. B., Vershinin, N. F., Asrian, A. A., Rabkin, E., Kroeger, R. Nanostructured vacuum arc deposited titanium coatings // Materials Physics and Mechanics (Russia). – 2002. – V. 5(1). – P. 39-42.

24. Jing, F. J., Yin, T. L., Yukimura, K., Sun, H., Leng, Y. X., Huang, N. Titanium film deposition by high-power impulse magnetron sputtering: Influence of pulse duration // Vacuum. – 2012. – V. 86(12). – P. 2114–2119.

25. Тарасова Т. В., Белашова И. С., Кузьмин С. Д., Казаков А. В. Лазерная термообработка коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т // Материалы XIX международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» имени А.Г. Горшкова. – 2013. – С. 38-42.

26. Ким В. А., Башков О. В., Сатаева И. В. Локальное лазерное легирование нержавеющей стали 12Х18Н10Т // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2016. – Т. 1. – №. 2. – С. 64-70.

ВЛИЯНИЕ ИНДУКЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА МОРФОЛОГИЮ И МИКРОТВЕРДОСТЬ ТИТАНОВЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Осипова Е.О., Кошуро В.А., Маркелова О.А., Фомин А.А.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В работе проводилось исследование влияния индукционно-термической обработки при разных температурах нагрева и пониженном давлении на химический состав, морфологию и микротвердость титановых покрытий, полученных методом электроплазменного напыления. Было установлено, что при проведении термической обработки в вакууме происходит повышение концентрации кислорода в покрытии с $43,81 \pm 10,78$ ат. % до 54–58 ат. % по сравнению со слоями, полученными электроплазменным напылением. Термическая модификация при пониженном давлении реакционной среды способствовала образованию наноразмерных элементов размером порядка 200 нм. Микротвердость модифицированных слоев увеличивалась с $1530 HV_{0,98}$ до $2095 HV_{0,98}$ по сравнению с электроплазмонанпыленными покрытиями.

Ключевые слова: титан, электроплазменное напыление, индукционно-термическая обработка, пониженное давление, оксидирование, элементный состав, морфология, микротвердость.

Покрытия различного назначения применяются в машино- и приборостроении, а также в производстве конструкций восстановительной ме-

дицины для придания поверхности изделий требуемых характеристик. В настоящее время довольно актуальным является двухстадийное формирования покрытия различными методами. Например, известны технологии нанесения покрытий лазерной наплавкой с последующим напылением плазменного покрытия (ПН) [1], газотермическим напылением (ГТН) с последующей индукционно-термической обработкой (ИТО) [2], а также ПН с последующим микродуговым оксидированием [3]. Последовательное применение различных технологий или использование модифицирующей обработки позволяет изменить состав и структуру, а также повысить адгезивно-когезионную прочность слоев, сформированных ГТН [4, 5]. Модифицирующее воздействие на напыленные покрытия оказывает и ИТО [6]. При этом известно, что давление и состав рабочей газовой среды оказывают влияние на свойства формируемых диффузионных и оксидных слоев [7]. Доказано, что вакуумный отжиг способствует увеличению микротвердости, износостойкости и коэффициента трения [8, 9]. В свою очередь для оксидирования при пониженном давлении характерно образование многослойной структуры, состоящей из слоев TiO_2 , Ti_2O_3 и TiO . Также известно, что в условиях пониженного давления коэффициент диффузии кислорода выше, что в свою очередь влияет на структуру и состав оксидных слоев [10]. Для покрытий, полученных оксидированием при пониженном давлении, характерно наличие трещин, которые в свою очередь способствуют более быстрому проникновению ионов кислорода через окалину, что влияет на реакцию окисления [11]. Известно, что диффузия кислорода применяется для глубокого поверхностного упрочнения титана и его сплавов. Значительно улучшается стойкость к абразивному износу [12]. Исходя из вышесказанного ИТО при пониженном давлении позволит получить значительные по толщине диффузионные слои без образования саморазрушающейся окалины и тем самым придать напыленному покрытию комплекс свойств: сочетание высокой твердости и износостойкости. Поэтому целью работы является установление влияния режимов ИТО при пониженном давлении на морфологию, химический состав и микротвердость покрытий, полученных ПН.

В исследованиях использовались образцы в виде титановых дисков марки ВТ1-0 диаметром 14 мм, толщиной 3 мм и осевым отверстием. Подготовка образцов и формирование ПН покрытий производилось согласно известной методике [2]. Последующая термическая модификация при пониженном давлении реакционной среды проводилась на установке «ВЧ-15» в кварцевой камере с наружным диаметром 30 мм при внутреннем диаметре индуктора 33,3 мкм, внешнем – 46,1 мкм. ИТО производилась в течение 300 с при разных значениях рабочего тока индуктора ($I = 2,2$; $2,23$; и $2,83$ кА), что позволяло нагревать экспериментальные образцы до $T = 800-850$, $900-950$ и 1200 °С соответственно. Давление реакционной среды составляло 0,3-0,47 торр (39,9-62,6 Па). После образцы охлаждались в ра-

бочей среде индуктора и по достижении температуры 150–200 °С извлекались из технологического объема для последующего охлаждения на воздухе.

Морфология поверхности полученных покрытий изучалась методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) с использованием «MIRA II LMU». Для исследования концентрации кислорода в покрытии использовали метод энергодисперсионного анализа с применением детектора «INCA PentaFETx3». Микротвердость покрытий исследовалась по поперечным микрошлифам на твердомере «ПМТ-3М» при нагрузке на индентор Виккерса 100 гс.

Изучение морфологии показало, что на модифицированном покрытии отсутствует окалина. Модифицированные слои, характеризовались наличием трещин (рис. 1), которые в свою очередь способствовали проникновению кислорода вглубь покрытия [7, 11].

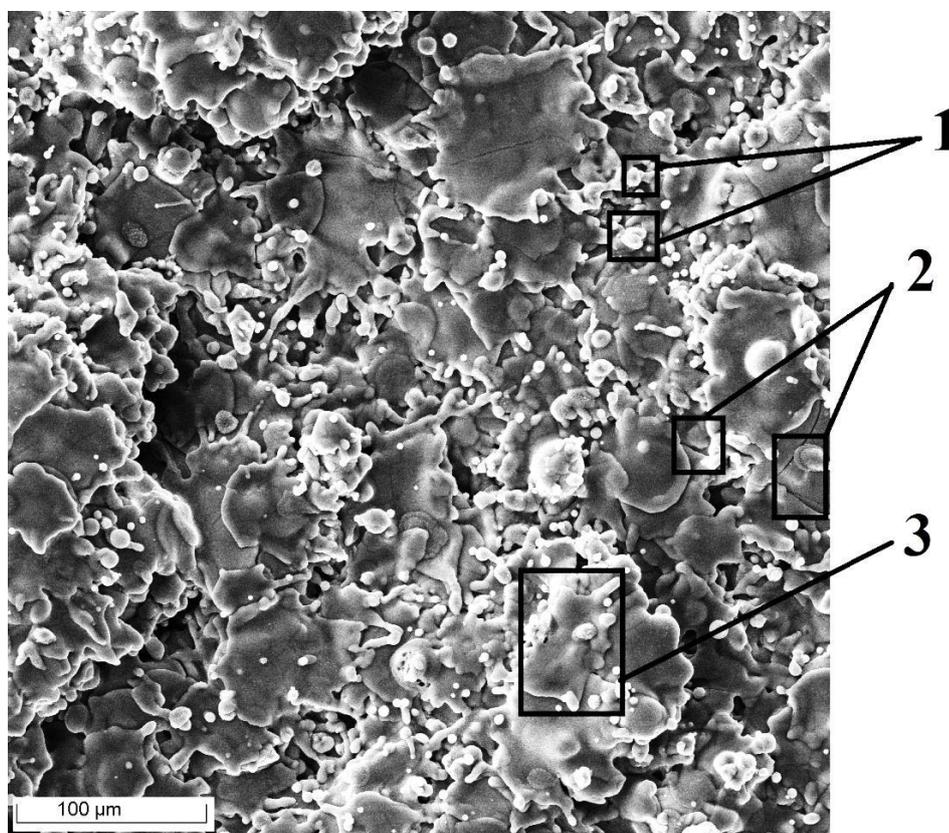


Рис. 1. РЭМ покрытия после термической обработки при $I=120$ А (800-850 °С):

1 – титановые частицы; 2 – трещины; 3 – сплэты

Существенные изменения происходят в покрытии на нано уровне. ИТО при пониженном давлении способствовало образованию призматических частиц размером порядка 200 нм при токе 2,23 кА (рис. 2б). При температуре нагрева 800-850 и 1200 °С наблюдались частицы размером 1-3 мкм. В покрытии, полученном ПН наноструктура отсутствовала (рис. 2а).

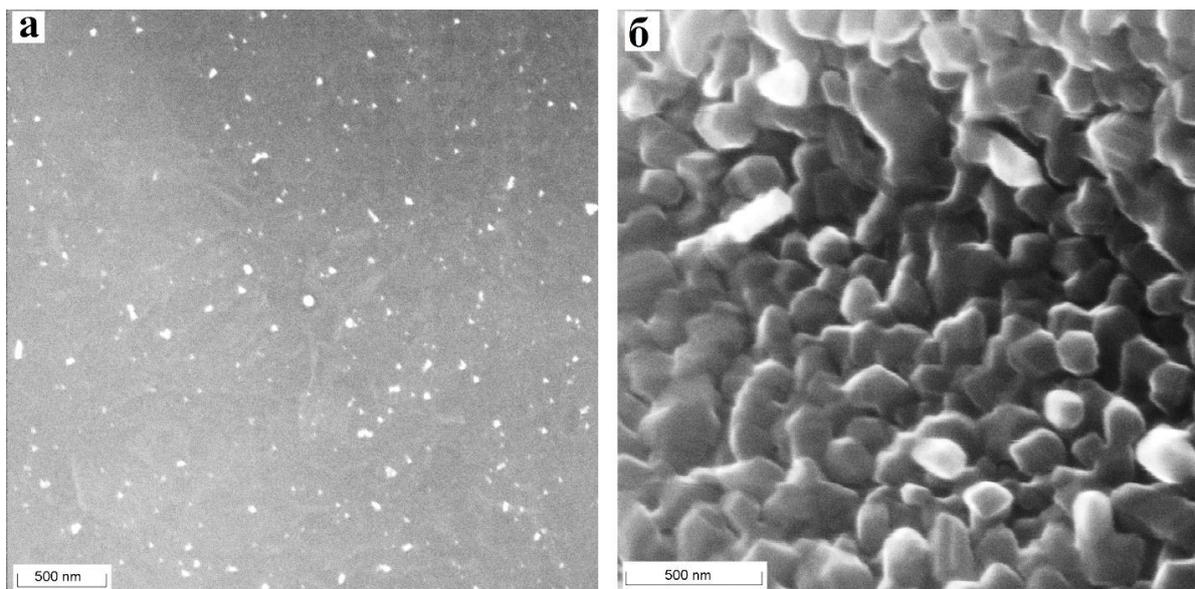


Рис .2. РЭМ образцов с покрытиями:
а – ПН; б – ПН+ИТО при пониженном давлении

Термообработка способствует насыщению покрытия кислородом. Максимальная концентрация кислорода в поверхностном слое, полученном методом ЭПН, составляет $43,81 \pm 10,78$ ат.%. Низкотемпературная обработка способствовала повышению кислорода до $57,60 \pm 12,55$ ат.%. При повышении тока индуктора до 2,23 кА концентрация кислорода оставалась практически без изменений и составляло $58,36 \pm 12,55$ ат.%, что связано с наличием трещин в покрытии. Обработка при максимальном рабочем токе индуктора равном 2,83 кА способствовала незначительному снижению кислорода до $54,80 \pm 4,01$ ат.%.

Измерение микротвердости покрытия, полученного методом ЭПН, показало, что данный параметр варьировался от $1035 \text{ HV}_{0,98}$ на глубине 50 мкм от границы раздела с титановой основой до $1530 \text{ HV}_{0,98}$ на глубине 200 мкм (рис. 3). Микротвердость титановой подложки составляла порядка $100 \text{ HV}_{0,98}$. Индукционно-термическая обработка при токе индуктора 2 кА способствовала увеличению данного параметра до $1860 \text{ HV}_{0,98}$ на глубине 100 мкм от границы раздела и уменьшалась к поверхности до $1034 \text{ HV}_{0,98}$, что связано с более глубоким распространением кислорода вглубь модифицированных слоев. Микротвердость титановой основы увеличилась до $377 \text{ HV}_{0,98}$. Ток индуктора равный 2,23 кА приводил к снижению твердости до $1486 \text{ HV}_{0,98}$ на поверхности и уменьшалась до $1281 \text{ HV}_{0,98}$ на границе раздела. Микротвердость титановой основы не изменилась. Максимальное значение тока индуктора способствовало увеличению микротвердости покрытия до $2095 \text{ HV}_{0,98}$, что связано с образованием упрочненного диффузионного слоя на глубине 50 мкм, основы – до $523 \text{ HV}_{0,98}$.

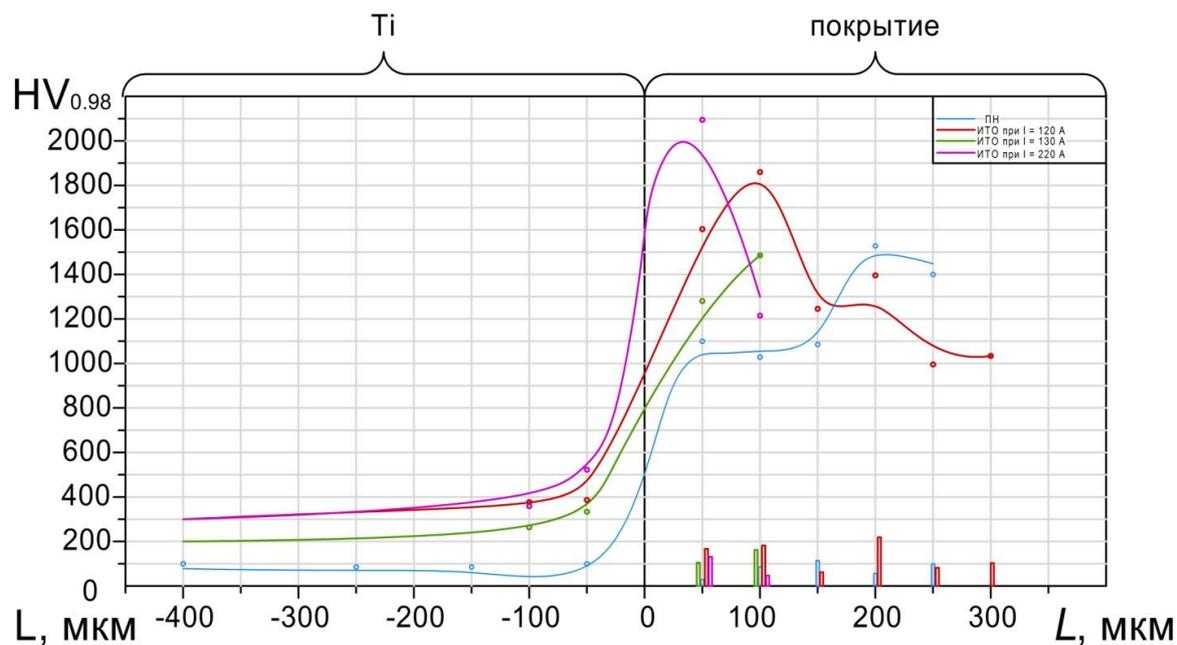


Рис. 3. Распределение микротвердости по шлифам

Выводы: ИТО в вакууме способствует образованию в покрытии наноструктурных элементов порядка 200 нм. Концентрация кислорода в покрытии по сравнению с ЭПН слоями увеличивалась с $43,81 \pm 10,78$ ат.% до 54–58 ат. %, что в свою очередь влияет на показатели микротвердости. После термической обработке при пониженном давлении образовывались упрочненные диффузионные слои, характеризующиеся показателями микротвердости от 1486 $HV_{0,98}$ до 2095 $HV_{0,98}$. Максимальное значение данного показателя у ЭПН слоев составляло 1530 $HV_{0,98}$.

Статья подготовлена при выполнении научных исследований в рамках гранта Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. Договор №17952ГУ/2022 от 23.05.2022.

Список источников

1. Микротвердость в композиционных покрытиях, полученных армированием газотермических покрытий лазерной наплавкой / Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Луцко Н.И., Лапковский А.С. // Перспективные материалы и технологии. Международный симпозиум посвящен 40-летию ИТА НАН Беларуси. Витебск. – 2015. – С. 233-235.

2. Исследование влияния тока индуктора на структуру и механические свойства газотермических титановых покрытий / Осипова Е.О., Маркелова О.А., Кошуро В.А., Фомин А.А. // Вопросы электротехнологии. 2021. – №3 (32). – С. 27–32.

3. Влияние микродугового оксидирования на структуру и твердость алюмооксидных покрытий, сформированных на титане плазменным напылением / Кошуро В.А., Фомин А.А., Родионов И.В., Фомина

М.А. // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2018. – Т. 54. – № 5. – С. 499-504.

4. Лазерная модификация плазменнонанесенных покрытий / Шелягин В.Д., Хаскин В.Ю., Грищенко А.П., Сиора А.В., Бернацкий А.В. // Вестник двигателестроения. 2009. – №2. С. 69–72.

5. Якубович И.О., Орешенко Т.Г. Задачи и перспективы повышения качества покрытий, получаемых методом плазменного напыления // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – Т. 1. – 2016. – С. 344–345.

6. Морфология и микротвердость титановых газотермических покрытий после термической обработки в воздушной среде при атмосферном давлении и техническом вакууме / Осипова Е.О., Болычевский А.М., Маркелова О.А., Захаревич А.М., Кошуро В.А., Фомин А.А. // Перспективные материалы и высокоэффективные процессы обработки: сборник материалов Всероссийской молодежной конференции. – 2022. – С. 352-357.

7. Кинетика роста газонасыщенных (охрупченных) слоев на титане при вакуумном отжиге / Булков А.Б., Пешков В.В., Селиванов В.Ф., Михалевич Н.Е. // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2020. – Т. 16. – № 2. – С. 142-148

8. Post-spray modification of cold-sprayed Ni-Ti coatings by high-temperature vacuum annealing and friction stir processing. / Huang, C. J., Yan, X. C., Li, W. Y., Wang, W. B., Verdy, C., Planche, M. P. & Montavon, G. // Applied Surface Science. – 2018. – V.451. – P. 56–66.

9. Effect of thermal annealing in vacuum and in air on nanograin sizes in hard and superhard coatings Zr–Ti–Si–N. / Pogrebnjak, A. D., Shpak, A. P., Beresnev, V. M., Kolesnikov, D. A., Kunitskii, Y. A., Sobol, O. V., . & Grudnitskii, V. V. // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. – 2012. – V. 12 (12). – P. 9213–9219.

10. Kofstad, P. High-temperature oxidation of titanium // Journal of the Less Common Metals. – 1967. – V. 12 (6). – P. 449–464.

11. Kofstad, P., Hauffe, K., & Kjollesdal, H Investigation on the oxidation mechanism of titanium // Acta chemica scandinavica. – 1958. – V. 12 (2). – P. 239-266.

12. Dong, H. & Li, X. Y. Oxygen boost diffusion for the deep-case hardening of titanium alloys // Acta chemica scandinavica. – 2000. – V. 280 (2). – P. 303-310.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ТИТАНА ПОСЛЕ ИНДУКЦИОННОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В КОНТЕЙНЕРЕ

Войко А.В.¹, Красников А.В.², Красникова Е.С.²,
Захаревич А.М.^{1,3}, Фомин А.А.¹
Научный руководитель: д.т.н., доцент Фомин А.А.

¹Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

²Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов

³Саратовский государственный университет
им. Н.Г. Чернышевского, г. Саратов

*С помощью химико-термической обработки был обработан титановый образец имитирующий внутрикостный имплантат. Оценка функциональных свойств проводилась в условиях *in vivo* (на лабораторных животных). Исследование показало, что за установленный период времени эксперимента, на изделии образовались костные клетки, имеющие высокую адгезию.*

Ключевые слова: индукционный нагрев, химико-термическая обработка, титан, биосовместимость

Титан и его сплавы широко используются в промышленности для изготовления ответственных изделий авиа- и машиностроения, медицины и химической промышленности. Он характеризуется одним важным свойством, за счет которого он нашел применение в медицине – биологической инертности. Сочетание высоких коррозионных и механических характеристик, делают его одним из лучших материалов для производства различной номенклатуры изделий, используемых в медицине.

Однако титановые сплавы имеют низкие значения твердости и коэффициента трения, а для этого конструкционного материала характерна склонность к контактному схватыванию и разрыву. Эти проблемы могут быть решены за счет модификации поверхности [1–3]. Одним из эффективных методов является химико-термическая обработка (ХТО), в частности науглероживания.

Процесс науглероживания проводился для повышения твердости, износостойкости, и биосовместимости малогабаритных изделий из титана. Этот процесс реализуется в герметичном контейнере, внутрь которого засыпается рабочая среда и помещается модифицированный образец. Подготовленный контейнер располагался на керамической подставке в индукторе. Нагрев контейнера происходил в воздушной среде до температуры 1300 °С и затем выдерживался в течение 8 мин.

Для испытания на биосовместимость использовался метод *in vivo* (на лабораторных животных). В качестве подопытных животных использовали лабораторные белые крысы. Образование костных тканей на поверхности имплантата фиксировали с помощью оптической микроскопии в купе с РЭМ. Внедренный металлический объект находился в животном не менее 30 суток.

Имплантат, извлеченный из лабораторного животного, имел исходную целостность, отслоений и сколов покрытия не было обнаружено. Имплантат был покрыт костным материалом, который прочно сцепился с покрытием (рис. 1).

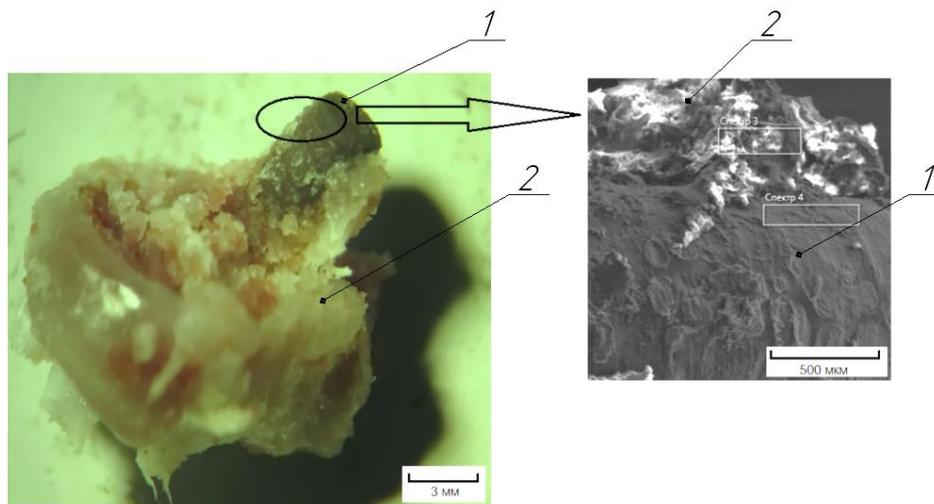


Схема расположения изделий в контейнере: 1–титановый имплантат, 2 – корпус контейнера, 3–рабочая среда (графит), 4–крышка контейнера, 5–стягивающий винт

Проверка биосовместимых свойств в *in vivo* показала высокую адгезионную способность костных клеток к карбонитриднему покрытию. Развитая гетерогенная поверхность обеспечивала образование прочной связи костного материала с микрометровыми порами покрытия. На рисунке показаны области (спектр 3 и 4), на которых исследовался химический состав, результаты которого приведены в таблице.

Химический состав поверхности имплантата после эксперимента на биосовместимость, номера спектров соответствуют рисунку

Метка спектра	Спектр 3 (кость)	Спектр 4 (имплантат)
C	70,63	67,38
O	25,50	23,71
P	1,35	0,84
Ca	2,48	1,39
Ti	0,04	6,67
Всего	100,00	100,00

Результаты РФА участков имплантата показывают наличие таких элементов как фосфор и кальций. Наличие значительного количества углерода может объясняться органическим составляющим кости – коллагена и т. д. Процент присутствующего кислорода увеличивался на участке с ко-

стью и уменьшался на покрытии имплантата, появление которого может объясняться наличием кислородосодержащих органических молекул.

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10040). <https://www.rscf.ru/project/18-79-10040/>.

Список источников

1. Surface morphology of zirconium after treatment with high-frequency currents / Koshuro V., Fomina M., Voyko A., Rodionov I., Zakharevich A., Skaptsov A., Fomin A. // Composite Structures, 2018, Vol. 202, pp. 210-215

2. Composition, structure and mechanical properties of the titanium surface after induction heat treatment followed by modification with hydroxyapatite nanoparticles / Fomin A., Dorozhkin S., Fomina M., Koshuro V., Rodionov I., Zakharevich A., Petrova N., Skaptsov A. // Ceramics International, 2016, Vol. 42(9), pp. 10838-10846.

3. Fomin A. Superhard titania coatings produced on titanium using induction heat treatment // Ceramics International, 2019, Vol. 45(7), pp. 8258-8264.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТИТАНА

Власов К.А., Коцеруба Н.А., Войко А.В.
Научный руководитель: ассистент Войко А.В.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В работе приведено исследование физико-механических свойств, а именно износостойкости титановых образцов после цементации. Полученные образцы характеризовались покрытием с высокой прочностью.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, титан, карбид титана, износостойкость, покрытие

На сегодняшний день титан и его сплавы широко применяются в машиностроении, строительстве, авиастроении и других отраслях. Титан стал неотъемлемой частью таких важных изобретений как: самолеты, корабли, различные протезы и т. п. [1].

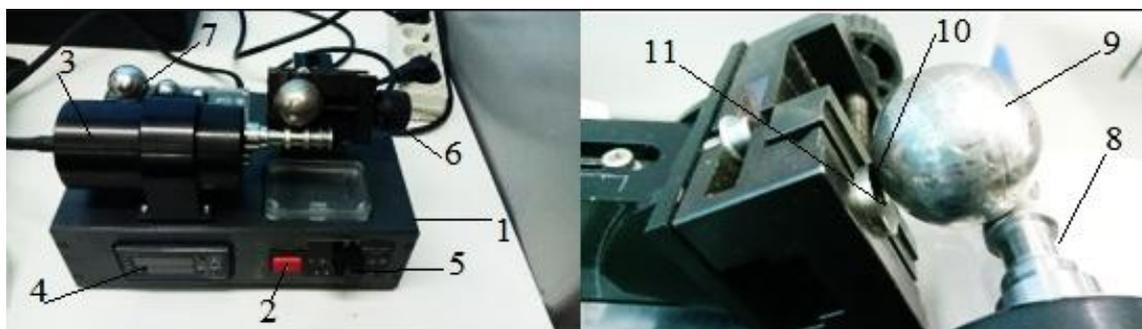
Недостатком данного металла является задираание, налипание, которое возникает при трении. В результате происходит ускоренное изнашивание титанового сплава. Однако верхний слой титана можно сделать более прочным, устойчивым к истиранию и налипанию, поэтому рассмотрим некоторые из известных методов нанесения различных благоприятных покрытий на поверхность титановых сплавов: технология ионно-лучевого распыления и химико-термическая обработка (ХТО).

Метод ионно-лучевого распыления заключается в бомбардировке мишени заданного состава пучком ионов с энергией до 5000 эВ с последующим осаждением распыленного материала на подложку. В результате эксперимента покрытие образцов составило 0,15-1,5 мкм [2-3]. Существует также метод нанесения на поверхность образца карбида титана при ХТО. При ХТО металл выдерживается при высокой температуре в химически активной среде, например углерод. Для получения карбида титана был задействован именно этот метод, при этом температурный режим составлял 1100-1400 °С, а время выдержки не превышало 8 минут. Вследствие чего твердость образцов возросла до 400HV [4].

Цель данной работы – исследовать влияние химико-термической обработки на физико-химические свойства титана.

Образцы в виде дисков диаметром 15 мм поместили в тугоплавкий металлический контейнер и со всех сторон засыпали и уплотнили твердый карбюризатор, в роли которого выступал порошок графита. Следующим шагом являлся нагрев тугоплавкого контейнера, содержащего в себе образцы в углеродосодержащей среде. Нагрев производился индукционным методом до 1100 – 1400° С. После завершения процесса ХТО на образцах сформировалось покрытие темно-коричневого цвета.

Методом шарового истирания была выполнена оценка толщины полученных покрытий и износостойкости, на приборе «Константа» (рисунок). Истирание происходило из-за контакта вращающегося закаленного стального шара диаметром 15 мм с поверхностью образцов, длительность процесса составила 120 с при частоте вращения шпинделя 1300 об/мин. При этом в тестовой зоне была задействована суспензия с алмазными частицами абразива размером 3 мкм. Характеристикой износостойкости служил диаметр отпечатка d и D , оставленного шариком в ходе истирания. Значения износостойкости рассчитывались согласно рекомендациям Р 50-95-88 по определению, класса износостойкости КИ и износостойкости И [5]. Учитывались при этом диаметры шарика, шпинделя и ширина дорожки качения.



Общий вид прибора «Константа» и место контакта образца с шаром: 1 – корпус, 2 – кнопка включения, 3 – электромотор, 4 – панель управления, 5 – блок управления оборотами, 6 – зажимы для образцов, 7 – сменные шары, 8 – вал электромотора, 9 – шар, 10 – место контакта образца и шара и суспензии, 11 – образец

Для определения влияния ХТО на износостойкость титановых образцов в рамках экспериментальной программы были исследованы восемь образцов с покрытием и два контрольных образца, включая технический титан ВТ1-0 и твердый сплав ВК8 (таблица). Результаты показали, что при заданных условиях износа стандартный образец из технического сплава ВТ1-0 имел самый низкий показатель $1,02 \times 10^6$. Напротив, стандартный образец из технического титана ВК8 имел показатель $4,22 \times 10^6$, что почти в четыре раза больше. Такая разница в износостойкости может быть объяснена пластической деформацией титана, когда он прижимается к стальному шарикю, принимая алмазные абразивные зерна в поверхностный слой, что приводит к изменению износостойкости.

Результаты теста на износостойкости экспериментальных образцов при шаровом истирании в течение 120 с.

№ п.п.	Обозначение образца	Средняя величина размера отпечатков D/d, мкм	Линейная величина износа ΔH , м	Толщина покрытия h, мкм	Износостойкость И / КИ (класс-разрядность)
1	2	3	4	5	6
1	1100_4	1470/1380	$1,80 \times 10^{-5}$	2,3	$7,43 \times 10^6$ / КИ5-5
2	1100_8	1340/1220	$1,49 \times 10^{-5}$	2,6	$8,95 \times 10^6$ / КИ5-5
3	1200_4	1400/1240	$1,63 \times 10^{-5}$	3,5	$8,19 \times 10^6$ / КИ5-5
4	1200_8	1432/1170	$1,71 \times 10^{-5}$	5,7	$7,83 \times 10^6$ / КИ5-5
5	1300_4	1360/1100	$1,54 \times 10^{-5}$	5,4	$8,68 \times 10^6$ / КИ5-5
6	1300_8	1350/1025	$1,51 \times 10^{-5}$	6,4	$8,81 \times 10^6$ / КИ5-5
7	1400_4*	1340/-	$1,49 \times 10^{-5}$	-	$8,95 \times 10^6$ / КИ5-5
8	1400_8*	1015/-	$8,58 \times 10^{-6}$	-	$1,56 \times 10^7$ / КИ6-1
9	ВТ1-0	1250/-	$1,30 \times 10^{-5}$	-	$1,02 \times 10^6$ / КИ5-1
10	ВК8	1950/-	$3,17 \times 10^{-5}$	-	$4,22 \times 10^6$ / КИ5-4

* – образцы, в которых отсутствовала лунка меньшего диаметра d

Износостойкость увеличивалась с ростом температуры и времени выдержки. Образование карбонитридным покрытием на поверхности также способствовало увеличению износостойкости по сравнению с титановыми тестовыми образцами. Крайний образец с самой высокой температурой (таблица 1, образцы № п.п. 7,8) показал покрытие имеющее наибольшую толщину, так как вторая лунка d не наблюдалась визуально, что предварительно указывает на неполный износ покрытия. Образец 1400_8 показал самую высокую износостойкость, $1,56 \times 10^7$ по сравнению с $1,02 \times 10^6$ для технического титана ВТ 1-0.

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10040). <https://www.rscf.ru/project/18-79-10040/>.

Список источников

1. Гаврилов Д.И., Карягин М.О., Нуяндин В.Д. Титан: свойства, получение, применение // Academy. 2017. № 5 (20). С. 29-30.
2. Тульев В.В. Изучение поверхности структур металл – титан, полученных ионно-ассистируемым нанесением металлосодержащих покрытий // Труды БГТУ. 2018. Сер. 3. № 2. С. 67-70.
3. Ситников А.В. Применение ионно-лучевого метода распыления для получения чувствительных слоев сенсоров водорода // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology ISJAEE. 2004. № 4 (12). С. 28-30.
4. Войко А.В. Разработка технологии синтеза износостойких карбонитридных покрытий на функциональных элементах структуро- и дефектоскопических приборов / науч. рук. А.А. Фомин // ММТТ 2017. С. 72-75 с.
5. Р 50-95-88. Рекомендации. Обеспечение износостойкости изделий. Гос. комитет СССР по стандартам. 1989. – 25 с.

**РАЗРАБОТКА МЕДИЦИНСКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Семивражнова В.В.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Таран В.М.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

Разработана структурно-функциональная схема прибора для электроэнцефалографии и медицинского автоматизированного комплекса для проведения электроэнцефалографического исследования.

Ключевые слова: электроэнцефалография, автоматизированный комплекс, функциональная схема

Электроэнцефалография – это метод записи электрической активности различных отделов головного мозга, которая преобразуется в соответствующую кривую, называемую электроэнцефалограммой (ЭЭГ).

Принцип ЭЭГ основан на снятии сигналов с поверхности головы (скальпа) с помощью электродов. Снимаемые сигналы представляют собой сумму потенциалов, создаваемых нейронами.

В ЭЭГ используются электроды следующих типов:

- контактные накладные неприклеивающиеся электроды, которые прилегают к голове при помощи тяжелой шлема-сетки;
- мостиковые электроды;

- приклеивающиеся электроды;
- базальные электроды;
- игольчатые электроды;
- чашечковые электроды;
- многоэлектродные иглы.

Один из электродов принимается за общий и вместе с мультиплексором подключается к усилителю. Аналогово-цифровой преобразователь позволяет перевести полученный аналоговый сигнал в дискретный код, который передается в электро-вычислительную машину (компьютер) [1-3].

Разработан медицинский автоматизированный комплекс (МАК), предназначенный для проведения электроэнцефалографического исследования пациента (рис. 1).

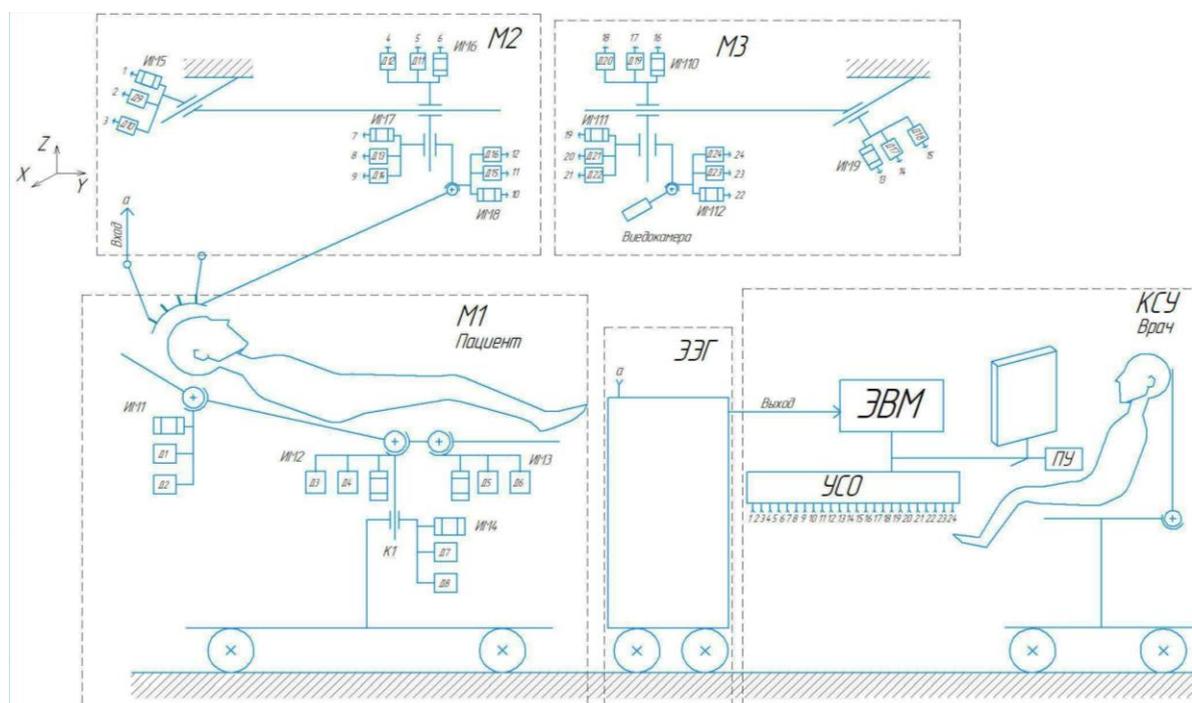


Рис. 1. Структурно-функциональная схема МАК для проведения электроэнцефалографического исследования

МАК состоит из: блока компьютерной системы управления (КСУ), блока пациента, блока врача, видеокамеры, манипулятора кресла (M1), манипулятора медицинского прибора (M2), манипулятора телевизионной камеры (M3), датчиков (Д), исполнительных механизмов.

Блок КСУ предназначен для контроля и управления всем МАК, собирая электрические сигналы с датчиков медицинского прибора, обрабатывая полученную информацию и генерируя подаваемые сигналы на ИМ в зависимости от занесенного алгоритма. КСУ включает в себя электронно-вычислительную машину (ЭВМ), устройства сопряжения с объектом (УСО), устройства визуализации и пульта управления (ПУ).

Блок пациента состоит из кресла-кровати, управляемого манипулятором (М1), для обеспечения удобного расположения пациента во время проведения процедуры.

Блок врача включает кресло, устройство визуализации (монитор), ПУ, обеспечивающий запуск и отключение элементов МАК.

Манипулятор медицинского прибора (М2) предназначен для перемещения медицинского прибора, в зависимости с разработанным алгоритмом, посредством управления ИМ.

Манипулятор М3 предназначен для перемещения видеокамеры в зависимости с разработанным алгоритмом, посредством управления ИМ.

Датчики предназначены для преобразования не электрических или электрических сигналов в электрические сигналы, подаваемые в КСУ.

Исполнительный механизм – функциональный элемент системы автоматического управления, который воздействует на объект, изменяя поток энергии или материалов, которые поступают на объект. Большинство ИМ имеют механический или электрический выход.

Видеокамера (ВК), управление которой производится с помощью манипулятора М3, необходима для отслеживания врачом процессов, происходящих во время диагностической операции. Сигнал с ВК поступает на ЭВМ, после чего изображение выводится на устройство визуализации.

Манипулятор М2 обеспечивает корректную работу медицинского прибора, перемещая его в пространстве посредством управления КСУ.

Функционально-структурная схема прибора для электроэнцефалографии представлена на рис. 2.

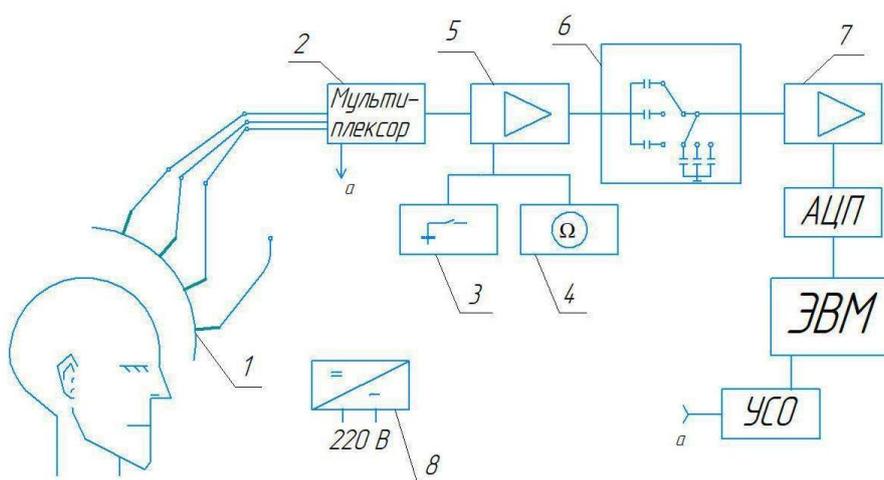


Рис. 2. Функционально-структурная схема прибора для ЭЭГ

Электроды 1, в количестве от 4 до 32 штук, крепятся на специальной шапочке, которая надевается на голову пациента. Они соединены с мультиплексором 2, один берется за общий. Мультиплексор соединен с

устройством связи с объектом, что позволяет автономно переключаться между электродами с помощью электронно-вычислительной машины. Калибратор 3, отвечающий за задание эталонной частоты и амплитуды, и система измерения сопротивления электродов 4 подключены к предусилителю 5, который усиливает поступающий с электродов сигнал. Фильтр 6 устраняет помехи и шумы, пропуская сигнал избирательно.

Чистый сигнал проходит через усилитель 7, после чего обрабатывается аналогово-цифровым преобразователем (далее АЦП), который преобразует аналоговый сигнал в дискретный код, воспринимаемый компьютером. На ЭВМ установлено специальное программное обеспечение, позволяющее преобразовывать сигнал биоэлектрической активности мозга в визуальный образ в реальном времени с минимальной задержкой. Энергия на прибор подается с источника питания 8.

Список источников

1. Магазаник Л.Г. Биопотенциалы // Большая российская энциклопедия. Том 3. Москва, 2005, С. 522-523.
2. Колчева Ю.А., Константинов К.В., Беникова Е.В. Возможности использования метода «Биоакустическая коррекция» при задержках психического и речевого развития у детей // Рецензируемый научно-практический журнал современная медицина, 2018, № 1 (9), С. 133-135.
3. Брагина Т. А., Сафронов Б. Г., Виноградова Е. А. Электроэнцефалографический мониторинг глубины наркоза в практике врача анестезиолога // Здоровье и образование в XXI веке. 2012, №1. С. 20-25.

ПЕРЕРАБОТКА ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДНОГО МАТЕРИАЛА ОТРАБОТАННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Доронина А.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Колоколова Е.В.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В статье предложен способ очистки раствора никеля сернокислого, полученного путем растворения положительного электродного материала в серной кислоте.

Ключевые слова: переработка, положительный электродный материал

Повышенного внимания требуют технологии переработки и вторичного использования ценных тяжелых металлов и их соединений. В этом аспекте переработка техногенных отходов практически всех отраслей про-

мышленности имеет особую значимость. Как правило, переработке подлежат материалы, состоящие из комплекса химических соединений, не встречающихся совместно в естественной природной среде.

С целью исследования влияния кислотности раствора на его химические характеристики был получен раствор никеля сернокислого с концентрацией железа к никелю 2,6%. Раствор никеля сернокислого был получен растворением положительного электродного материала (ПЭМ) в растворе серной кислоты.

Исследования проводились на 8 пробах раствора никеля сернокислого, конечное значение кислотности в которых изменялось величины рН от 1,9 до 6,9.

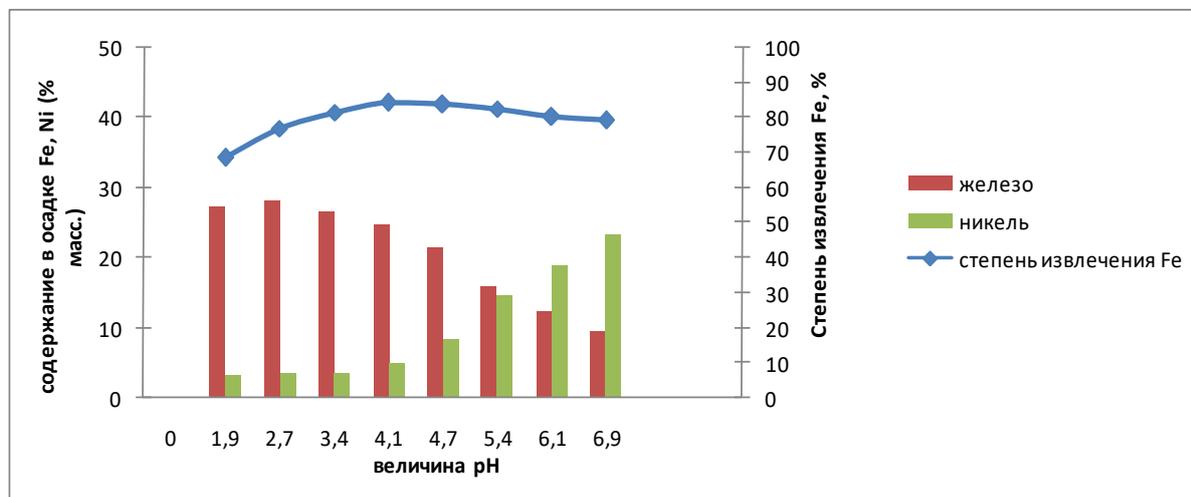
Изменение кислотности раствора никеля сернокислого производилось добавлением раствора кальцинированной соды при перемешивании раствора и температуре 60°C. Предварительно в раствор никеля сернокислого добавлялся 25% раствор пероксида водорода из расчета 0,2 мл на 100 мл раствора. При достижении значения рН подача раствора соды прекращалась, производилось отделение образовавшегося осадка фильтрованием. Осадок промывался подогретой до 90°C дистиллированной водой для удаления растворимых солей металлов, после чего производился анализ полученного кека и фильтрата на содержание железа и никеля.

При величине кислотности среды при значении рН=3,4 количество выводимого из растворов железа составляет 81,3% от его начального содержания, при этом общая величина потерь никеля не превышает 0,4% (табл. 1, рис. 1). При исходном содержании массовой доли железа к никелю 2,6% требуемого соотношения содержания железа к никелю в очищенном растворе (< 0,1 %) удалось достичь.

Распределение железа и никеля в фильтратах и осадках в зависимости от рН осаждения железа из растворов никеля сернокислого кальцинированной содой при исходном содержании железа к никелю 2,6%

Определяемые Параметры	рН осаждения / № опыта							
	1,9 1	2,7 2	3,4 3	4,1 4	4,7 5	5,4 6	6,1 7	6,9 8
Содержание в осадке, % масс.								
Fe	27,3	28,1	26,5	24,9	21,4	16,0	12,2	9,5
Ni	3,2	3,5	3,3	5,0	8,2	14,6	18,9	23,2
Содержание в фильтрате, г\л								
Fe	1,3	0,4	0,1	0,2	0,2	0,5	0,7	1,0
Ni	85	82	81	81	78	72	65	69
Степень извлечения Fe,%	68,5	76,9	81,3	84,2	83,7	82,4	80,1	79,2
Потери Ni из раствора, %	0,2	0,2	0,4	0,8	1,1	2,6	3,4	5,1

Количество соосаждаемого никеля относительно количества осажденного железа для каждого выбранного значения рН является величиной постоянной и не зависит от соотношения в исходном растворе в рассматриваемом содержании Fe к Ni – 2,6% (рисунок).



. Состав осадков по никелю и железу, степень извлечения железа из раствора никеля серноокислого в зависимости от величины рН осаждения при проведении реакции гидролизного осаждения железа (III).

Содержание железа к никелю в исходных растворах никеля серноокислого – 2,6%

При значении рН = 3,4 во всех сериях экспериментов в осадок переходит 81,3% железа (III); при снижении кислотности происходит возрастание количества соосаждаемого никеля при незначительном увеличении количества осаждаемого железа (рисунок). Таким образом, в указанном интервале значений рН реакция гидролиза железа является преимущественной по отношению к реакции соосаждения никеля.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНА И ЕГО СПЛАВОВ

Гребенников Н.А., Телегин С.В.

Научный руководитель: к.х.н., доцент Гоц И.Ю.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В статье рассматривается влияние режимов лазерной модификации на механические свойства титана марки ВТ6Л.

Ключевые слова: титан; лазерная обработка, модификация

Развитие научно-технического прогресса в области создания изделий нового поколения в машиностроении, приборостроении и медицине тре-

буют совершенствования существующих и разработки принципиально новых подходов, направленных на повышение надежности и долговечности применяемых материалов и изделий в целом.

В настоящее время широко развивается направление создания медицинских эндопротезов, а также современных новых имплантационных биосовместимых материалов, используемых в имплантологии. В частности, дентальная имплантология стала одной из важнейших частей общей стоматологии. Практически это самостоятельная дисциплина, формирующаяся на стыке медицины, биофизики, материаловедения, процессов обработки материалов [1].

Самым распространенным имплантационным материалом является титан и сплавы на его основе. Он может участвовать во многих соединениях и сплавах, он химически весьма активен, в то же время является инертным по отношению к организму человека. Для длительной и без проблемной эксплуатации внедренный имплантат должен обладать высокими показателями качества, например высокими физико-механическими характеристиками [2-4].

Целью работы являлось изучение физико-механических свойств поверхности титанового сплава ВТ6Л после импульсной лазерной обработки. Выбор данного материала объясняется технологией изготовления готовых изделий, а именно литьем под давлением. В исследовании рассматривались различные сочетания технологических параметров лазерной обработки и установление их влияния на свойства сформированной поверхности.

Исследования проводились на плоских образцах размером 10x10x2 мм из титанового сплава марки ВТ6Л. Перед проведением импульсной лазерной обработкой проводилась предварительная механическая обработка с целью получения требуемой шероховатости поверхности. Далее производится очистка поверхности с использованием установки ультразвуковой обработки “УЗУМИ-2” при частоте 18 кГц в этиловом спирте в течение 5 мин, затем высушивание на воздухе.

Поверхность экспериментальных образцов подвернулась импульсной лазерной обработке на Nd: YAG-лазерном технологическом комплексе LRS-50 (длина волны 1,064 мкм) в воздушной среде. Диаметр сфокусированного луча составляет 2мм. Коэффициент перекрытия пятен 50%. Режимы лазерной обработки сведены в таблице.

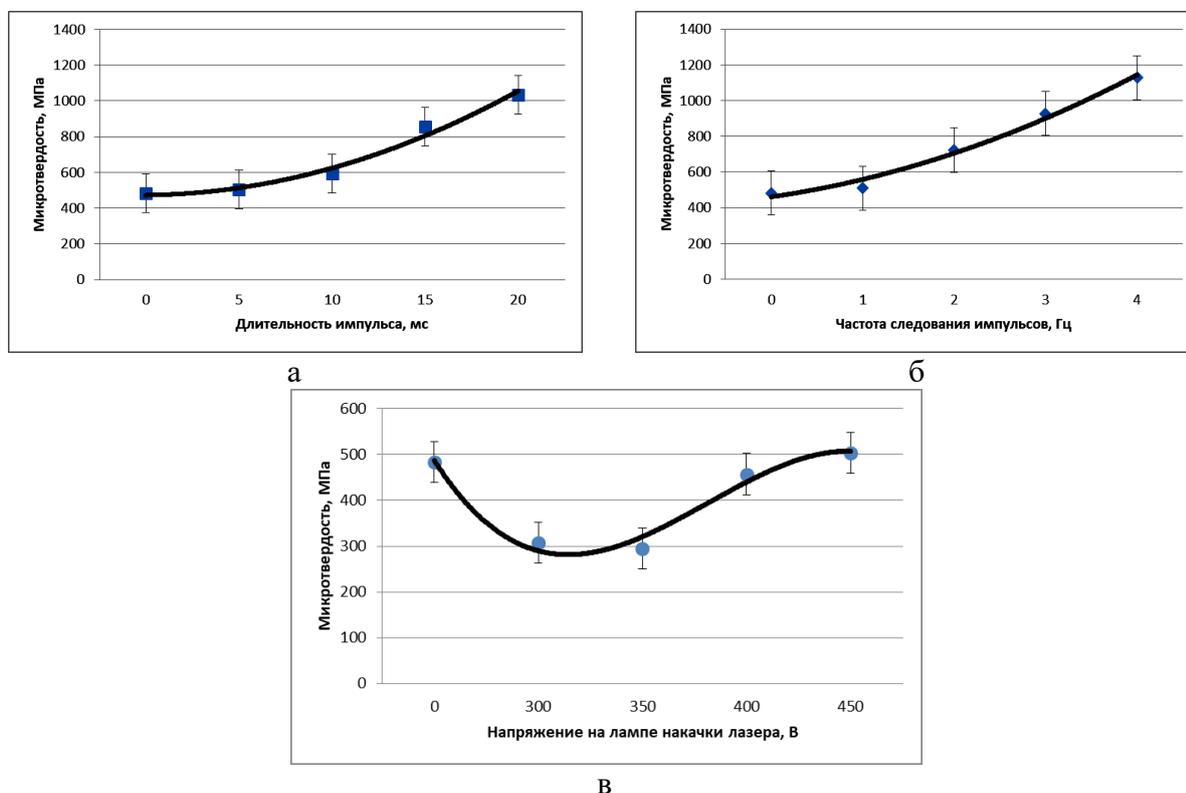
Технологические параметры лазерной модификации

Технологические параметры	Значения величин
Напряжение на лампе накачки лазера U, В	300, 350, 400, 450
Длительность импульса τ , мс	5, 10, 15, 20
Частота следования импульсов f, Гц	1, 2, 3, 4

Различные сочетания параметров технологического процесса лазерной обработки приводят к различному воздействию на поверхность титана.

Микротвердость определялась методом Виккерса на микротвердомере HVS-1000B с приложением силы 0,98 Н.

Микротвердость поверхностного слоя после лазерной обработки модифицированных образцов зависит от технологических параметров лазерной обработки. Основные зависимости представлены на рисунке.



Зависимости микротвёрдости от технологических режимов лазерной модификации:
 а) от длительности импульса; б) от частоты следования импульсов;
 в) от напряжения на лампе накачки

Увеличение значений длительности с 5 до 20 мс и частоты следования импульсов с 1 до 4 Гц способствует повышению микротвердости поверхностных слоев до значения $HV_{0,98} 1135 \pm 5$. Напряжение на лампе накачке неоднозначно оказывает влияние на микротвердость поверхностных слоев. Так, для получения лучшего результата необходимо производить обработку в диапазоне 400-450 В, так как в ином случае происходит либо разупрочнение титанового сплава ВТ6Л, либо его разрушение. Данная зависимость наблюдается только при использовании минимальных значений длительности и частоты следования импульсов. При их увеличении происходит повышение тепловложений в поверхностных слой, и влияние напряжения на лампе накачки лазера изменяется.

Однако, лазерная установка LRS-50 не способна обеспечить большую одновременную большую длительность и частоту следования импульсов в сочетании с высоким напряжением на лампе накачки нами рекомендуется использовать следующие технологические параметры лазерной

модификации: напряжение на лампе накачке – 450 В, частота следования импульсов – 2 Гц, длительность импульсов – 10 мс.

Экспериментально доказано, что использование импульсной лазерной обработки позволяет произвести поверхностную упрочняющую обработку, что позволяет говорить о повышении конструктивной прочности титановых изделий путем модификации металлической основы и формирования композиционного покрытия.

Список источников

1. Биоактивные материалы и покрытия в дентальной имплантологии: учеб. пособие / К.Г. Бутовский [и др.] – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2004. – 94 с.

2. Пекшева Н.П. Интерференционные оксидные пленки на титане и его сплавах. Красноярск, 1988.

3. Технология обработки поверхности изделий технического и медицинского назначения высокоэнергетическими потоками для восстановления их геометрических размеров и увеличения срока эксплуатации / Колобов Ю.Р., Кашин О.А., Шаркеев Ю.П., Гриценко Б.П., Найденкин Е.В. // Технология машиностроения. 2006. № 4. С 39–44.

4. Панасюк А.Ф., Ларионов Е.В., Саващук Д.А. II // Клиническая стоматология. – М., 2004. – С. 10.

КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ЛАЗЕРНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Малинов С.М., Телегин С.В.

Научный руководитель: к.х.н., доцент Гоц И.Ю.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В статье рассматривается возможность применения комбинированного технологического процесса электрохимической обработки с последующей лазерной модификацией оксидного слоя на поверхности титановых сплавов.

Ключевые слова: титан; анодирование, лазерная обработка, модификация

Выполнение требований прочности при статическом, циклическом и ударном нагружении должно исключить возможность разрушения, а также возникновения недопустимых остаточных деформаций в материале. Требования жесткости к детали или контактной поверхности сводятся к ограничению возникающих под действием нагрузок деформаций, нару-

шающих работоспособность изделия, к недоступности потери общей устойчивости для длинных деталей, подвергающихся сжатию, и местной – у тонких элементов. Должна быть обеспечена износостойкость детали, которая существенно влияет на долговечность работы механизма [1].

Улучшение эксплуатационных свойств металлических материалов при различных видах лазерной поверхностной обработки связано с изменением структурного состояния, фазового и химического составов поверхностных слоев. Используя лазерный пучок как концентрированный источник тепла, можно выполнять различные виды локальной термической обработки [1-7].

Широкие и не имеющие аналогов свойства излучения лазеров дают возможность внедрения этого метода во все сферы жизни человека. В быту лазеры используются в считывании информации с компакт-дисков, штрих кодов и так далее. В сфере науки и производства лазеры используются, начиная от поверхностной обработки материалов до исследований в области управляемого термоядерного синтеза [1, 6].

Целью работы является получение коррозионностойких покрытий на поверхности титановых изделий за счет применения комбинированной технологии электрохимической обработки титановых сплавов с последующим лазерным воздействием.

Исследование проводилось на образцах из сплава титана ВТ–6 с анодным оксидным покрытием. Титановый сплав ВТ6 имеет характеристики, которые сопоставимы со свойствами нержавеющей стали. Но несомненным преимуществом является то, что титан ВТ6, который является устойчивым к негативным внешним воздействиям, имеет меньшую массу, чем стальной.

Анодирование проводилось в течение 5 минут. Первый образец находился в растворе под напряжением в 80 В и при плотности тока в 0,5 А/дм². Второй образец находился в растворе под напряжением в 20 В и при плотности тока в 0,2 А/дм².

Исследование морфологии поверхности проводилось путем получения и дальнейшего анализа изображений оптической микроскопии на металлографическом микроскопе МИМ-8М.

Исследование параметров структуры поверхности производили на анализаторе изображения микроструктур АГПМ-6М ФУЛК 401163.001-01 с программой «Металлограф».

Измерение микротвердости производилось с использованием микротвердомера модели HVS-1000В, оснащенного видеоизмерительной системой SP-5 (ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников»). Лазерная обработка анодированной поверхности осуществлялась при следующих параметрах: постоянными являлись напряжение на лампе накачки лазера $U_{л}=300$ В, частоте следования импульсов $f=5$ Гц, диаметр сфокусированного лазерного излучения d составлял 2

мм. В качестве изменяемого параметра использовали длительность импульса $\tau=1,50, 1,75, 2$ мс (рис. 2).

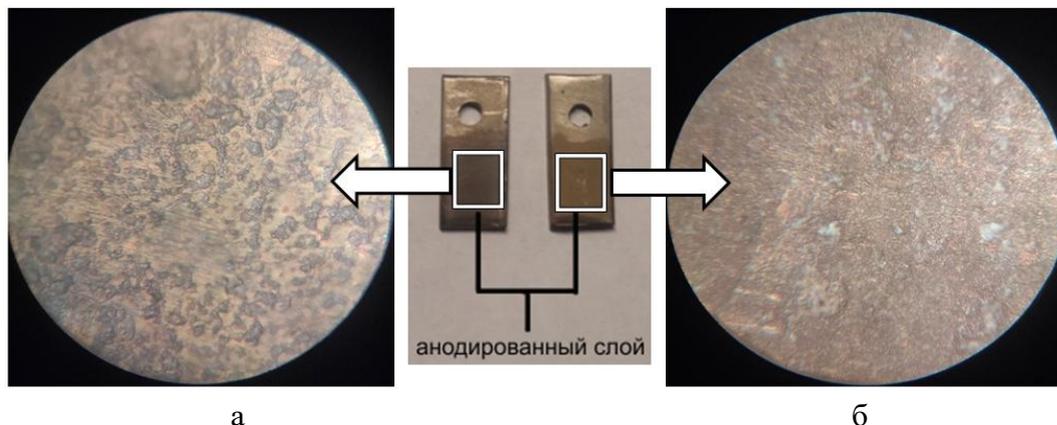


Рис. 1. Морфология анодированного титанового сплава ВТ6 полученные при различных режимах (ширина кадра 163 мкм): а) режим 1 плотность тока $0,2 \text{ А/дм}^2$, напряжение 20 В, продолжительность $t=5$ мин; б) режим 2 плотность тока $0,5 \text{ А/дм}^2$ напряжение 80 В, продолжительность $t=5$ мин (ширина кадра 163 мкм)

Изменения морфологии анодированной поверхности после лазерной обработки представлены на рис. 2 и 3.

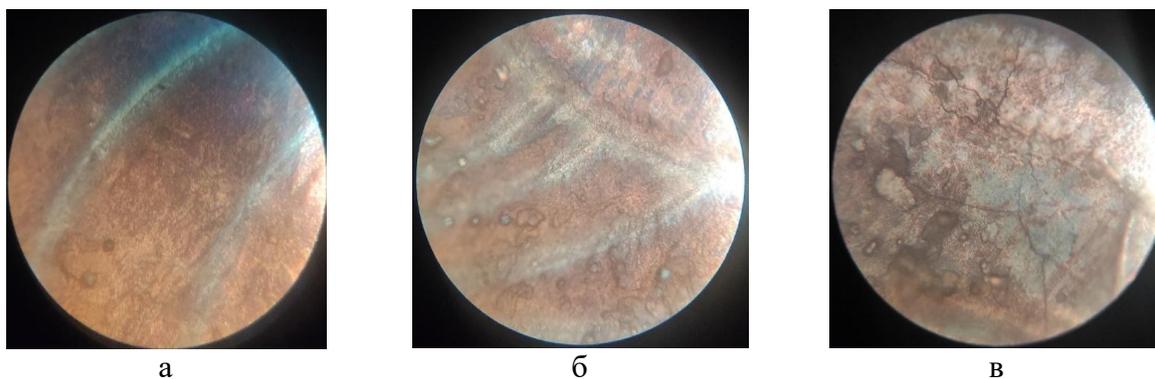


Рис. 2. Морфология анодированной поверхности по режиму 1 после лазерной модификации: а) режим $U_{л}=300 \text{ В}$, $f=5 \text{ Гц}$, $d=2 \text{ мм}$, $\tau=1,50 \text{ мс}$;
б) $U_{л}=300 \text{ В}$, $f=5 \text{ Гц}$, $d=2 \text{ мм}$, $\tau=1,75 \text{ мс}$; в) $U_{л}=300 \text{ В}$, $f=5 \text{ Гц}$, $d=2 \text{ мм}$, $\tau=2,00 \text{ мс}$

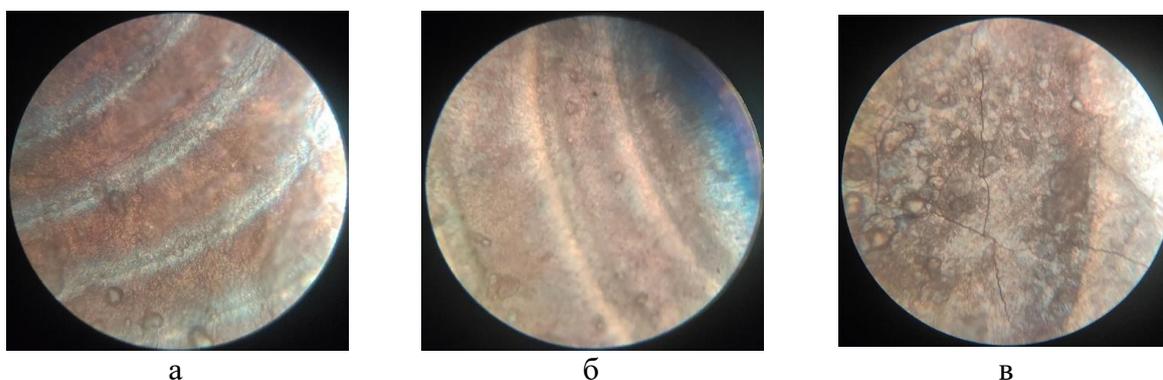


Рис. 3. Морфология анодированной поверхности по режиму 2 после лазерной модификации: а) режим $U_{л}=300 \text{ В}$, $f=5 \text{ Гц}$, $d=2 \text{ мм}$, $\tau=1,50 \text{ мс}$;

б) $U_{л}=300$ В, $f=5$ Гц, $d=2$ мм, $\tau=1,75$ мс; в) $U_{л}=300$ В, $f=5$ Гц, $d=2$ мм, $\tau=2,00$ мс

В ходе проведения исследований, была установлена зависимость микротвердости от длительности импульса лазерного излучения. Морфология поверхности при длительности излучений $\tau= 1,50$ мс и $1,75$ мс схожи друг с другом. Однако при длительности импульса $\tau= 2,00$ мс наблюдаются множественные трещины на поверхности титана (рисунок 2,в; 3,в). Трещины говорят о том, что при такой длительности импульса поверхность перегревается и начинает разрушаться.

При исследовании микротвердости наблюдается определённая зависимость, которая была представлена в таблице 1 и на рисунке 4. При измерении микротвердости также было выявлено, что при длительности излучений $\tau= 1,50$ мс и $1,75$ мс микротвердость возрастает, а при значении $\tau= 2,00$ мс начинает падать. Из всего сказанного можно сделать вывод, что оптимальный режим для модификации оксидированной поверхности сплава титана ВТ6 является напряжение на лампе накачки лазера $U_{л} =300$ В, частота следования импульсов $f=5$ Гц, диаметр сфокусированного лазерного излучения $d=2$ мм, длительность импульса $\tau=1,75$ мс.

Результаты исследования микротвердости были сведены в таблицу.

№	Технологические режимы лазерной обработки	Анодированный титан ВТ6 Режим: плотность тока $0,2$ А/дм ² , напряжение 20 В, продолжительность $t= 5$ мин	Анодированный титан ВТ6 Режим: плотность тока $0,5$ А/дм ² напряжение 80 В, продолжительность $t= 5$ мин
		Микротвердость, НV	Микротвердость, НV
1	$U_{л}=300$ В, $f=5$ Гц, $d=2$ мм, $\tau=1,50$ мс	804 ± 40	1067 ± 53
2	$U_{л} =300$ В, $f=5$ Гц, $d=2$ мм, $\tau=1,75$ мс	1289 ± 64	1472 ± 73
3	$U_{л} =300$ В, $f=5$ Гц, $d=2$ мм, $\tau=2,00$ мс	1173 ± 58	1253 ± 62
5	Анодированный титан ВТ6	704 ± 35	720 ± 36
6	Образец ВТ6 без покрытия	302 ± 15	302 ± 15

При измерении микротвердости также было выявлено, что при длительности излучений $\tau= 1,50$ мс и $1,75$ мс микротвердость возрастает, а при значении $\tau= 2,00$ мс начинает падать. Из всего сказанного можно сделать вывод, что оптимальный режим для модификации оксидированной поверхности сплава титана ВТ6 является напряжение на лампе накачки лазера $U_{л} =300$ В, частота следования импульсов $f=5$ Гц, диаметр

сфокусированного лазерного излучения $d=2$ мм, длительность импульса $\tau=1,75$ мс.

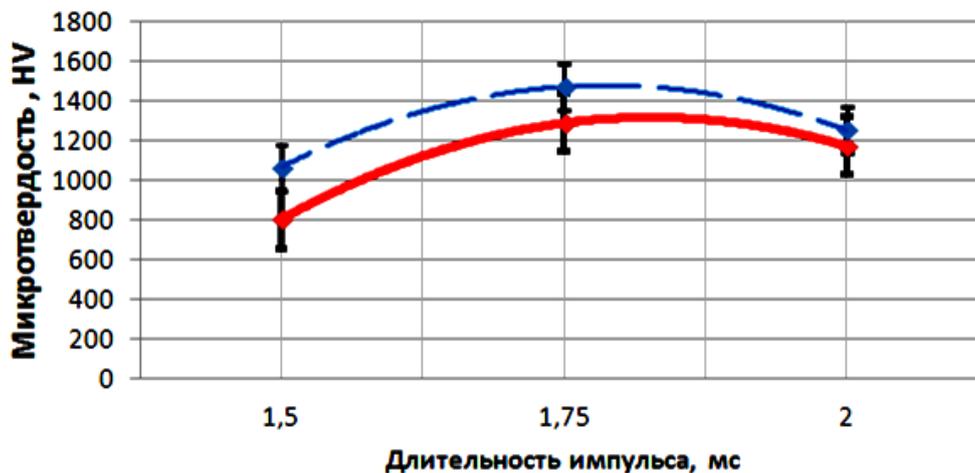


Рис. 4. Зависимости микротвердости от длительности лазерного импульса

Микротвердость исходного титана VT6, не подвергнутого обработке, составляла $HV_{0,98} 302 \pm 15$ и была не равномерна по площади поверхности, что объясняется технологическим процессом изготовления титановых пластин на металлургическом предприятии. Анодирование поверхности позволяет повысить микротвердость в 2 раза до $HV_{0,98} 710 \pm 35$. После проведения импульсной лазерной модификации при использовании $U_{л} = 300$ В, $f = 5$ Гц, $d = 2$ мм, $\tau = 1,75$ мс показана возможность также двукратного повышения микротвердости до $HV_{0,98} 1472 \pm 73$. Такое повышение микротвердости анодированного титана объясняется началом фазово-структурных изменений в поверхностном слое титановых сплавов за счет температурного воздействия.

Обобщая выше описанное, можно сделать вывод, что варьируя режимы импульсной лазерной модификации, существует возможность формировать требуемую морфологию поверхности титана при использовании комбинированной технологии электрохимической обработки титановых сплавов с последующим лазерным воздействием.

Список источников

1. Котельников А.Б., Вопнерук А.А., Макаров А.В. и др. Новые материалы и технологии существенного повышения износостойкости рабочей поверхности металлургического оборудования // Тяжелое машиностроение, 2018. № 9. С. 14-20.
2. Petrovic S, Radak B, Perusko D, et al. Laser-induced surface alloying in nanosized Ni/Ti multilayer structures // Appl Surf Sci, 2013. Vol. 264 (1). P. 273-279.

3. Хаскин В.Ю. Процессы упрочнения и нанесения покрытий с использованием лазерного излучения: (обзор) // Автомат. Сварка, 2008. – №12. – С.24-32.

4. Structural characterization and surface modification of titanium plates after Nd:Yag laser treatment / A. Bahloul, R. Oumeddour, M. C. Sahour, G. Pillon // Portugaliae Electrochimica Acta. – 2020. – Vol. 38. – No 4. – P. 215-228. – DOI 10.4152/pea.202004215. – EDN DYSPDZ.

5. Advances in Laser Materials Processing: Technology, Research and Application / Editors Jonathan Lawrence. John Wiley & Sons, Inc., 2018. – 802 p. – Mode of access : <https://doi.org/10.1016/C2015-0-05718-5>.

6. Лазерная модификация поверхности титана: технология, свойства, перспективы применения / Телегин С.В., Лясников В.Н., Лясникова А.В., Дударева О.А., Гришина И.П., Маркелова О.А. // Поверхность. Рентгеновские, синхронные и нейтронные исследования, 2019, № 3, стр. 70-73.

7. Телегин С.В., Гоц И.Ю. Влияние режимов лазерного излучения инфракрасного диапазона на формирование композиционных поверхностных слоев титановых изделий // Вопросы электротехнологии. 2022. Вып. № 3 (36). С. 22-31.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТКАНЕЗАМЕЩАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ОБЗОР ПОТЕНЦИАЛА ИХ РАЗВИТИЯ

Чмыр В.А.

Научный руководитель: ассистент Телегин С.В.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В статье рассматриваются различные стратегии при получении и применении тканезамещающих материалов.

Ключевые слова: замещающие материалы; collagen; гидроксиапатит; регенерация

Как известно, в связи с несовершенством механизмов регенерации, протекающих в организме человека, в восстановительной медицине, в частности хирургии, видится целесообразным использование различных замещающих материалов. Как показывает статистика, в настоящий момент наибольшим спросом на рынке пользуются костные материалы для стоматологии животного происхождения, но будущее, по мнению игроков рынка, за синтетическими материалами [1].

За последние годы в области медицинской тканевой инженерии было опробовано множество методов замещения костной ткани. Применялись

составы на основе нерезорбируемых, биodeградируемых полимеров, белковых, минеральных и других компонентов [2].

Их изготавливают как в виде полноразмерных трансплантатов, так и в виде мембран и матриц, закрывающих определенную область. Получают и производят такие материалы из самых разных источников: в общем виде они делятся на материалы биологического и искусственного происхождения. По свидетельствам различных исследователей замещающие материалы искусственного происхождения исследованы ещё плохо, что открывает возможности для перспективных разработок в данной области [3].

В качестве источника замещающего трансплантата биологического происхождения чаще всего используется ауто трансплантат – то есть ткань, взятая у самого пациента. С другой стороны, нередко такое вмешательство не представляется возможным, в таких случаях стараются прибегать к аллотрансплантатам – взятым от другой особи того же вида. Однако когда и аллотрансплантат не является доступным, может быть использован ксенотрансплантат – от особи другого вида. Это несет опасность антигенного отторжения, но, тем не менее, практикуется [4].

При этом в экспериментальных исследованиях показано, что отсутствие остеобразующих клеток в ткани еще не является критерием ее жизнеспособности, так как само межклеточное вещество, составляющее основную массу костной ткани, способно обеспечить жизнеспособность и формирование постоянной васкуляризации. Так, например, диски из полиэфирэфиркетона с добавлением гидроксилапатита и кроветворного белка эритропоэтина вместе с костным морфогенетическим белком-2 показали, что они (белки) способствуют росту костной ткани по независимым молекулярным механизмам [5].

В качестве вывода можно сказать, что явление стимулирования регенерации искусственными материалами однозначно требует более глубокого изучения, и вероятно в ближайшем будущем новые достижения в этой области позволят улучшить качество трансплантатов и замещающих материалов.

Список источников

1. Бадертдинов Р.Р. Регенерация человека – реальность наших дней // Успехи современного естествознания. – 2012. №7. С. 8-18.
2. Амантаев Б.А., Кобеков С.С. Анализ и характеристика костнозамещающих материалов, используемых при хирургическом лечении костных дефектов челюстей // Вестник КазНМУ. 2019. №1. С.123-126.
3. Попов Н.В. Роль аллогенных костно-замещающих материалов в репаративном остеогенезе атрофированной альвеолярной кости // Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье. 2018. №2 (32). С. 1-6.

4. Решульский С.С., Виноградов В.В. Опыт применения ауто-, алло и ксенотрансплантатов для реконструкции верхних дыхательных путей // Российская оториноларингология. 2013. № 1 (62). С. 173-176.

5. Орлова П.А. Исследование регенеративных свойств новых вариантов рекомбинированного ЕРО и ВМР-2 в составе конструкций на основе природных и синтетических материалов // Гены и клетки. 2022. №3. С. 167.

ЛАЗЕРНОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ТИТАНА ПОКРЫТОГО ТОНКОЙ ПЛЕНКОЙ ТАНТАЛА

Сат О.О., Шумилин А.И.

Научный руководитель: к.т.н. Шумилин А.И.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В работе рассмотрен способ модификации поверхности титанового сплава ВТ1-00 лазерным излучением с предварительным осаждением пленки тантала вакуумным магнетронным напылением. Такой процесс позволяет повысить твердость поверхности технически чистого титана используемого при производстве костных имплантатов с $2 \pm 0,1$ ГПа до $5,7 \pm 0,5$ ГПа на глубине до $0,4 \pm 0,07$ мм.

Ключевые слова: лазерная обработка, упрочняющие покрытия, легирование поверхности

Титан, тантал, их сплавы и соединения с кислородом являются биосовместимыми, что обеспечивает их частое применение для изготовления костных имплантатов [1 – 4]. Тантал является дорогостоящим металлом и его использование должно быть обоснованным. Современные тенденции предполагают снижение стоимости металлической основы изделий, при этом повышение их функциональных свойств обеспечивается последующим нанесением покрытий или модификацией поверхности. Чаше других металлов для изготовления медицинских изделий используются технический титан и его сплавы [2,3]. Покрытиями со специальными свойствами на титановых изделиях могут быть соединения тантала (оксиды, нитриды и карбиды), которые обладают биосовместимостью в сочетании с высокой твердостью [1– 4]. Модифицирование поверхности титана лазером с предварительным нанесением тонкой пленки тантала в качестве легирующего элемента может повысить качество и увеличить срок службы медицинских изделий и инструментов.

В исследовании проводилась лазерная обработка поверхности титановых образцов с предварительно нанесенной пленкой тантала. Исследовались образцы с толщиной пленки тантала 0, 400, 800 и 1200 нм. Образцы-подложки имели форму диска диаметром $13,9 \pm 0,1$ мм и толщиной $1,95 \pm 0,05$ мм. Материалом образцов являлся технический титан марки ВТ1-00. Предварительное осаждение пленки тантала проводилось в вакууме на установке ВУП-4. Для нанесения пленок применялся магнетрон постоянного тока. В качестве мишени использовался листовой тантал высокой чистоты (99.99 %). Для модификации поверхности использовался технологический лазер LRS-50m, с координатным столом, длина волны излучения 1,064 мкм. Для определения шероховатости образцов-подложек использовали

стилульный профилометр Veeco Dektak 150. Микротвердость образцов измерялась с применением микротвердомера ПМТ-3 (метод Виккерса), с нагрузкой на индентор 50 гс.

Пример поверхности, полученной после модификации лазером, показан на рис. 1.

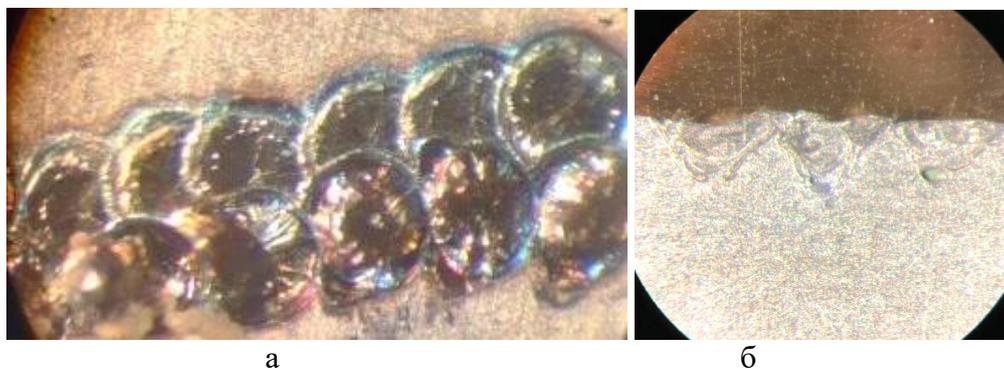
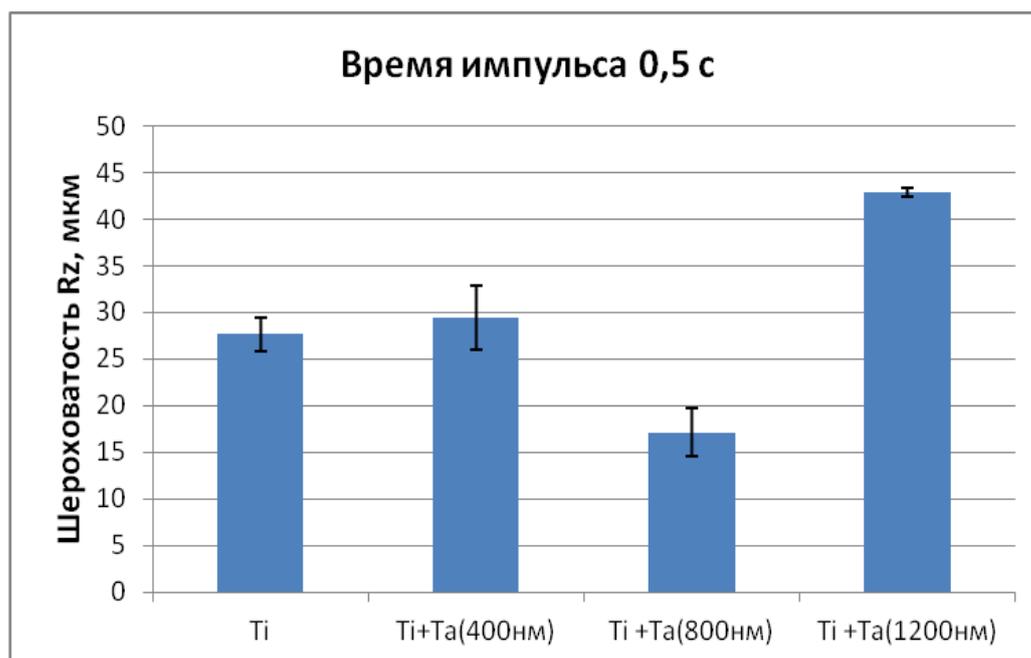


Рис. 1. а – внешний вид модифицированного слоя $\times 16$, б – микрошлиф слоя после травления. Толщина пленки тантала 400 нм, длительность импульса 1 с, форма импульса – прямоугольная, напряжение накачки лампы лазера 350 В

На рис. 2 представлены параметры шероховатости покрытий.

При прочих равных условиях для образца со слоем тантала максимальной толщины наблюдается наибольшая шероховатость R_z до $68 \pm 8,3$ мкм. Такой эффект может быть обусловлен различным коэффициентом теплопроводности и температурами плавления титана и тантала. С ростом толщины слоя более тугоплавкого тантала изменяются процессы теплопереноса, что приводит к неравномерности профиля области подвергшейся воздействию лазерного излучения.



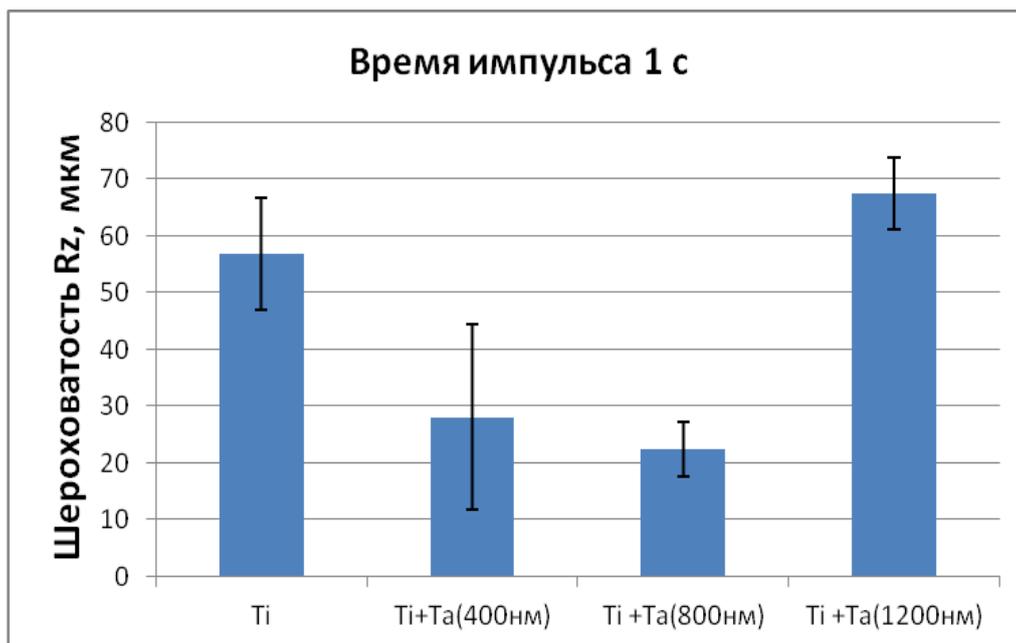


Рис. 2 Параметр шероховатости Rz в зависимости от времени импульса и толщины пленки

Для исследования упрочняющего воздействия лазера были изготовлены микрошлифы, содержащие в сечении приповерхностную модифицированную область. Для всех режимов работы лазера было характерно повышение твердости образцов в зоне термического воздействия на глубине до $0,4 \pm 0,07$ мм. График зависимости твердости упрочненного слоя от расстояния до поверхности представлен на рис.3.

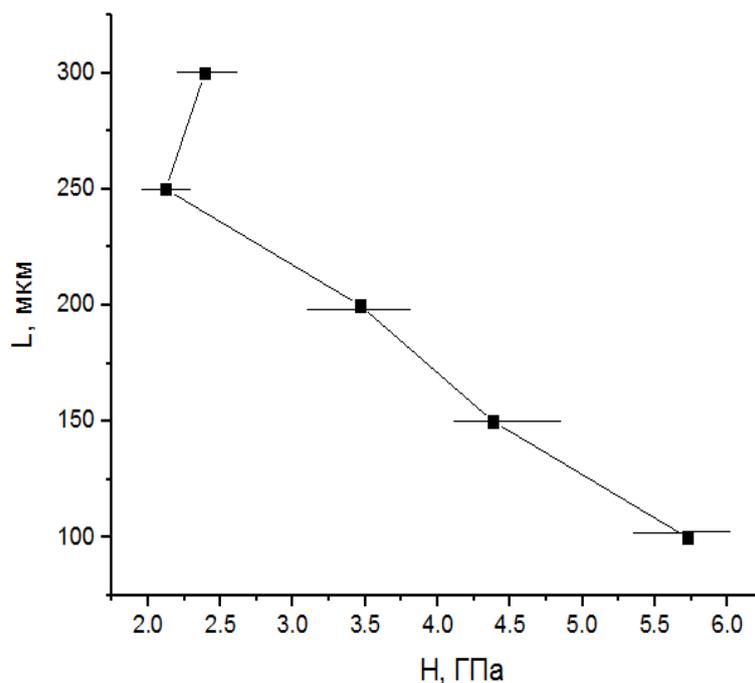


Рис. 3 Твердость модифицированного слоя. Толщина предварительно нанесенной пленки 800 нм, длительность импульса 1 с, форма импульса – прямоугольная, напряжение накачки лампы лазера 350 В

Зона упрочнения характеризовалась плавным уменьшением твердости при увеличении расстояния от поверхности. Такой вид зависимости объясняется, по видимому уменьшением времени взаимодействия расплавленного металла основы и пленки тантала с атмосферными газами. Поверхностные слои активно взаимодействовали с кислородом с образованием твердых оксидов, что приводило к повышению твердости более чем в 2 раза по отношению к металлу основы.

Выводы

В результате экспериментов подобран режим, при котором шероховатость поверхности упрочненного покрытия достигает заданных значений $Ra = 6,4 \pm 0,2$ мкм, $Rz = 22 \pm 4,8$ мкм, толщина упрочненного слоя достигает $0,2 \pm 0,05$ мкм. Толщина предварительно нанесенной пленки 800 нм, длительность импульса 1 с, форма импульса – прямоугольная, напряжение накачки лампы лазера 350 В. Покрытие с такими параметрами шероховатости и твердости модифицированного слоя может использоваться при изготовлении костных имплантатов. Присутствие тантала и его соединений в поверхностном слое должно положительно влиять на процессы остеоинтеграции.

Список источников

1. M. Fomina, V. Koshuro, A. Shumilin, A. Voyko, A. Zakharevich, A. Skaptsov, A. Steinhauer, A. Fomin. Compos. Struct. 234, 11688 (2020)
2. H. Chouirfa, H. Bouloussa, V. Migonney, C. Falentin-Daudre. Acta Biomater. 83, 37 (2019). Crossref
3. H.-L. Huang, M.-T. Tsai, Y.-J. Lin, Y.-Y. Chang. Thin Solid Films. 688, 137268 (2019). Crossref
4. L.-Y. Shi, A. Wang, F.-Z. Zang, J.-X. Wang, X.-W. Pan, H.-J. Chen. Colloids Surf. B. 160, 22 (2017). Crossref.

СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ МАГНИЙСОДЕРЖАЩЕГО ТРИКАЛЬЦИЙФОСФАТА

Маркелова О.А., Пичхидзе С.Я.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

В современной стоматологии в качестве материалов для внутрикостных имплантатов широкое применение получили сплавы титана, обладающие биосовместимостью и оптимальными механическими характеристиками. Для придания титановым изделиям биоактивных свойств на их поверхность наносят специальные покрытия, обычно на основе порошков кальцийфосфатов, в т. ч. модифицированных [1].

Одним из методов формирования покрытий на металлической основе является метод плазменного напыления. Преимущества метода для создания покрытий внутрикостных имплантатов является возможность получения пористых покрытий, обладающих достаточной твердостью и адгезионной прочностью [2].

Предлагается в качестве порошка для нанесения на титановую основу использовать трикальцийфосфат (ТКФ), т. к. по своей структуре, качествам биоактивности и механическим свойствам он схож с обезвоженным гидроксипатитом, но по резорбируемости на порядок превосходит его [1]. Перспективным является использование модифицированного порошка ТКФ, что позволяет придать покрытию улучшенные свойства. Например, использование магния в качестве замещения части кальция в ТКФ позволит увеличить остеинтеграционные характеристики покрытия за счет влияния магния на рост кристаллов, скорость их растворения, химический состав поверхности, а также морфологию покрытия [3].

Покрытие формировали путем нанесения подслоя из порошка титана и слоя порошка магнийсодержащего трикальцийфосфата (Mg-ТКФ). Плазменное напыление покрытий производилось на полуавтоматической установке УПН-28 при следующих технологических режимах: ток дуги – 350 ± 5 А, дисперсность порошка титана – до 150 мкм, дисперсность порошка Mg-ТКФ – до 90 мкм, расход плазмообразующего газа – 20 ± 2 л/мин, дистанция напыления порошка титана до 150 мм, дистанция напыления порошка Mg-ТКФ до 50 мм.

Анализ энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДРА), полученных покрытий подтверждает наличие соединений, включающих магний, кальций, фосфор, кислород и титан, что свидетельствует о сохранении частиц магния после процесса плазменного напыления (рис. 1).

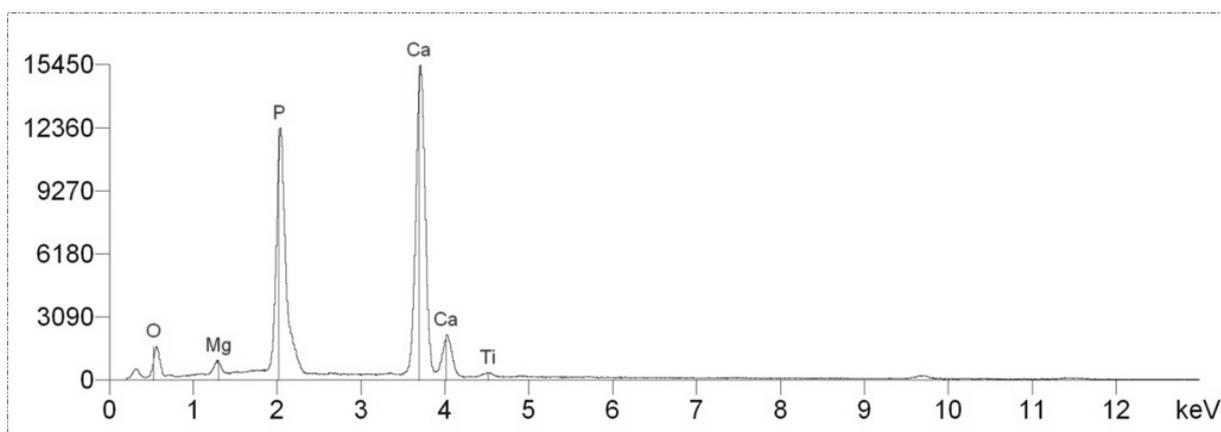


Рис. 1. ЭДРА Mg-ТКФ

Покрытие образовано частицами округлой формы размером 50-100 мкм, на поверхности крупных частиц закреплены мелкие размером 10-20 мкм (рис. 2, а). Заметно скопление округлых частиц размером менее 1 мкм,

образованных при ударе напыляемого порошка Mg-ТКФ о поверхность основы (рис. 2 б). При этом на поверхности не обнаружено микротрещин, что свидетельствует об оптимальном температурном режиме процессе плазменного напыления, вследствие которого не происходит чрезмерного перегрева частиц.

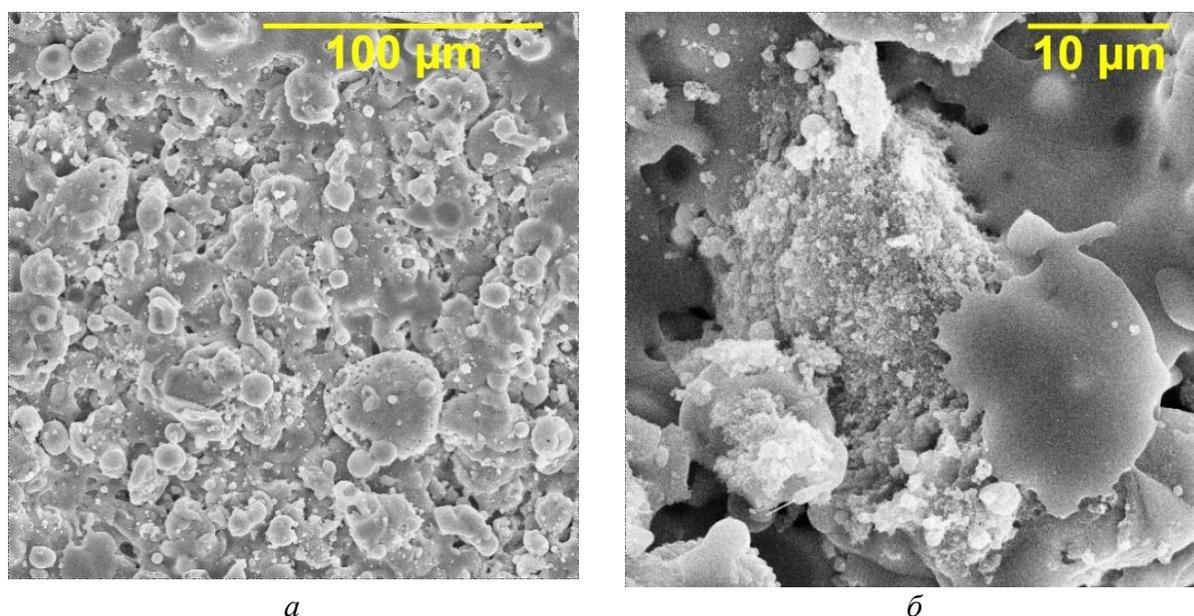


Рис. 2. Микроструктура Mg-ТКФ покрытий

Анализ структурно-морфологических характеристик плазменных Mg-ТКФ покрытий на титановой основе дает возможность предполагать перспективность использования модифицированного порошка в качестве покрытий внутрикостных частей имплантатов.

Статья подготовлена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ для молодых ученых и аспирантов СП-50.2022.4.

Список источников

1. Dorozhkin, S.V. There Are over 60 Ways to Produce Biocompatible Calcium Orthophosphate (CaPO₄) Deposits on Various Substrates. J. Compos. Sci. 2023. № 7. P. 273.
2. Heimann, R.B. Plasma-Sprayed Hydroxylapatite Coatings as Biocompatible Intermediaries Between Inorganic Implant Surfaces and Living Tissue. J Therm Spray Tech, 2018. Vol. 27, P. 1212-1237.
3. Kannan S., Ferreira J. Synthesis and thermal stability of hydroxyapatite-β-tricalcium phosphate composites with cosubstituted sodium, magnesium, and fluorine // Chem. Mater. 2006. Vol. 18 (1). PP. 198-203.

МЕДИЦИНСКИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЧИСТКИ ЗУБОВ

Рябиничева А.В.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Таран В.М.

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

Разработана структурно-функциональная схема ультразвукового скалера и медицинского автоматизированного комплекса для проведения ультразвуковой чистки зубов.

Ключевые слова: ультразвуковой скалер, автоматизированный комплекс, функциональная схема

Ультразвуковой стоматологический скалер применяется для удаления зубных отложений, в основном зубного камня.

Скалер является универсальным прибором, который используется в терапевтической стоматологии, имплантологии, пародонтологии и других областях. Аппарат предназначен для очистки зубов от зубного камня и налета.

Физический смысл очистки заключается в разделении зубных отложений и поверхности эмали. В стоматологическом скалере это разделение происходит за счет ультразвуковых колебаний наконечника.

В основе ультразвукового удаления зубных отложений лежит комбинация различных механизмов воздействия: механической обработки, ирригации и кавитации. Эти механизмы позволяют удалять зубные отложения не только в зоне контакта с наконечником, но и на небольшом расстоянии от него [1-4].

На рис. 1 представлена структурно-функциональная схема медицинского автоматизированного комплекса (МАК) для проведения ультразвуковой чистки зубов.

МАК состоит из: блока компьютерной системы управления (КСУ), блока пациента, блока врача, телевизионной системы, манипулятора кресла-кровати для пациента (М1), манипулятора медицинского прибора (М2), манипулятора телевизионной камеры (М3), датчиков (Д) и исполнительных механизмов (ИМ).

Блок КСУ предназначен для контроля и управления МАК. Он собирает электрические сигналы с датчиков и медицинского прибора, обрабатывая полученную информацию, и генерирует подаваемые на ИМ сигналы в зависимости от занесенного алгоритма. КСУ включает в себя электронно-вычислительную машину (ЭВМ), устройства сопряжения с объектом (УСО), устройство визуализации (монитор) и пульт управления (ПУ).

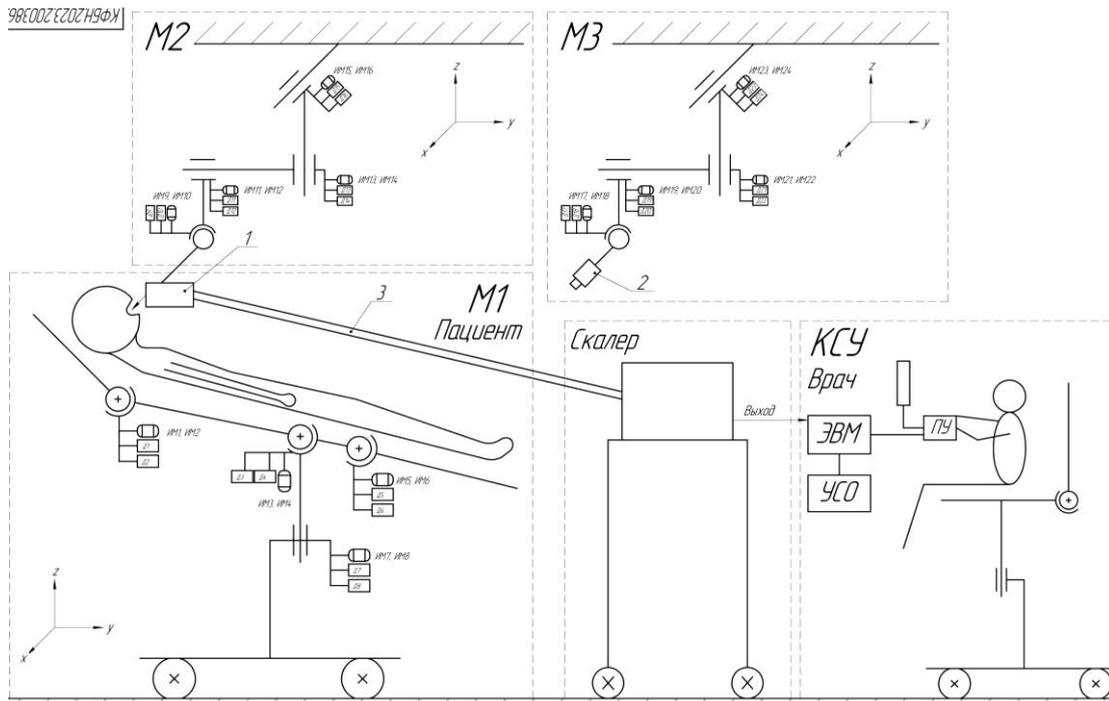


Рис. 1. Структурно-функциональная схема МАК

Блок пациента включает механизированное кресло-кровать, управляемое манипулятором М1. Кресло-кровать предназначено для обеспечения удобного расположения пациента во время проведения операции.

Блок врача состоит из кресла, устройства визуализации и пульта управления элементами МАК.

Манипулятор медицинского прибора М2 предназначен для перемещения прибора в зависимости от разработанного алгоритма, посредством управления исполнительными механизмами.

Манипулятор телевизионной камеры М3 предназначен для перемещения видеокамеры в зависимости от разработанного алгоритма, посредством управления исполнительными механизмами.

Телевизионная система состоит из видеокамеры, закрепленной на манипуляторе М3, предназначенном для ее перемещения. Телевизионная система необходима для отслеживания врачом происходящих процессов во время операции.

Датчики необходимы для преобразования неэлектрических сигналов в электрические и передачи их в КСУ.

На рис. 2 представлена структурно-функциональная схема ультразвукового стоматологического скалера [5].

Напряжение сети 220 В поступает в источник питания (1) и на компрессор (2). Компрессор создает сжатый воздух и подает его под давлением в резервуар с водой (3). Воздух создает в резервуаре избыточное давление, за счет которого вода поступает на электромагнитный клапан (4), регулирующий ее подачу. Далее жидкость попадает непосредственно на рабочее тело.

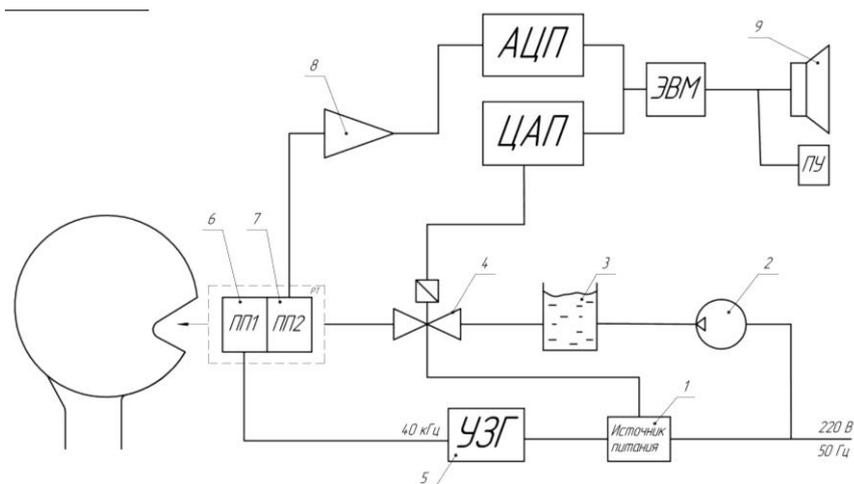


Рис. 2. Структурно-функциональная схема скалера

Ультразвуковой генератор (5) преобразует электроэнергию с частотой 50 Гц в необходимые для работы устройства 40 кГц. Далее сигнал поступает на пьезопреобразователи (6, 7), которые преобразуют электрическую энергию в механическую (ультразвук).

Ультразвуковые колебания вызывают в струе воды, подаваемой через наконечник, эффект кавитации, необходимый для очистки эмали. Помимо этого, жидкость охлаждает рабочий инструмент.

Второй пьезопреобразователь выступает в роли датчика. Сигнал с него поступает на усилитель (8), после чего усиленный сигнал направляется на аналогово-цифровой преобразователь. Здесь аналоговый сигнал преобразуется в дискретный код и попадает на компьютер, а после выводится на экран (9). Электромагнитный клапан, в свою очередь, связан с цифро-аналоговым преобразователем, за счет которого врач может управлять работой клапана.

Представленный комплекс может быть использован для предоперационного исследования пациентов, например, перед установкой зубных имплантатов.

Список источников

1. Аппарат для снятия зубного камня «Ультрадент». Паспорт изделия. – М.: Московский завод электромедицинской аппаратуры «ЭМА», 2012. – 39 с.

2. Халиуллина А.В., Хайрутдинов Б.И. Ультразвук в медицине: учеб. пособие / под ред. А.В. Аганова. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2022. – 116 с.

3. Фазылова Ю.В., Рувинская Г.Р. Современные аспекты ультразвукового скейлинга. – Казань: Казанский государственный медицинский университет, 2011. – 64 с.

4. Аппарат для снятия зубного камня «Ультрастом». Паспорт изделия. – М.: Московский завод электромедицинской аппаратуры «ЭМА», 2011. – 36 с.

5. Таран В.М., Дударева О.А. Конструирование деталей, узлов и элементов биотехнических систем: учеб. пособие. – Москва: Прондо, 2015. – 67 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ТВЕРДЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ СТРУКТУР НА ТИТАНОВЫХ ШАРОВЫХ КОМПОНЕНТАХ ЭНДОПРОТЕЗОВ

Щелкунов А.Ю.

Научный руководитель: д.т.н., доцент Фомин А.А.

В данном исследовании представлены результаты численного моделирования процесса индукционной термообработки титановых шаровых изделий. Экспериментально получены данные изменения твердости от тока индуктора и выдержки. Твердость полученных оксидных и диффузионных слоев соответствует материалам трущихся элементов, использование которой целесообразно при проектировании титановых компонентов эндопротезов.

Ключевые слова: индукционная термообработка, численное моделирование, твердость, титановые шаровые компоненты, ток индуктора

Повышение надежности и срока службы важная задача современного производства изделий восстановительной медицины. Актуальным вопросом остается создание пары трения для тазобедренного эндопротеза, так как спрос на составные компоненты для повторно проводящих операций (реконструкции действующего эндопротеза) растет [1]. Для системы (головка–вкладыш) в основном применяется несколько типов пар трения – это «метал–полимер», «металл–металл», «керамика–полимер», «керамика–металл», «металл–керамика», «керамика–керамика». Одной из чаще заменяемых частей в эндопротезе является шарообразный компонент, которые чаще всего изготавливаются из несколько групп материалов: металлические (с применение черных металлов и сплавов в их основе), сплавы на основе титана, керамические материалы, полимеры и композиты [2, 3].

Материалы для шарового компонента эндопротезов во многом зависят, как от комплекса физико-механических свойств (прочность, износостойкость, стойкость к циклическим нагрузкам), так и химико-биологических (стойкость к коррозии, биологическая совместимость и т. д.). Работа таких конструкций сопровождается высоким трением, которое приводит к деформации поверхностного слоя и отрыву частиц (образованию «абразива») с поверхности пары трения. Наиболее подвержены такие пары трения, как «полимер-металл», «металл-металл» и «металл-керамика» (происходит выкрашивание металлических частиц). Данный фактор негативно влияет на эксплуатацию и приводит к существенному сокращению срока службы изделия.

Высококачественной и износостойкой паре трения необходимо на поверхности иметь керамическую или металло-керамическую структуру с высокой твердостью и износостойкостью. Таким образом, будет наблюдаться плавное изменение от химического соединения к металлической фазе с необходимой пластичностью. В связи с этим к поверхности головки эндопротеза предъявляются особые требования, высокий показатель твердости и износостойкости.

Учитывая вышеописанные технологические требования к шаровым компонентам на основе полученных результатов исследований разработаны технологические рекомендации по формированию твердых износостойких оксидных слоев на техническом титане марки ВТ1-00 методом высокотемпературной индукционной термообработки (ВТ-ИТО) в воздушной среде. В качестве изделия для нанесения покрытия выбрано типовое изделие – головка эндопротеза, изготовление которого регламентируется ГОСТ Р ИСО 7206-1–2005 (рис. 1б).

Численная модель и исследование процесса высокотемпературной индукционной обработки титановых шаровых компонентов

Задачей численного моделирования на данном этапе является определение технологической возможности нагрева до заданной температуры титановых изделий, в частности шаровых компонентов эндопротеза. Рекомендуемый температурный интервал соответствовал от 1120–1150 до 1200–1250 °С, что обеспечивало насыщение поверхности кислородом и формирование вторичных фаз (α' -Ti, α'' -Ti и субоксидов титана).

Представлены расчетная схема и геометрические параметры элементов системы для численного моделирования (рис. 1).

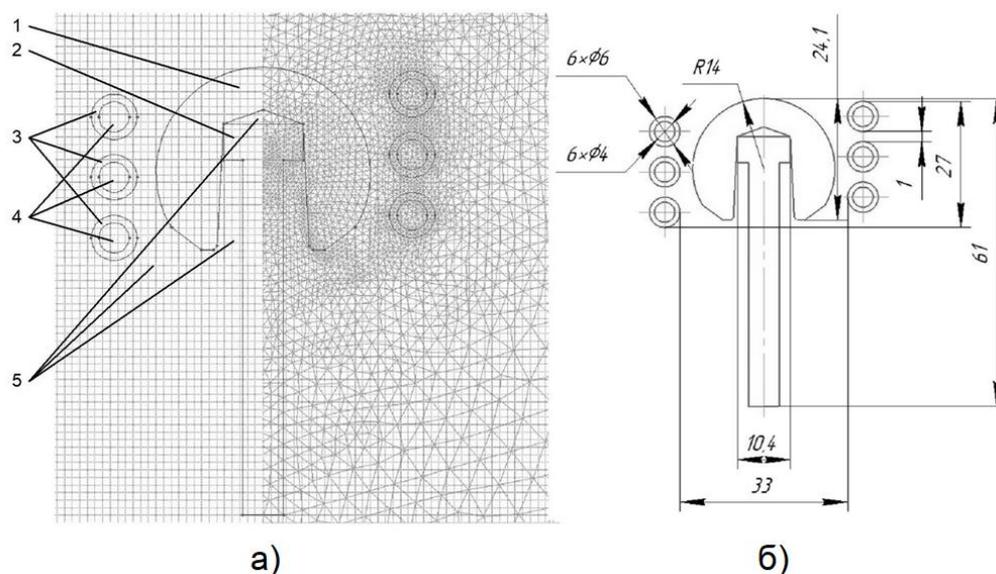


Рис. 1. Расчетная схема (а) и геометрические параметры (б) для моделирования процесса индукционной термообработки: 1 – титановый шарообразный компонент (по ГОСТ Р ИСО 7206-1–2005); 2 – титановая оснастка фиксации изделия; 3 – медный индуктор; 4 – полость трубки для охлаждения водой; 5 – окружающая атмосфера (воздух)

В системе рабочим инструментом является медный индуктор со следующими геометрическими параметрами: количество витков $n = 3$, внутренний диаметр $D_l = 33$ мм, высота индуктора $h = 27$ мм, внешний диаметр трубки индуктора $D_{инд} = 6$ мм, внутренний диаметр трубки индуктора $d_{инд} = 4$ мм, межвитковое расстояние 1 мм.

Головка эндопротеза располагалась в центральной части активной области индуктора со следующими геометрическими параметрами: внешний диаметр $D = 28$ мм, высота $h = 21,4$ мм. Позиционирование изделия происходило за счет фиксации на цилиндрическом титановом штоке. Сетка конечных элементов системы имеет наименьший размер в области титанового образца, пространства вокруг образца и витков индуктора. Значение частоты тока частота тока f задано 66 кГц. Представлены фрагменты распределения плотности тока j , ток индуктора при расчетном значении соответствовал $I_{инд} = 3,0$ и $3,5$ кА (рис. 2).

При нагреве током индуктора $I_{инд} = 3,0$ кА плотность тока в шаровом компоненте не превышала $19,9$ МА/м² (Рисунок 2а). При $I_{инд} = 3,5$ кА значение плотности тока в титановом образце возросло до $23,3$ МА/м² (Рисунок 2б). Также сохранялась закономерность роста плотности тока на поверхности медного водоохлаждаемого индуктора от 40–46 до 199–233 МА/м² для $I_{инд} = 3,0$ и $3,5$ кА, соответственно (рис. 2).

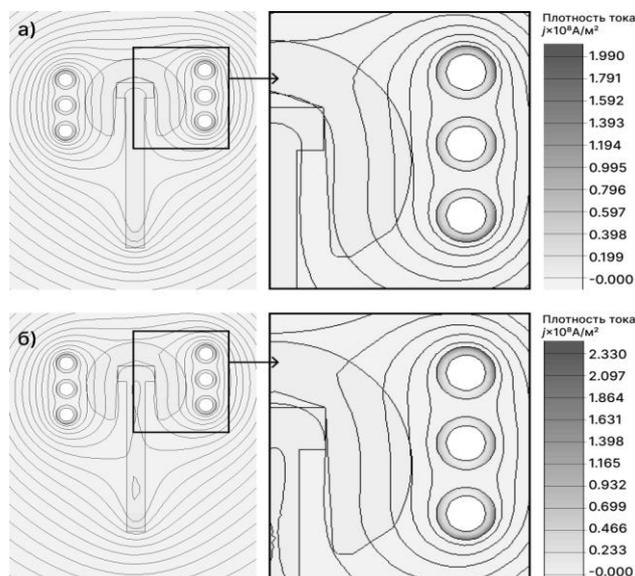


Рис. 2. Распределение плотности тока j при значениях (линиями уровня показано изменение потенциала магнитного поля): $I_{инд} = 3,0$ кА (а), $I_{инд} = 3,5$ кА (б)

Тепловыделение в шаровом компоненте (при $I_{инд} = 3$ кА) соответствовало диапазону $0,708$ – $2,124$ ГВт/м³, причем максимальное значение достигалось напротив среднерасположенных витков индуктора (Рисунок 3а). Аналогично для тока индуктора $I_{инд} = 3,5$ кА, значения соответствовали диапазону $0,966$ – $2,898$ ГВт/м³ (рис. 3б).

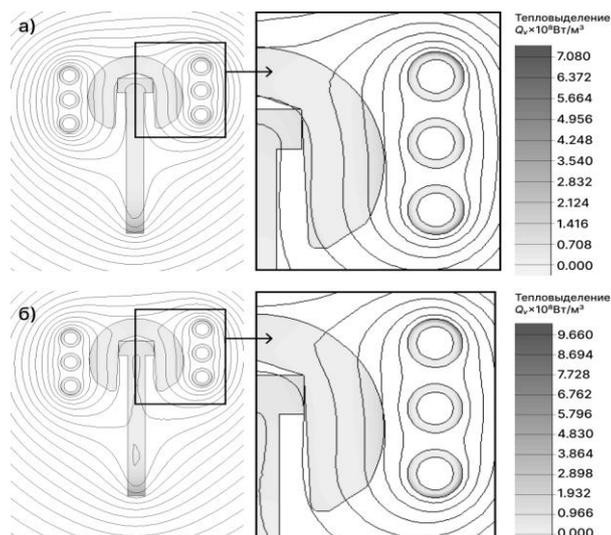


Рис. 3. Тепловыделение Q_v при различных значениях тока индуктора: $I_{инд} = 3,0$ кА (а), $I_{инд} = 3,5$ кА (б)

Существенный рост тепловыделения соответствовал блоку медного индуктора – $1,416\text{--}7,080$ ГВт/м³ и $1,932\text{--}9,660$ ГВт/м³ при токе индуктора $I_{инд} = 3,0$ и $3,5$ кА, соответственно. Распределение температурного поля для меньшего тока индуктора $I_{инд} = 3,0$ кА характеризовалось необходимой равномерностью при $1120\text{--}1125$ °С, при этом отметками «крестик» была отмечена разность температур на разных участках шарового компонента (рис. 4а).

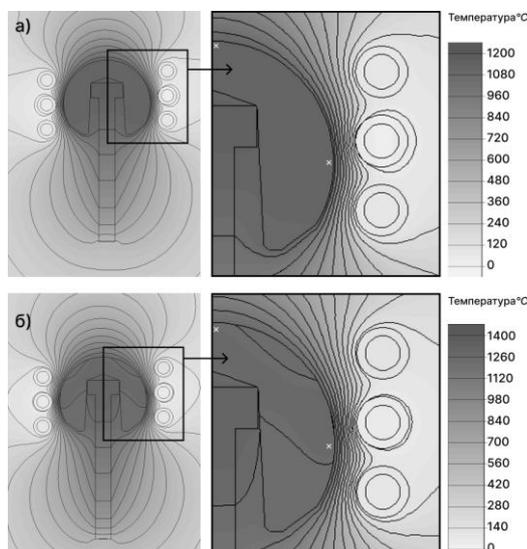


Рис. 4. Распределение температуры (линии уровня показаны с шагом $\Delta T = 100$ °С): $I_{инд} = 3,0$ кА (а), $I_{инд} = 3,5$ кА (б)

Распределение температурного поля при $I_{инд} = 3,5$ кА имеет сниженную равномерность (увеличенный градиент). Температурные точки сняты с краев поверхности по высоте и крайней правой точке, их разность не более 10 °С, что соответствует $1240\text{--}1250$ °С такое расхождение температуры считается допустимым при выполнении технологического нагрева (рис. 4б).

Рабочая температура интенсивно водоохлаждаемого индуктора соответствует 50–60 °С. Такой интервал является рабочим и не влияет на изменение свойств электропроводности меди, не снижая КПД процесса обработки при всей продолжительности выдержки ВТ-ИТО от 60 до 300 с. Значение тока индуктора $I_{инд} = 3$ кА соответствует температуре процесса ВТ-ИТО $T = 1120-1150$ °С, расчетная скорость нагрева, которой, соответствует $t = 200$ с (рис. 5, кривые 2,2к).

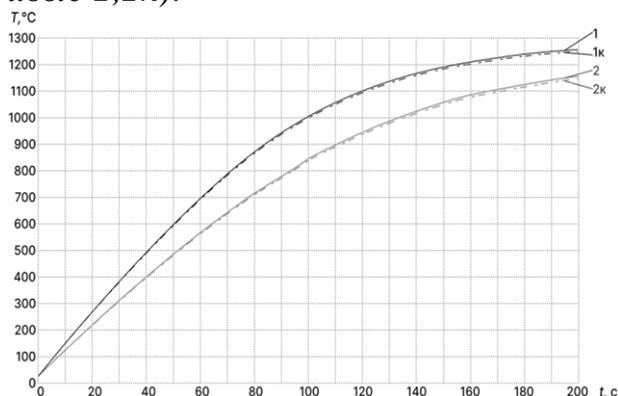


Рис. 5. Кинетика нагрева титановых шаровых компонентов эндопротеза при разном значении тока индуктора: 1,1к – при $I_{инд} = 3,5$ кА; 2,2к – при $I_{инд} = 3,0$ (к – означает «край» образца)

Момент нагрева до заданной температуры выдержки согласно численному моделированию соответствует $t = 200$ с при $I_{инд} = 3,5$ кА (рис.5, кривые 1,1к). На равномерность и скорость нагрева влияет параметр объемного заполнения индуктора V_{η} , рассчитанный согласно выражению (1).

$$V_{\eta} = \frac{V_{и}}{V_{инд}} \cdot 100\% = \frac{10893,1}{23093,1} \cdot 100\% = 47,17\% \quad (1)$$

За счет увеличения параметра объемного заполнения произошел существенный рост значения тока индуктора на 0,1–0,4 кА относительно дисковых образцов. Таким образом, объясняется минимальный перепад температур при выдержке в различных контрольных точках: в верхней центральной и крайней правой в центре. Установлены границы изменения электротехнологического параметра ($I_{инд}$).

Согласно проведенным расчетам численного моделирования необходимо провести технологический нагрев шаровых компонентов согласно полученным режимам (таблица).

Технологические режимы высокотемпературной индукционной термообработки (ВТ-ИТО) для шаровых компонентов эндопротеза

Номер режима получения образцов	Режимы для цилиндрических изделий			Режимы для шаровых компонентов эндопротеза		
	$I_{инд}$	t	T	$I_{инд}$	t	T
	кА	с	°С	кА	с	°С
1	2,9	60	1100	3,0	60	1150
2	2,9	300	1100	3,0	300	1150
3	3,1	300	1250	3,5	300	1250

Для проведения ВТ-ИТО на рекомендуемых режимах подготовлены цилиндрические образцы с глухим отверстием, приближенные по массогабаритным параметрам шаровых компонентов тазобедренного эндопротеза. Диаметр цилиндра $D_{ц} = 28$ мм, высота цилиндра $H_{ц} = 28$ мм, $D_{отв} = 16$ мм, глубина отверстия $h_{отв} = 18$ мм (рис. 6).

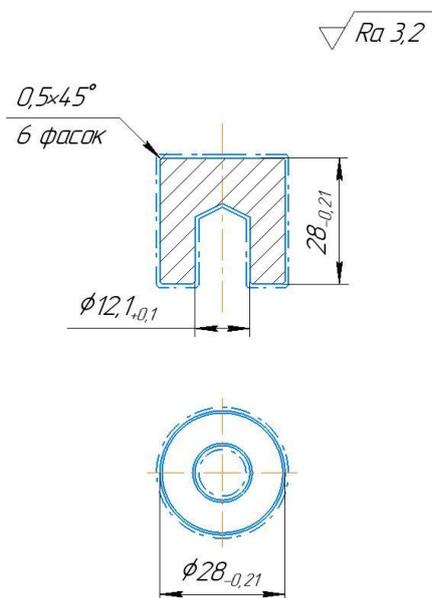


Рис. 6. Заготовка для проведения ВТ-ИТО

Проводился комплексный контроль твердости изделия методом Роквелла с использованием индентора из алмазного конуса с углом при вершине 120° , согласно ГОСТ 9013-59.

Контроль твердости изделия состоит из замера сразу после ВТ-ИТО включая слой с окалиной. Исследование равномерности распределения твердости измерения выполняли в двух контрольных областях – нижняя часть «а» и верхняя «б» часть боковой поверхности (рис. 7).

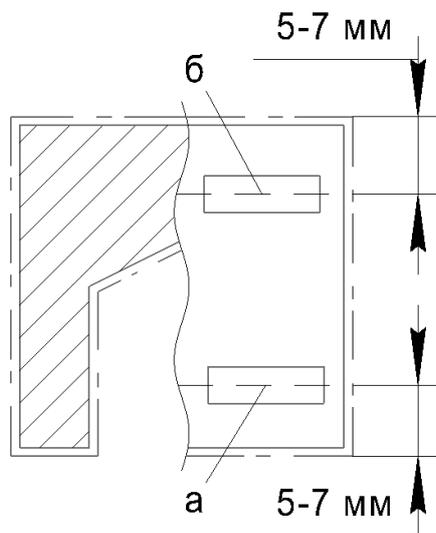


Рис. 7. Схема измерения твердости изделия

Функциональные качества изделия оценивались методом шарового истирания в слое алмазной суспензии. В качестве испытательного стенда выбран прибор «Константа Ш2» (рис. 8). Согласно рекомендациям паспорта прибора, для цилиндрических и сферических изделий выбран шар диаметром 20 мм, абразивная суспензия (NXMET Diamond suspension 2in1) с размером частиц 3 мкм, длительность шарового испытания 120 с, скорость вращения шпинделя 1300 об/мин.

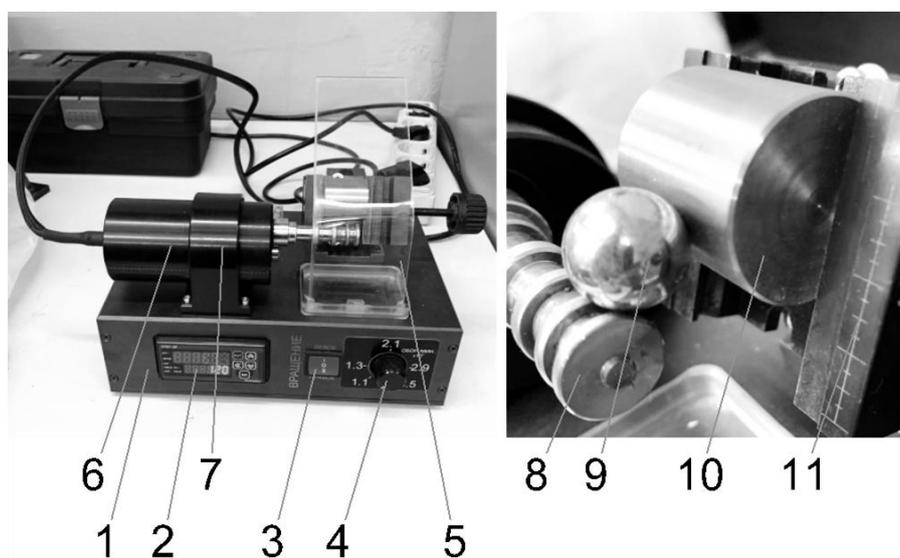


Рис. 8. Прибор абразивного шарового истирания «Константа Ш2»: 1 – блок управления, 2 – таймер, 3 – переключатель направления вращения, 4 – регулятор скорости вращения вала, 5 – защитный экран, 6 – привод вращения, 7 – кронштейн крепления привода, 8 – вал, 9 – шар, 10 – изделие

Оценка износостойкости велась при сравнении глубины истирания h в одинаковых условиях трения (абразив суспензии, стальной шар, продолжительность теста), согласно модели «шар–цилиндр»:

$$h = R - \sqrt{R^2 - \frac{d^2}{4}}, \quad (2)$$

где R – радиус шара для испытания; d – диаметр сферообразной выемки на поверхности модифицированного слоя, мм; h – толщина слоя, мм.

По результатам измерения твердости поверхности наблюдался широкий диапазон изменений значений – от $29,5 \pm 0,86$ до $41,5 \pm 3,96$ HRC. Измерения проводились непосредственно после нормализации температурного состояния до комнатной. Такая поверхность характеризовалась наличием слоя окалины. Далее производился сьем верхнего слоя на глубину 100–150 мкм. Существенный рост наблюдался до $48,2 \pm 1,95$ HRC на всех образцах для области «б». Диапазон изменения твердости в глубину для экспериментальных изделий изменялся в пределах от $48,2 \pm 1,95$ до $32,5 \pm 3,6$ HRC (рис. 9).

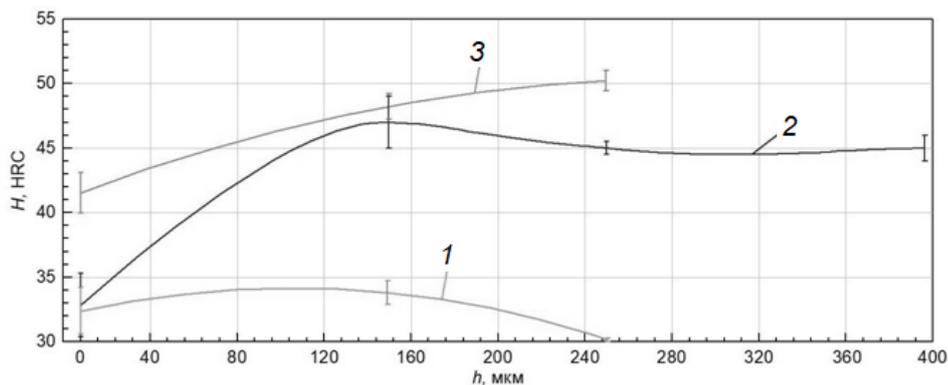


Рис. 9. Изменение твердости на поверхности для послойно снятого материала, соответствующей верхней области изделия

После снятия слоя на глубину 200–250 мкм от первоначального размера наблюдался незначительный спад с $44,8 \pm 1,15$ до $30,1 \pm 0,84$ HRC (образец «1»), соответственно. Максимальное значение твердости составило $50,2 \pm 1,68$ HRC, что наблюдалось для образца «3».

Для оценки полученных результатов твердости на экспериментальных образцах необходимо сопоставить твердость серийно изготовленных изделий из сплава титана марки ВТ6 и традиционно используемого Co-Cr сплава, а также экспериментально упрочненных методом ВТ-ИТО титановых образцов. Согласно полученным результатам исследования твердости поверхности представлен график с максимальной твердостью для экспериментальных режимов и твердостью поверхности серийных изделий (рис. 10).

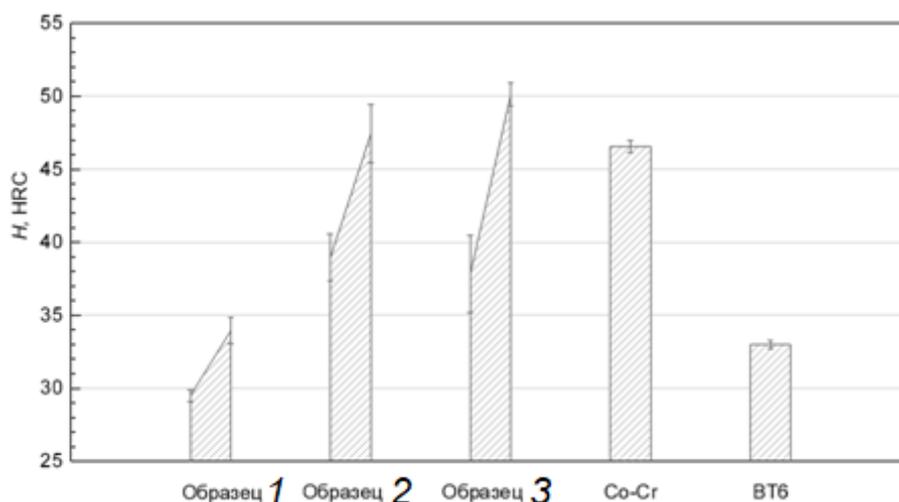


Рис. 10. Диаграмма сравнения твердости поверхности для экспериментальных образцов «1», «2» и «3»

Несмотря на разность результатов твердости, достигаются значения сопоставимые с Co-Cr сплавами, что косвенно характеризует о сопоставимых результатах износостойкости.

Технологическая схема последовательности операций по формированию твердых износостойких оксидных слоев на титановом шаровом

компоненте тазобедренного эндопротеза (рис. 11). Для технологии формирования предлагается использовать технический титан марки ВТ1-0 или его аналог (Grade 2). Такой материал поставляется в различных формах обработки материалов (лист, пруток, полоса, трубы и т. д.), оптимальным видом поставки считается калиброванный пруток с химическим составом, соответствующим ГОСТ 19807-91.

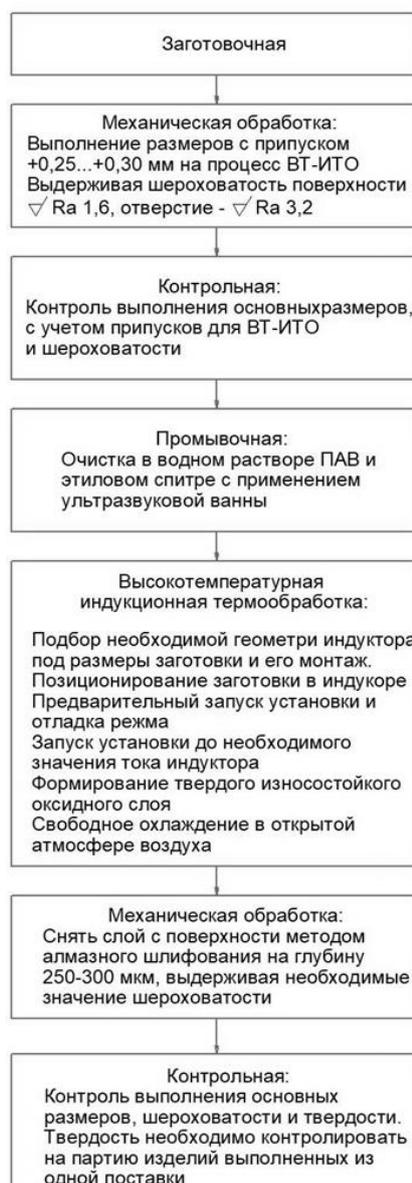


Рис. 11. Технологическая схема последовательности выполнения операций по формированию твердых износостойких оксидных слоев на титановом шаровом компоненте тазобедренного эндопротеза

Таким образом, определены технологические возможности нагрева и выдержки при ВТ-ИТО шаровых компонентов из титана с помощью методов численного моделирования. Основной технологический параметр – ток индуктора $I_{инд}$ соответствовал для режимов «1», «2» – 3,0 кА, для режима «3» – 3,5 кА. В ходе экспериментального нагрева массогабаритных изделий определена частота тока на индукторе $f=66$ кГц. За счет параметра

объемного заполнения индуктора значения $I_{инд}$ выросли незначительно для режимов «1» и «2» на 0,1 кА, для режима «3» на 0,4 кА.

Сопоставлены результаты твердости и износостойкости поверхности экспериментальных изделий, стандартных изделий из сплава Со-Сг и титанового ВТ6. Выявлен рост твердости при незначительном удалении слоя поверхности от 150 до 300 мкм. Лучший результат комплексной оценки получен у образца «3». При съеме слоя от поверхности 250 мкм, его твердость составила $50,2 \pm 1,68$ НРС.

Разработаны технологические рекомендации для получения твердого износостойкого слоя на титановом шаровом компоненте тазобедренного эндопротеза методом ВТ-ИТО в открытой атмосфере, с твердостью поверхности не менее 46–50 НРС, что сопоставимо с широко применяемым Со-Сг сплавом.

Список источников

1. Paseuth A., Fukui H., Yamagata K. Improvement of mechanical properties and cutting performance of modified MT-TiC_xN_{1-x} coating by moderate temperature chemical vapor deposition // Surface and Coatings Technology. – 2016. – Т. 291. – pp. 54-61.

2. Aissa C. B., Khlifi K. CAE-PVD synthesis and characterization of titanium-based biocompatible coatings deposited on titanium alloy for biomedical application // Materials Today: Proceedings. – 2021. – Т. 42. – pp. A10-A17.

3. Alman D. E., Hawk J. A. The abrasive wear of sintered titanium matrix-ceramic particle reinforced composites // Wear. – 1999. – Т. 225. – P. 629-639.

Научное издание

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ

Сборник научных трудов
по материалам II Всероссийской молодежной конференции

Редактор Л.А. Скворцова

Компьютерная верстка Т.В. Семеновой

Подписано в печать 21.07.2023

Формат 60×84 1/16

Бум. офсет.

Усл. печ. л. 21,75

Уч.-изд. л. 20,2

Тираж 100 экз.

Заказ 38

С 30

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Отпечатано в Издательстве СГТУ имени Гагарина Ю.А.

410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Тел.: 8 (8452) 99-87-39, e-mail: izdat@sstu.ru