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 III Всероссийской молодежной конференции

Саратов, 22-23 мая 2024 г.

Саратов 2024

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

П 26 Перспективные материалы и высокоэффективные процессы обработки: сб. материалов III Всерос. молодежной конф. Саратов, 22-23 мая 2024 г. / под. общ. ред. д-ра техн. наук, доцента А.А. Фомина. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2024. 384 с.
ISBN 978-5-7433-3625-8

В сборнике представлены материалы III Всероссийской молодежной конференции «Перспективные материалы и высокоэффективные процессы обработки», проходившей 22-23 мая 2024 г. в Саратовском государственном техническом университете имени Гагарина Ю.А. в соответствии с приказом СГТУ № 171-П от 07.03.2024 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.

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., доцент Решетникова О.П.;
д.ф.-м.н., профессор Вениг С.Б.; 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.

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

© Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2024

ISBN 978-5-7433-3625-8

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ
Алексеева А.Д., Валеева А.Р. 12

ЭЛАСТОМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
Антипова И.А., Идрисова Д.М., Лысова К.А. 14

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ТИТАНАТА БАРИЯ-КАЛИЯ
Асмолова А.А. 16

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ РАСПЛАВА МЕТАЛЛА
Казинский А.А., Бабакаев Д.В. 18

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДЛЯ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ
Бадеев В.А. 22

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ ЛЬДА В СТРУКТУРАХ por-Si – H_2O
Бардушкин А.В. 23

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОБИВНОГО ПУАНСОНА ИЗ СТАЛИ 20Х23Н18 ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
Белоусов Н.А., Кириллов Н.И., Гоц А.А. 26

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ
Бермешев Т.В., Чумилина Л.Г., Бундин М.П., Ворошилова М.В., Залога А.Н., Самойло А.С. 29

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ МАЯТНИКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ
Буй М.З., Хо М.К., Нгуен В.Ч. 31

КАПСУЛЬНЫЙ ГАСТРОСКОП ДЛЯ БИОПСИИ
Буланов Б.А. 36

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СПОСОБОВ УВЕЛИЧЕНИЯ ФОТОИНДУЦИРОВАННОЙ СУПЕРГИДРОФИЛЬНОСТИ ПЛЁНОК TiO_2
Владимиров Д.С. 42

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ ДЛИН ВОЛН
Войтов А.С., Берник Т.С. 45

ПОЛИАМИДНЫЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ВОЛОКНИСТЫХ ОТХОДОВ ОКСИ-ПАН
Волкова Е.С. 48

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЛАЗЕРНОМ ОБЛУЧЕНИИ ДВУХСЛОЙНОЙ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СТРУКТУРЫ Al/Si НА ГИБКОЙ ПОЛИИМИДНОЙ ПОДЛОЖКЕ
Волковойнова Л.Д. 52

КВАНТОВОХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ХЕЛАТНЫХ БИСФЕНИЛАЛАНИНСОДЕРЖАЩИХ N,O-КОМПЛЕКСОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
Галимов М.Н. 54

АДСОРБЦИОННЫЕ И ДЕСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ В РАСТВОРЕ ХЛОРГЕКСИДИНА
Галишникова Ю.О. 57

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПУТЕМ ИНТЕГРАЦИИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Говорова В.Д., Пойлов А.О., Шаманская Е.В. 58

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ЗАЩИТНОЙ ОКСИДНОЙ ПЛЕНКИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ
Гостев С.Д., Давыдова А.Р. 61

НАНЕСЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ГАЛЬВАНООБРАБОТКИ
Грибанов И.Д. 64

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ОТРАЖЕНИЯ ОТ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ У ПОДОПЫТНЫХ МЫШЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ МНОГОСПЕКТРАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ
Грибова Д.А., Алиферко А.А. 67

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАССИВНОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОННОГО УЗЛА ГИБРИДНОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ
Грищенко В.И. 70

УСТРАНЕНИЕ ДЕФЕКТА ДЕТАЛИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛИ НА ЛИТЬЕВОЙ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ МАШИНЕ
Давыдов М.А. 72

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДИСКОВ ГТД ИЗ СПЛАВА ЭП741НП ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ АТОМИЗАЦИИ
Демченко А.А. 74

КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ
Деревякин В.И. 76

ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ МАРОК ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА СТРУКТУРУ РЕАКЦИОННО-СПЕЧЕННОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ
Джулаева Е.Г. 78

ТИПООФСЕТНАЯ ПЕЧАТЬ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАДИОМЕТОК
Дмитриев Л.Д., Журавлева Г.Н., Ямилинец С.Ю., Заманов Р.Р., Годин Н.И., Долгоносов В.К., Погиба А.Ю. 81

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ЗУБНОГО ИМПЛАНТАТА
Дьяченко Л.А. 83

ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА РАЗНОРОДНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТИТАНА И АЛЮМИНИЯ
Евлампьев А.В. 88

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО ИНТЕРВАЛА ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СПЛАВЕ Ni-Ti
Жуков О.М. 90

ДИАГНОСТИКА ЗАБОЛЕВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ НАНОТЕХНОЛОГИЙ
Закриева М.С. 93

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СЛОИСТОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА 12Х18Н10Т-М1-12Х18Н10Т
Захарова П.И., Веревкин Д.А., Федяшов А.С. 94

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. МЕТОД МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ
Зюзин Д.И. 96

ИСЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ КРАХМАЛА, КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА
Игнатьева М.В. 99

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ
Безбородов Д.О., Борзов М.С., Индюхин А.Ф., Соколова А.С. 101

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ ПСЕВДО – α-СПЛАВОВ КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ПОТОКАМИ ЭНЕРГИИ
Ионина А.В. 104

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ АЛЮМОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ В ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЕ
Исаев А.Е. 107

СРАВНЕНИЕ ВЕРХНИХ ПОГЛОЩАЮЩИХ СЛОЕВ ИЗ АЛЮМИНИЯ И ОЛОВА ПРИ ЛАЗЕР-СТИМУЛИРОВАННОЙ МЕТАЛЛ-ИНДУЦИРОВАННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ КРЕМНИЯ
Карташова А.М., Волковойнова Л.Д. 108

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ РЕДОКС-ПОЛИМЕРОВ
Каратышова Т.Я., Миронюк В.Н., Хассун О.А., Глуховской Е.Г. 111

СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ CdSe МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ДЛЯ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЛОЕВ
Хассун О.А.Х., Салман О.Н.С., Каратышова Т.Я., Гавриков М.В., Миронюк В.Н., Захаревич А.М., Глуховской Е.Г. 113

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ
Ким В.С., Сажаев А.А. 115

МОДИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОДНОГО КАМЕННОУГОЛЬНОГО ПЕКА
Ковалев Р.Ю. 117

УСТАНОВКА ПО ТЕРМИЧЕСКОМУ ОКИСЛЕНИЮ ПЕКОВ
Ковалев Р.Ю. 120

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕКОВ КАК МАТЕРИАЛОВ В ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ (ТЕХНОЛОГИЯ И ПОЛУЧЕНИЕ)
Ковалев Р.Ю. 122

ВЛИЯНИЕ ИНЕРТНОГО ГАЗА НА ПОВЕРХНОСТЬ РАЗДЕЛА
И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНОЙ
ПЛАСТИНЫ Cu/Cu ПРИ СВАРКЕ ВЗРЫВОМ
Кочкалов А.Д., Ву Ван А.Н. 124

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НИОБИЯ
КАК МАТЕРИАЛА ЭНДОПРОТЕЗА ЛОКТЕВОГО СУСТАВА
Коцеруба Н.А., Власов К.А. 127

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ КАВА-ФИЛЬТРА
Кривцунова А.В. 130

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОТКЛОНЕНИЯ ИСТОЧНИКА ИОНОВ
Купцов А.Д. 134

ПРИМЕНЕНИЕ И ПРЕИМУЩЕСТВА БАКТЕРИАЛЬНОЙ
ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В МЕДИЦИНЕ И ИНЖЕНЕРИИ
Курбанова В.А. 137

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ СУПЕРГИДРОФОБНОГО ПОКРЫТИЯ
В АТМОСФЕРЕ СО 100 %-Й ВЛАЖНОСТЬЮ ВОЗДУХА
Курьято Н.А., Брыксина В.А., Дорохов А.В. 139

САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ ПОЛИМЕРЫ: НОВЫЙ УРОВЕНЬ
ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
Лысова К.А., Идрисова Д.М., Антипова И.А. 141

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ВАКУУМНОГО СТОЛА
Максимов М.Е., Самойлова Е.М. 143

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ,
ИХ СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ
Маньшина А.Т., Голан А.В., Нагоненко К.А., Передрий Р.Е. 147

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ
С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ
Маркелов Е.Е., Галкин В.И., Преображенский Е.В. 149

РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОЛЛОИДНЫХ СТРУКТУР
С ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ
Медведева О.М., Ибрагимов А.Р., Мозер К.В. 152

ОБРАЗОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ ДОРОЖЕК КАРМАНА
ПРИ ОБТЕКАНИИ ТЕЛ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ
Миндарова А.И. 155

СИНТЕЗ ТРЕХМЕРНЫХ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ
Миндарова А.И. 157

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ СЕГНЕТОАКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НА ОСНОВЕ НИОБАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ
И ФЕРРИТА ВИСМУТА: ПОЛУЧЕНИЕ, КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ
СТРУКТУРА, ОСОБЕННОСТИ ЗЁРЕННОГО ЛАНДШАФТА
Мойса М.О., Назаренко А.В., Шилкина Л.А., Дудкина С.И. 159

ВНЕДРЕНИЕ ОСТРОВКОВЫХ НАНОСТРУКТУР В ГАЗОВЫЙ СЕНСОР
Наумова А.М. 161

ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ СТРОИТЕЛЬСТВА И СНОСА ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
Амирханов М.Т. 165

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ МЕТОДОМ ПРОДАВЛИВАНИЯ
Шелухин Д.О. 168

ПОЛИМЕРНЫЕ НАНОВОЛОКНА
Мааруф И.К. 170

ЭЛЕКТРОХРОМНЫЕ СТЁКЛА
Якимов В.Е. 171

ГЕОПОЛИМЕРЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Симоненко Н.А. 174

БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ
Чуевский В.В. 176

ПОЛУЧЕНИЕ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННОЙ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТЬЮ СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИХ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Охотников А.А., Федяшов А.С., Хорин А.В. 179

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СВАРКИ ВЗРЫВОМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОСЬМИСЛОЙНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ 12Х18Н10Т – 09Г2С
Охотников А.А., Федяшов А.С., Хорин А.В. 184

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ИНДУКЦИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ
Палканов П.А., Фомин А.А. 188

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИИ КОМБИНИРОВАННОЙ МИШЕНИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОСТРОВКОВОЙ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ
Пименов И.Е. 192

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРОЙНЫХ ХЕЛАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЭССЕНЦИАЛЬНОГО МИКРОЭЛЕМЕНТА ЦИНКА, 3-ПИРИДИНКАРБОКСАМИДА И НЕЗАМЕНИМОЙ АМИНОКИСЛОТЫ – ТРИПТОФАНА
Пирогов М.А., Татов А.В., Серов А.М., Голик Д.Б., Аскерова А.С. 195

ХЕМОРЕЗИСТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКИСЛЕННЫХ ТИТАН-ВАНАДИЕВЫХ МАКСЕНОВЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР
Плугин И.А., Симоненко Н.П., Сысоев В.В. 197

ПРОФИЛИРОВАННЫЙ САПФИР – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОБОЛОЧЕК КОРОТКОДУГОВЫХ КСЕНОНОВЫХ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ
Потапенко А.О. 200

ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРЫТИЯ
ЗА СЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ
СТАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ
Прибыткова Д.А. 203

ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ПОЛИМЕРНО-ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ,
НАНЕСЕННЫХ НА ИЗДЕЛИЯ ИЗ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ
Пузаков А.В. 205

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ИЗ ОТХОДОВ ПОЛИСТИРОЛА И МОДИФИЦИРОВАННОГО
ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ
Невская В.А., Растегаев О.Ю. 208

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ХЕМОСОРБЕНТ
СЕРОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ
Черников С.Н., Растегаев О.Ю. 211

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СТАБИЛИЗАТОРА
ДЛЯ НАНОРАЗМЕРНОГО СЕЛЕНА
Рехман З.А., Блинов А.В., Пирогов М.А., Аскерова А.С. 214

ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОДИФИЦИРОВАННОГО
ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ ИОНАМИ Mn РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ
Верченов Д.А., Жуковский Л.И., Васильева А.А., Макаров А.А.,
Третьяченко Е.В., Максимова Л.А. 215

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНЫХ
ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ Ti-Al-B-N
Бондарев А.Е., Манохин С.В. 218

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ
НА ОСНОВЕ Ti-B-C
Бондарев А.Е., Манохин С.В. 221

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ
НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ ХРОМА С ЗАДАННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ
Бондарев А.Е. 223

СПОСОБНОСТЬ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРОТИВОСТОЯТЬ
КОРРОЗИИ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ
Сахарова Е.С. 226

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИНЕРАЛИЗАЦИИ
ВОЛОКОН ПОЛИКАПРОЛАКТОНА МИКРОЧАСТИЦАМИ ВАТЕРИТА
МЕТОДОМ ФАЗОВОГО АНАЛИЗА
Короневский Н.В., Великанов И.С., Сергеева Б.В.,
Андреев А.А., Гукова В.И., Рябов Е.А. 229

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОЛОКОН
ПОЛИКАПРОЛАКТОНА НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ КОМПОЗИТНОГО
МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ
Короневский Н.В., Андреев А.А., Хайрушев И.В., Гукова В.И., Сергеева Б.В. 232

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО КОНТРАСТА ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ
ВМЕШАТЕЛЬСТВЕ ПРИ ЗАМЕНЕ МЕЖПОЗВОНОЧНОГО ДИСКА
Сергеев А.Н. 235

ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ И КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НАНОРАЗМЕРНЫХ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ХИТОЗАНОМ
Серов А.М., Татов А.В., Голик Д.Б. 238

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОЙ КЛЕЕНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС
Морозов А.К. 240

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ И БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ
Мельников А.А., Матвеева А.В., Коленко И.В., Углова В.Е. 243

ПОЛУЧЕНИЕ РЕАКЦИОННО-СПЕЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ SiC
Сулим Ю.С. 245

НАНОТЕХНОЛОГИИ В ФАРМАЦЕВТИКЕ
Сумзина О.С. 248

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕЙ СПЕКАЮЩЕЙ ДОБАВКИ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ КЕРАМИКИ YAG:Ce
Супрунчук В.Е., Бедраков Д.П., Бражко Е.А. 250

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ И ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ БИОСОВМЕСТИМЫХ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ СМОЛ BIOMED
Сытник А.Э., Тимофеев М.Н. 253

МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ТИТАНА И ГИДРОКСИАПАТИТА
Таскаринова А.Т. 255

ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ НА СМОЛЕ
Терентьев О.В., Терентьев В.В. 263

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛИ Р6М5
Терновский Д.С., Гоц А.А., Кириллов Н.И. 265

ОБЗОР АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК СПОСОБ ОТРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙЙ ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ВИБРАЦИОННОГО ГИРОСКОПА
Понамарев З.А., Тимофеев М.Н. 269

РЕЗОНАНСНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ ДИСИЛИЦИДА МОЛИБДЕНА В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ
Токарев А.С., Ушакова Е.В., Волчков С.С. 273

СВЕРХКРИТИЧЕСКИЙ ФЛЮИДНЫЙ СИНТЕЗ ВСПЕНЕННЫХ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ И ИХ ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ
Ушакова Е.В., Волчков С.С. 277

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИСТАЛЛА ТИТАНАТА БАРИЯ
Фельде А.А., Сидорова С.В. 280

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ СПЛАВА НИКЕЛЬ-ВАНАДИЙ
Петрова Н.А., Фролова И.И., Соловьева Н.Д. 283

СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
Федяшов А.С., Маслова Н.Ю., Корольков А.О. 286

ПОЛУЧЕНИЕ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
Федяшов А.С., Маслова Н.Ю., Корольков А.О. 289

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НИКЕЛЬ–УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ
Трибис А.И., Тихонов Д.А., Абрамова А.Р. 291

ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ЖЕЛЕЗО-КОБАЛЬТ
Син В.В. 293

ФИЛАМЕНТЫ ДЛЯ ТРЁХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ И ИХ СВОЙСТВА
Чернуха К.О. 295

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ: АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ
Шевчук М.И. 297

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕГРАДАЦИИ ОМИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ДИСПЕРСНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ АНАТАЗА
Цыпин Д.В., Кочкуров Л.А., Волчков С.С., Зимняков Д.А. 300

ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ТВЧ НА ТВЕРДОСТЬ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СЛОИСТОЙ СТАЛЬ-ТИТАН-ОКСИДНОЙ СТРУКТУРЫ
Егоров И.С. 303

ВНЕДРЕНИЕ ОСТРОВКОВЫХ СТРУКТУР В ДАТЧИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ
Щербак Е.С. 311

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА СЛУХОВОГО АППАРАТА
Юрьев В.Ю. 314

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТУПЕНЧАТЫХ МЕДНЫХ МИШЕНЕЙ ДЛЯ ЛАЗЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
Юсупова Е.Д., Пешкичева Л.Е., Пахомов С.Н., Горнов В.Н., Вихляев Д.А. 317

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ МАЛОЙ ПЛОТНОСТИ ДЛЯ ЛАЗЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
Пешкичева Л.Е., Юсупова Е.Д., Смирнов Ю.Ю., Башкин Д.И., Юрченко О.С., Кочегарова Л.П. 320

АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ – МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЕНКИ
Кошелева М.А., Ибрагимов А.Р. 322

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ЧЕРВЯЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ
Жарков Н.С., Тимофеев М.Н. 325

ОБЗОР АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК СПОСОБА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ
Сизоров А.А., Тимофеев М.Н. 328

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО
РАСПЫЛЕНИЯ В ВАКУУМЕ
Бирюкова О.В. 333

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ
ОБРАБОТКИ МЕДИ
Тарасов В.Д., Шумилин А.И. 341

ЛИТЬЕ МЕТАЛЛА ПОД ДАВЛЕНИЕМ
Терентьев О.В., Терентьев В.В. 344

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТВЕРДОФАЗНОГО МЕТОДА СИНТЕЗА $RbAg_4I_5$
Антонова А.Д. 347

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МЕДИЦИНСКОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРИГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ
Краморев Д.В., Телегин С.В. 351

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕДИЦИНСКОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАЦИИ ЛАЗЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ ЗРЕНИЯ
Сидоров С.М., Телегин С.В. 353

ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ И КОРРОЗИОННОГО
ПОВЕДЕНИЯ ТИТАНА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
Телегин С.В., Гоц И.Ю. 357

ИМПЕДАНСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ
КОНДЕНСАТОРОВ НА ОСНОВЕ
Верхутов А.А., Завитаева Д.Д., Ступин Ю.А. 360

СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ПЛАЗМЕННЫХ ОКСИДИРОВАННЫХ НИОБИЕВЫХ ПОКРЫТИЙ
Маркелова О.А., Пичхидзе С.Я. 363

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
С КОСТНОЙ ТКАНЬЮ
Осипова Е.О., Маркелова О.А., Кошуро В.А., Фомин А.А. 365

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
ИНДУКЦИИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТА ВБЛИЗИ
МЕДНОГО КОЛЬЦА С ЗАМКНУТЫМ И РАЗОМКНУТЫМ КОНТУРОМ
Фомин Г.А., Саркисян И.О., Фомина М.А., Штейнгауэр А.Б. 368

ОПЫТ ПРОФОРИЕНТАЦИОННОЙ РАБОТЫ СРЕДИ ШКОЛЬНИКОВ
ДЛЯ ПОПУЛЯРИЗАЦИИ НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ
ИЗУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И БИОМЕДИЦИНСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ
Маркелова О.А., Фомин А.А. 373

ИТОГИ III ВСЕРОССИЙСКОЙ МОЛОДЕЖНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ
ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ»
Фомин А.А. 379

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

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

Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань

Аннотация. *В статье представлено подробное исследование механических свойств материалов, разработанных специально для использования в высокотемпературных средах, таких как авиация, ядерные реакторы и системы электроснабжения. Важное значение имеет оценка механической прочности, устойчивости к деформации при постоянном напряжении и способности этих материалов выдерживать высокие температуры в течение длительного времени.*

Ключевые слова: *высокотемпературные материалы, механические характеристики, термическая стабильность, микроструктурный анализ, высокотемпературные методы испытаний*

Оценка функциональности и надежности материалов в экстремальных температурных условиях имеет важное значение и требует проведения высокотемпературных механических испытаний. Целью этих испытаний является моделирование условий эксплуатации, которые влияют на материалы в таких областях, как авиация, производство электроэнергии и автомобилестроение. Эти условия обычно включают в себя воздействие повышенных температур и различных уровней напряжения. Обзор испытаний на растяжение показывает, что этот метод включает в себя приложение контролируемой растягивающей нагрузки к образцу вещества до тех пор, пока он не начнет разрушаться [2]. Этот процесс позволяет получить важные данные о прочности, вязкости и характеристиках деформации материала.

Испытания на растяжение при повышенных температурах представляют собой более сложную задачу из-за добавления дополнительных факторов, таких как тепловое расширение, окисление и изменение структуры материала. Экспериментальная установка обычно включает печь или систему нагрева, которая регулирует заданную температуру испытания, и машину для испытания на растяжение, которая может прикладывать и определять усилие. Обычно образцы имеют цилиндрическую или плоскую форму и требуют тщательной подготовки для обеспечения точных результатов. Эти методы позволяют нам моделировать экстремальные условия, с которыми эти материалы могут столкнуться в реальных условиях применения, и оценивать их эксплуатационные характеристики [6].

Основные результаты, полученные в результате испытаний на растяжение, включают максимальную прочность на растяжение, разрывное усилие, относительное удлинение и уменьшение площади. Изучение характеристик материала при различных температурах позволяет получить ценную информацию о его потенциальном применении в условиях высоких температур. Явление ползучести относится к деформации материалов с течением времени при воздействии постоянной нагрузки при высоких температурах. Описанное явление является важным механизмом разрушения, наблюдаемым во многих областях применения при высоких температурах, особенно когда компоненты подвергаются постоянным нагрузкам в течение длительного времени [1]. Методология испытаний, известная как испытание на ползучесть, заключается в приложе-

нии постоянной нагрузки или напряжения к образцу в течение длительного периода времени при установленной температуре. Оценка деформации или удлинения материала регистрируется в течение длительного периода времени, обычно охватывающего много часов, иногда исчисляемого тысячами. Оценка эксплуатационных характеристик материалов в условиях высоких температур имеет первостепенное значение в различных областях применения, особенно в тех, которые связаны с циклическими нагрузками, такими как лопатки турбин.

Выбор подходящих материалов для экстремальных условий эксплуатации является сложной и ответственной инженерной и материаловедческой задачей. В этом исследовании оцениваются факторы и характеристики различных материалов, таких как сплавы и композиционные материалы, работающие при повышенных температурах, керамика, огнеупорные материалы и полимерные композиционные материалы, разработанные для работы в суровых условиях. Жаропрочные сплавы, обычно включающие никель, кобальт и титан, славятся своей замечательной механической прочностью, коррозионной стойкостью и способностью сохранять стабильность в экстремальных температурных условиях.

Композиты, в состав которых входят эти металлические сплавы с керамикой или другими металлическими элементами, обладают улучшенными характеристиками, такими как меньший вес и повышенная термостойкость [4]. При температуре окружающей среды 1000° С предел текучести сплава составляет 800 МПа, и он сохраняет 90 % этой прочности при повышении температуры до 1100° С. С другой стороны, следует отметить, что сплав на основе титана демонстрирует предел текучести 900 МПа при воздействии температуры 1000° С. Однако при нагревании до более высокой температуры – 1100° С – он подвергается значительному износу, снижая прочность до 70 % от первоначальной. Представленные данные свидетельствуют о том, что титановый жаропрочный сплав демонстрирует благоприятные характеристики при значительно более низких температурах, в то время как жаропрочный сплав на основе никеля демонстрирует более высокие эксплуатационные характеристики в более сложных условиях [3].

Изучение механического поведения материалов при повышенных температурах имеет большое значение в материаловедении, особенно для использования в сложных тепловых условиях, таких как авиация, ядерные реакторы и производство электроэнергии. В этом исследовании рассматриваются сложные компоненты деформации при повышенных температурах, включая пластичность, анализ напряжений текучести, эволюцию микроструктуры и механизмы ползучести. Явление, широко известное как ползучесть, которое связано с зависящей от времени деформацией материалов при повышенных температурах и напряжениях, является неотъемлемой частью долговечности и надежности компонентов, используемых в условиях высоких температур.

Исследование показало различия в ползучести между суперсплавами, керамикой и полимерными материалами. Лучше всего подходят жаропрочные сплавы на основе никеля, а нитрид кремния лучше реагирует на ползучесть из-за скольжения по границам зерен [5].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Awasthi A., Saxena K.K., Arun V. Sustainable and smart metal forming manufacturing process. Materials Today: Proceedings, 2021, No. 44, pp. 2069-2079.

2. Ayed Y., Germain G., Ammar A., Fourth B. Thermo-mechanical characterization of the Ti17 titanium alloy under extreme loading conditions. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, No. 90, pp. 1593-1603.

3. Fang D., Li W., Cheng T., Qu Z., Chen Y., Wang R., Ai S. Review on mechanics of ultra-high-temperature materials. Acta Mechanica Sinica, 2021, No. 37, pp. 1347-1370.

4. Kumari C.U., Murthy A.S.D., Prasanna B.L., Reddy M.P.P., Panigrahi A.K. An automated detection of heart arrhythmias using machine learning technique: SVM. Materials Today: Proceedings, 2021, No. 45, pp. 1393-1398.

5. Schreiber D.K., Schwaiger R., Heilmaier M., McCormack S.J. Materials properties characterization in the most extreme environments. MRS Bulletin, 2022, No. 47, pp. 1128-1142.

6. Zoli L., Vinci A., Galizia P., Melandri C., Sciti D. On the thermal shock resistance and mechanical properties of novel unidirectional UHTCMCs for extreme environments. Scientific Reports, 2018, No. 8, pp. 9148.

ЭЛАСТОМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Антипова И.А., Идрисова Д.М., Лысова К.А.
Научный руководитель: д.х.н., доцент Бузаева М.В.

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

Аннотация. *В статье проведён обзор литературных данных о композиционных материалах с эластомерной матрицей, влиянии наполнителей на свойства эластомеров.*

Ключевые слова: *эластомеры, композиционные материалы, наполнители*

Эластомеры – это полимеры, способные в широком диапазоне температур к большим обратимым деформациям. К эластомерам относятся каучуки, резиновые смеси и термоэластопласты, состоящие из двух различных типов сегментов.

Использование наполнителя в полимерной матрице позволяет создавать материалы с увеличенным модулем упругости и пределом прочности при растяжении, улучшенной ударной стойкостью, меньшей ползучестью и тепловым расширением материала.

Добавление наполнителя в полимерную матрицу позволяет получать материалы с управляемыми характеристиками: увеличенным модулем упругости и пределом прочности при растяжении или твёрдостью, ударной стойкостью, уменьшенной ползучестью и тепловым расширением материала.

Вместе с тем, наполнитель приводит к образованию технологических дефектов в материале, таких как поры и трещины, образующиеся вследствие концентрации напряжений на границе матрица – наполнитель.

Композиционные материалы на основе эластомеров сочетают гибкость, долговечность и улучшенные механические качества. Благодаря способности этих материалов эффективно удовлетворять уникальные требования они находят применение в таких областях, как автомобилестроение, авиастроение, медицина, спорт.

Композиционный материал, состоящий из смеси синтетического изопренового каучука с бутадиен-метилстиролом и наполненный техническим углеродом и регенератом, обладает повышенной прочностью, вязкостью и твердостью. Эластомер адсорбируется на поверхности наполнителя, между ними образуются прочные связи, благодаря чему происходит улучшение механических свойств.

В случаях, когда применение углерода неэффективно или нежелательно, вместо него вводят минеральные наполнители. Они изменяют физические и технологические

свойства, зато многие из них снижают стоимость смеси. Активный наполнитель диоксид кремния усиливает силоксановые каучуки, при этом повышая их морозостойкость, теплостойкость и диэлектрические характеристики. Наполненные кварцем эластомеры применяются в строительной отрасли.

Введение магнетитов в качестве функциональных наполнителей в эластомер повышает его диэлектрическую и магнитную проницаемость, модуль упругости при растяжении, твердость и прочность. Последняя увеличивается до определённого максимума содержания наполнителя, зависящего от размера и удельной поверхности диспергируемой фазы. Композиционные материалы на основе синтетического изопренового каучука и магнетита могут применяться в качестве демпферов и виброшумозащиты. Композиционные материалы на основе бутадиен-стирольного каучука и магнетита могут найти применение в качестве экранов и поглотителей ЭМИ, антистатиков [1].

Создаются умные магнитоструктурированные композиционные материалы, изменяющие механические, вязкоупругие и электрофизические свойства в присутствии электромагнитного излучения. Материалы могут применятся для экранирования излучений радиоэлектронной аппаратуры. В работе [2] описано получение материалов с матрицами из синтетического хлорпренового каучука и полидиметилсилоксана и магнитными наполнителями.

Низкосшитые жидкокристаллические эластомеры являются программируемыми материалами, реагирующими на раздражители: свет, изменение температуры, электрический заряд. Фоточувствительность в основном реализуется по фотохимическому или фототермическому механизмам. В матрицу вводят фототермические материалы, которые поглощают излучение определенной длины волны, преобразовывают энергию фотонов в тепловую энергию и передают ее эластомеру. В качестве фототермических материалов вводят материалы на основе углерода, металлические наноматериалы и органические красители.

Введение некоторых видов наполнителей также улучшает механические свойства, но наночастицы углерода и благородных металлов обладают склонностью к агломерации, что затрудняет равномерное диспергирование наполнителей. Фототермические жидкокристаллические эластомеры могут применяться в оптических приборах, робототехнике, осцилляторах, протезах [3].

Введение в эластомерную матрицу наполнителей позволяет получать материалы с заданным комплексом свойств. Их недостатком является высокая стоимость, низкое сопротивление эластомеров тепловому старению и термоокислительной деструкции. Эластомерные композиционные материалы востребованы для робототехники, бионического протезирования, автомобилестроения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хачатуров А.А. Функциональные эластомерные композиционные материалы на основе бутадиен-стирольного каучука и магнетита / А.А. Хачатуров, А.С. Фионов, В.В. Колесов, Е.Э. Потапов, Е.М. Ильин // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2019. – № 2. – С. 189-198.

2. Магнитноструктурированные композиционные материалы на основе эластомерных матриц с различными вязкоупругими свойствами / А.А. Хачатуров, А.С. Фионов, В.В. Колесов [и др.] // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2022. – Т. 14, № 4. – С. 415-426. – DOI 10.17725/rensit.2022.14.415.

3. Zhang W, Nan Y, Wu Z, Shen Y, Luo D. Photothermal-Driven Liquid Crystal Elastomers: Materials, Alignment and Applications. Molecules. 2022; 27(14):4330. https://doi.org/10.3390/molecules27144330.

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ТИТАНАТА БАРИЯ-КАЛИЯ

Асмолова А.А.
Научный руководитель: д.х.н., профессор Гороховский А.В.,
к.х.н., доцент Третьяченко Е.В.

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

Аннотация. *В статье исследованы электрофизические свойства керамики на основе титаната бария-калия, полученной при различных температурах.*

Ключевые слова: *керамика, спекание, диэлектрические характеристики, титанат бария, титанат бария-калия*

Керамика на основе титаната бария обладает высокими электрофизическими характеристиками, которые позволяют использовать ее в качестве компонента различных электронных устройств [1]: многослойных керамических конденсаторов, терморезисторов, датчиков.

Керамика со структурой титаната бария, содержащая калий, была получена из порошка титаната бария-калия (методика изложена в предыдущей работе [2]) и органического связующего (поливинилбутираль, 5 %-й раствор в бутаноле) путем спекания при следующих температурах: 800° С, 900° С, 1000° С, 1050° С и 1100° С.

При этом таблетки, спеченные при 800° С и 900° С, имели неспеченную нецелостную структуру с большим содержанием пор. Таблетки, спеченные при более высоких температурах (1000° С, 1050° С и 1100° С), с диаметром 10,8 ± 0,1 мм, были выбраны для исследования диэлектрических характеристик.

При этом, т. к. шлифование поверхности таблетки включает смачивание водой, готовая спеченная керамика не должна быть растворима в воде. Однако, несмотря на монолитную структуру, образец, спеченный при 1000° С, деформировался под воздействием воды и не мог быть исследован.

Такой эффект может быть объяснен нахождением большого количества калия на поверхности керамики, т. к. большинство соединений калия являются легкорастворимыми. Высокое содержание калия в приповерхностном слое керамики подтверждается элементным составом (табл. 1), исследованным методом рентгенофлуоресцентного анализа.

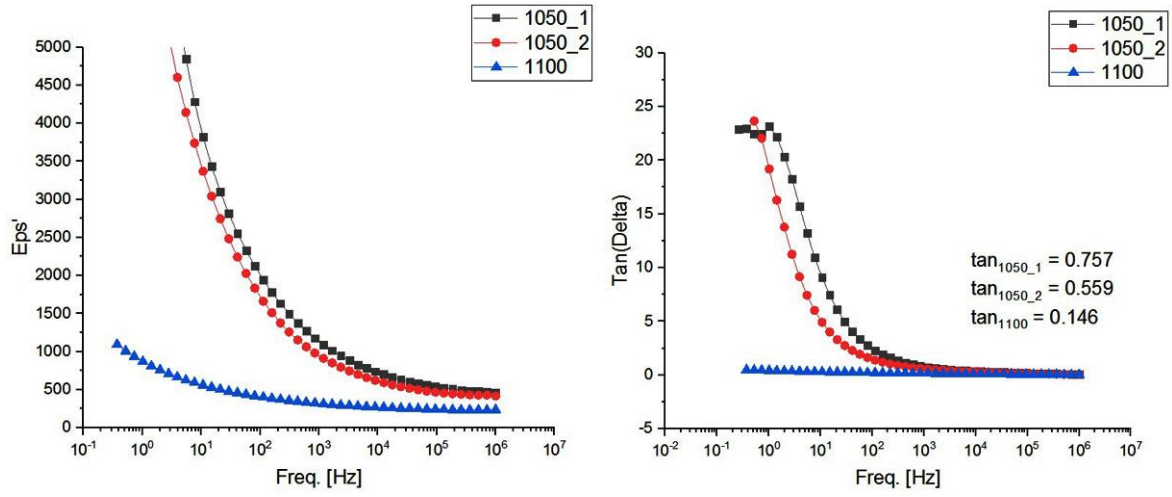
Таблица 1

Результаты элементного анализа керамики
на основе титаната бария-калия, полученной при различных температурах

Температура, °С	K_2O, ат. %	BaO, ат. %	TiO_2, ат. %
800	55,29	28,02	16,69
900	43,33	34,59	22,08
1000	22,75	44,76	32,49
1050	4,63	55,27	40,1
1100	5,56	54,3	40,14

Измерение электрофизических характеристик керамических образцов было проведено с использованием импедансметра Novocontrol Alpha – AN в диапазоне частот 10^{-2} Гц – 10^{6} Гц (амплитуда измерительного сигнала 50 мВ).

На рис. 1 представлены частотные зависимости основных диэлектрических характеристик керамики на основе титаната бария-калия: диэлектрическая проницаемость и тангенс диэлектрических потерь.



а б

Рис. 1. Частотные зависимости диэлектрических характеристик для образцов керамики на основе титаната бария-калия, полученных при различных температурах
а – диэлектрическая проницаемость; б – тангенс диэлектрических потерь

Полученные зависимости указывают на нетипичный для систем на основе титаната бария характер зависимости, при этом на частоте f = 10^3 Гц, которая является рабочей частотой для многослойных керамических конденсаторов на основе титаната бария, значения диэлектрической проницаемости низки: порядка 350 для керамики полученной при температуре спекания 1100° С и порядка 1000 при температуре спекания 1050° С против порядка 2000 для традиционного титаната бария [3].

Значения тангенса диэлектрических потерь для той же частоты, достаточно высоки и составляют порядка 0,5 для керамики, полученной при температуре спекания 1000° С и 1050° С, и порядка 0,1 при температуре спекания 1100° С. При этом необходимое значение тангенса диэлектрических потерь для многослойных конденсаторов типа X7R регламентировано не выше 0,05.

При этом вид кривой зависимости электрофизических свойств изменяется и с повышением температуры приближается к прямой, характерной для традиционного титаната бария. Таким образом, были исследованы электрофизические характеристики керамики на основе титаната бария-калия, полученной при различных температурах. Самый успешный результат был получен для керамики, спеченной при 1100° С. Дальнейшие работы авторов будут направлены на исследование влияния различных допирующих добавок на свойства керамики на основе титаната бария-калия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бородина В.В. Влияние механических напряжений на доменную структуру монокристаллов многоосных сегнетоэлектриков (на примере титаната бария) / В.В. Бородина, С.О. Крамаров // Российский технологический журнал. – 2020. – Т. 8. – № 4. – С. 66-78.

2. Синтез и исследование титаната бария на основе смесей полититаната калия и нитрата бария / А.А. Асмолова, Е.В. Третьяченко, В.Г. Гоффман, А.В. Гороховский //

Химические проблемы современности 2022: Сборник материалов VI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Донецк, 17-19 мая 2022 года / Редколлегия: А.В. Белый (отв. ред.) [и др.]. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2022. – С. 267-269.

3. Popielarz R. Polymer composites with the dielectric constant comparable to that of barium titanate ceramics / R. Popielarz, C.K. Chiang // Materials Science and Engineering: B. – 2007. – V. 139. – № 1. – P. 48-54.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ РАСПЛАВА МЕТАЛЛА

Казинский А.А., Бабакаев Д.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Казинский А.А.

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

Аннотация. *В статье проведено исследование по установлению физических параметров воздействия ультразвуковых колебаний на расплав металла. Исследование физических характеристик среды, через которую передается ультразвук, проведено с использованием программного обеспечения Comsol Multiphysics. Проведен анализ собственного резонанса системы, выявлены резонансные частоты и выбрана оптимальная частота для дальнейших расчетов. Основная цель исследования заключается в установлении глубины проникновения звукового давления ультразвуковой волны и расчете формы поверхности кристаллизующегося металла.*

Ключевые слова: *ультразвук, ультразвуковая обработка, наплавка, формообразование*

Одним из перспективных направлений в современном машиностроении является аддитивное производство. Аддитивное производство охватывает различные процессы, связанные с увеличением объема изделий [1, 2]. Это включает в себя не только 3D-печать, но и другие методы, такие как сварка и наплавка материалов. Мы исследуем бесконтактное формообразование поверхности кристаллизующегося металла при наплавке с использованием ультразвука, включая механизмы воздействия и зависимость от различных факторов. Данные исследования имеют особое значения в области управления технологическими процессами.

Физические характеристики среды, через которую передается ультразвук:

Таблица 1

Свойства вред воздух – расплавленный металл

Среда	Плотность, ρ	Скорость звука, c	Акустический импеданс, Z
Воздух	1,223 кг/м^3	343 м/с	420 Па·с/м
Жидкость (расплав стали)	6500-6800 кг/м^3	5000 м/с	3,4·10^6 кг/м^2·с (Па·с/м)

Свойства материалов исследования:

1) Активная накладка. Материал – Титан ВТ3-1;
2) Волновод (концентратор). Материал – Титан ВТ3-1;
3) Пассивная накладка. Материал – Сталь 45 ГОСТ 1050-2013;

4) Накладка. Материал – Медь (электротехническая).

5) Втулка. Материал – Фторопласт Ф4, плотность – 2,2 г/см^3, коэффициент Пуассона – 0,45, модуль Юнга (модуль упругости) – 7000 кгс/см^2 = 0,68 ГПа.

6) Пьезоэлемент. Материал – керамика PZT-4 (ЦТС-19), плотность – 7,7 г/см^3, коэффициент Пуассона – 0,38, модуль Юнга – 3,845·10^{10} (продольный).

Исследование было выполнено с использованием программного обеспечения Comsol Multiphysics версии 6.2.

Конструкция собранного ультразвукового излучателя представлена на рис. 1 (прототип реального излучателя).

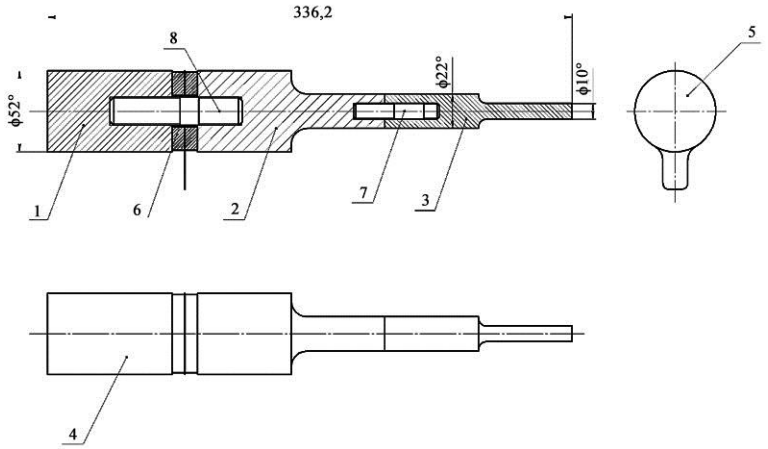


Рис. 1. Сборка ультразвукового излучателя: 1) пассивная накладка; 2) активная накладка; 3) концентратор; 4) пьезоэлемент; 5) накладка; 6) втулка; 7) шпилька М10×1; 8) шпилька М18×1,5

Собственный резонанс системы:

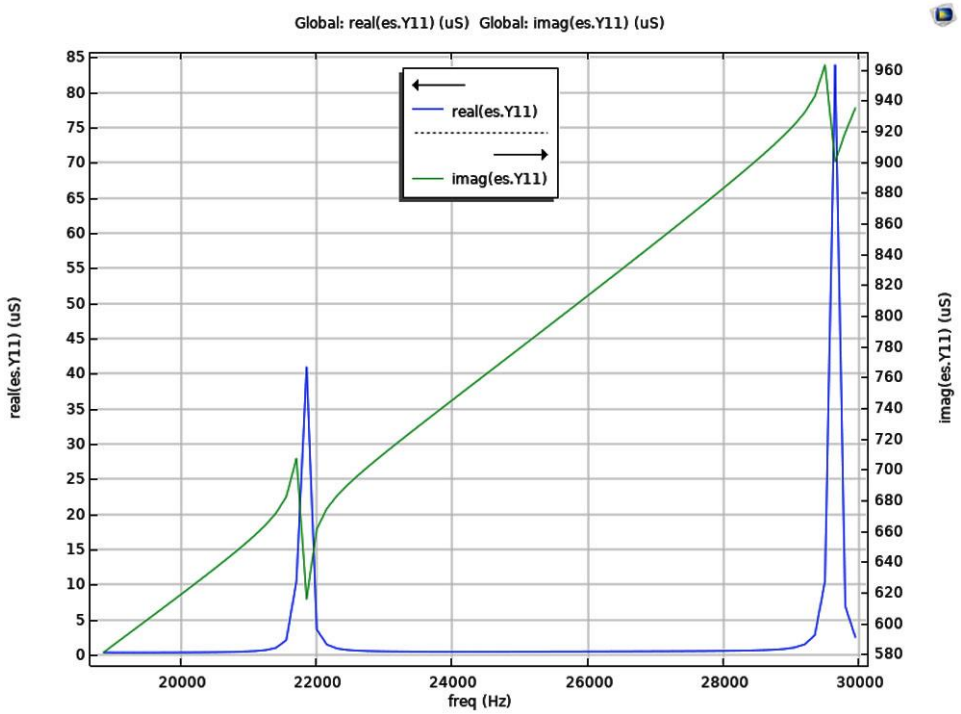


Рис. 2. Частотные резонансы системы

Из графиков видно, что система имеет два резонанса в диапазоне от 18 до 30 кГц, на частотах f_1 = 21850 Гц и f_2 = 29650 Гц. Частота f_1 = 21850 Гц близка к реально полученным данным в работе [3]. Дальнейшие расчеты приведем для данной частоты.

Основная цель моделирования – установление глубины проникновения звукового давления ультразвуковой волны и расчет получаемой конфигурации кристаллизующегося металла (формообразование поверхности). Распределение акустического давления при dh = 0,5; 2; 6 мм, представлены на рис. 3-4:

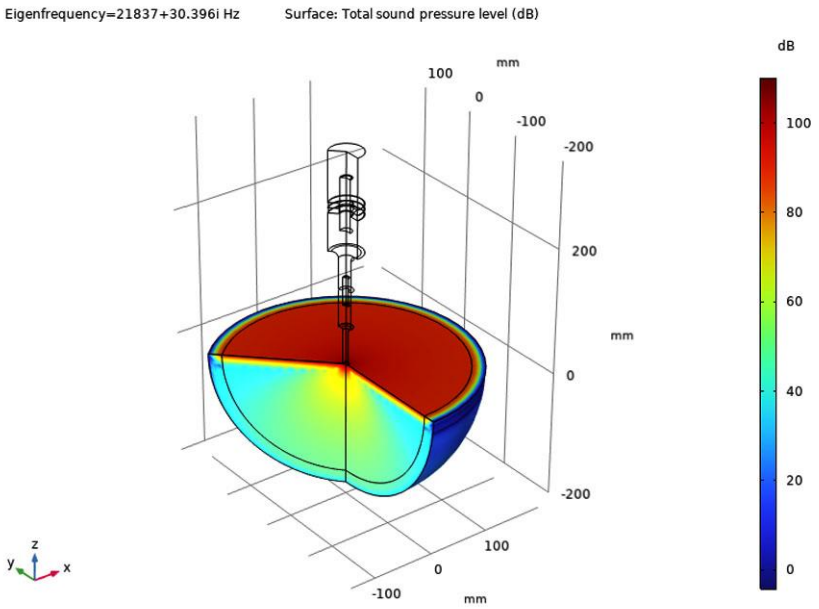


Рис. 3. Общий вид распределения ультразвуковой волны
на поверхность расплава металла

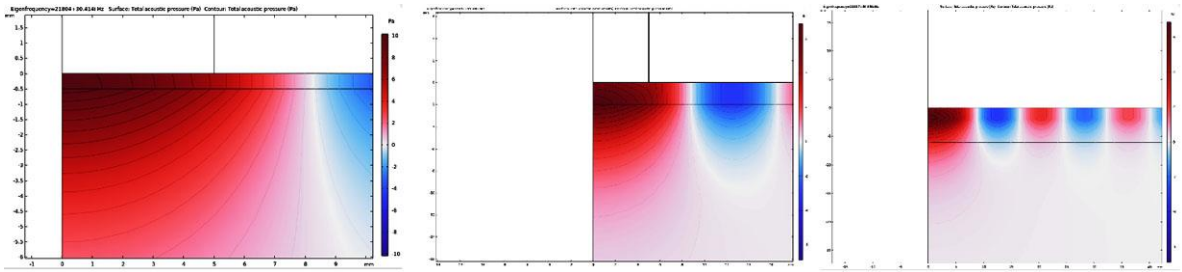


Рис. 4. Уровневое распределение давления при dh = 0,5; 2; 6

Результаты расчетов УЗК модели при резонансной частоте 21850 Гц:

Таблица 2

Результаты расчетов

dH, мм	$F_{пн}$, *Н*	P_1 >, *Па*	F_i, *Н*	$K_{см}$, %	$h_{мн}$, мм	$h_{действ}$, мм	$\sum_n^1 h_{действ}$	S, мм^2
0,5	0,079	≈ 0,7	F_{10-8} = 1,017	> 100	≈ 1,25	1,25	≈ 7,61	≈ 281
			F_{8-6} = 0,791	> 100	≈ 1	1		
			F_{6-4} = 0,565	> 100	≈ 1,75	1,75		
			F_{4-2} = 0,339	> 100	≈ 2,75	2,75		
			$F_{2-0,7}$ = 0,113	43	≈ 2	0,86		

Окончание таблицы 2

dH, мм	$F_{пн}$, *Н*	P_1 >, *Па*	F_i, *Н*	$K_{см}$, %	$h_{мн}$, мм	$h_{действ}$, мм	$\sum_{n}^{1} h_{действ}$	S, мм^2
2	0,067	≈ 0,61	F_{7-6} = 0,735	> 100	≈ 0,3	0,3	≈ 7,1	≈ 267
			F_{6-4} = 0,555	> 100	≈ 2,1	2,1		
			F_{4-2} = 0,331	> 100	≈ 2,3	2,3		
			$F_{2-0,67}$ = 0,147	68	≈ 4	2,4		
6	0,062	≈ 0,7	F_{4-2} = 0,235	> 100	≈ 1,5	1,5	≈ 1,885	≈ 59
			$F_{2-0,7}$ = 0,078	11	≈ 3,5	0,385		

Полученные результаты показывают зависимость глубины *h* звукового давления на поверхность расплава и площади получаемой поверхности *S* от расстояния до излучающей поверхности *dh.*

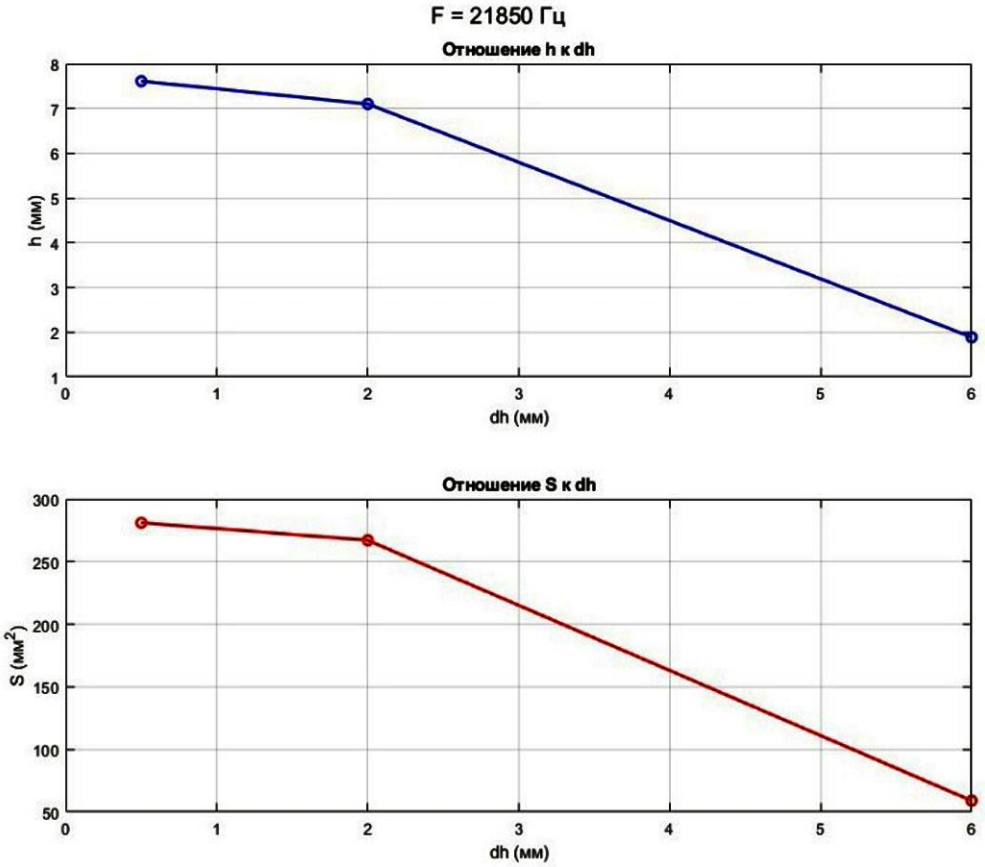


Рис. 5. Отношение *h* и *S* к *dh* при частоте 21850 Гц

По характеру изменения величин можно сделать вывод, что с увеличением расстояния до излучающей поверхности будет соответственно уменьшаться глубина и площадь получаемой поверхности. По полученным данным можно прогнозировать профиль наплавляемой поверхности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Смуров И.О., Конов С.Г., Котобан Д.В. О внедрении аддитивных технологий и производства в отечественную промышленность // Новости материаловедения. Наука и техника. 2015. № 2. С. 22-25.

2. Кондрашин А.А. Аддитивные технологии для формирования объемных металлических структур / А.А. Кондрашин, А.Н. Лямин, В.В. Слепцов // Нанотехнологии: разработка, применение – XXI век. – 2019. – Т. 11, № 4. – С. 5-12. – DOI 10.18127/ j22250980-201904-01.

3. Казинский А.А. Влияние материала концентратора ультразвуковых колебаний на величину амплитуды механических колебаний / А.А. Казинский, Д.В. Бабакаев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2022. – № 4 (64). – С. 17-24. – DOI 10.21685/2072-3059-2022-4-2.

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДЛЯ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Бадеев В.А.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Мурашкина Т.И.

Пензенский государственный университет, г. Пенза

Аннотация. *В статье предложена модернизированная конструкция волоконно-оптического датчика для измерения коэффициентов преломления жидкостей, используемого для мониторинга качества жидкостей в системах жизнеобеспечения космонавтов или пациентов в медицинских учреждениях.*

Ключевые слова: *волоконно-оптический датчик, система жизнеобеспечения, модернизация, конструкция, качество жидкости*

Среди основных функций систем жизнеобеспечения космонавтов и пациентов в медицинских учреждениях является подача и удаление разного рода жидкостей [1].

Автором (в соавторстве) разработан рефрактометрический волоконно-оптический датчик, у которого габаритные размеры в 2…3 раза меньше габаритных размеров аналогов [2]. Стоит задача адаптации его конструкции к системам жизнеобеспечения, в частности необходимо емкость, через которую протекает жидкость, расположить в корпусе датчика так, чтобы оптическая система не находилась в контакте с окружающей средой (рис. 1).

Для этого емкость для жидкости выполнена в виде капилляра 8, длина которого превышает диаметр корпуса 1. За пределы корпуса капилляр выходит с помощью втулок 3, которые с помощью резьбы крепятся в боковой поверхности корпуса. Для герметизации втулки дополнительно ставятся на клей. Для герметизации внутреннего пространства датчика корпус закрывается крышкой 2, закрепляется винтами 17 и сваркой.

Для соединения датчика с трубопроводом системы жизнеобеспечения используются две Г-образные трубки, которые с помощью накидных гаек 4 и фланцев 7 соединяются с капилляром. Для надежности эти трубки необходимо изготовить из нержавеющей стали, например 12Х18Н10Т. По трубкам жидкость из основного трубопровода подается в капилляр, относительно боковых поверхностей которого расположены подводящие и отводящие оптические волокна. Световой поток проходит через капилляр с жидкостью, коэффициент преломления которой определяется, преломляется в средах, по которым он проходит, по закону Снеллиуса. Эти изменения регистрируются системой обработки измерительной информации. Дальнейшие преобразования происходят так, как описано в работе [2].

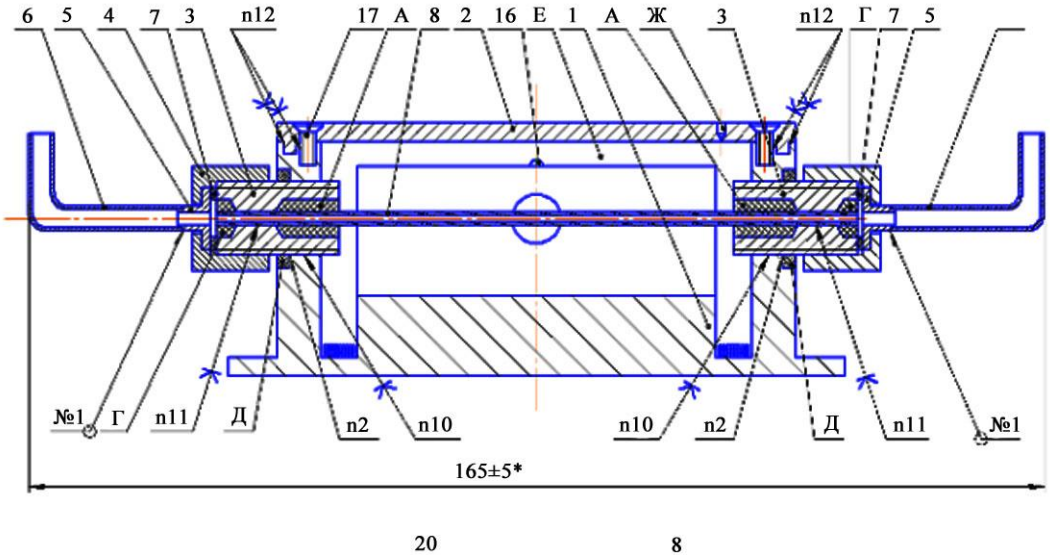


Рис. 1. Модернизированная конструкция волоконно-оптического датчика для измерения коэффициентов преломления жидкостей:
1 – корпус, 2 – крышка, 3, 9, 11 – втулки, 4 – гайка, 5 – фланец, 6 – трубка, 7 – прокладка, 8 – капилляр, 10 – обойма, 12, 13, 14, 15 – наконечники, 16, 17 – винты

Заключение

Предлагаемая модернизированная конструкция волоконно-оптического датчика для измерения коэффициентов преломления жидкостей позволит автоматизировать и повысить точность процедуры мониторинга качества жидкостей в системах жизнеобеспечения, при этом система будет более безопасной для пациентов, так как исключается электромагнитное воздействие на тело человека.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-10017 https://rscf.ru/project/23-29-10017/.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Серебряков В.Н. Основы проектирования систем жизнеобеспечения экипажа космических летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1983. 163 с.

2. Патент на изобретение РФ 2796797 С2, Волоконно-оптический способ определения коэффициента преломления прозрачного вещества и реализующий его волоконно-оптический рефрактометрический измерительный преобразователь / Бадеева Е.А., Бадеев В.А., Мурашкина Т.И., и др. Опубл. 29.05.2023 Бюл. № 14.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ ЛЬДА В СТРУКТУРАХ por-Si – H_2O

Бардушкин А.В.
Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор Яковлев В.Б.

Институт нанотехнологий микроэлектроники РАН, г. Москва.

Аннотация. *Решена задача моделирования температуры плавления льда в мезопористых структурах на основе кремния с адсорбированной водой (por-Si – H_2O), за-*

мерзшей в условиях конфайнмента, с учетом слоя SiO_2 на поверхности пор. Результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Ключевые слова: *мезопористые структуры, температура плавления*

Изучение термодинамических свойств жидкостей в условиях пространственного ограничения (конфайнмента) приобретает особую значимость ввиду широкого использования наноструктурированных материалов (мезопористый кремний (por-Si), анодные оксиды титана и др.) для совершенствования технологий производства металл-ионных батарей и суперконденсаторов нового поколения [1].

В работе решается задача моделирования температуры плавления льда в por-Si с адсорбированной водой, замерзшей в условиях конфайнмента. Аналогичная задача рассматривалась в работе [2], однако в ней не учитывалось наличие слоя SiO_2 на поверхностях пор. Данный материал можно рассматривать как матричную структуру, состоящую из Si-матрицы и оксидных слоев SiO_2 на поверхностях сквозных пор.

Рассматриваемые материалы представляют собой кремниевые мембраны толщиной ~ 80 мкм со сквозными порами, заполненными водой. Поры имеют форму, близкую к цилиндрической с аспектным соотношением порядка 4000, пористость составляет 45±5 %, а средний радиус пор – 2,5 нм [2], толщина оксидного слоя на поверхности кремния – 1-2 нм. Понижение температуры до 233 К приводило к замерзанию несвязанной воды в образцах, исследования проводились в окрестности температуры плавления льда (~ 255 К) [3].

В условиях конфайнмента температура плавления T_m включений льда, может быть описана уравнением [4]:

$$\frac{T_m - T_{m,\infty}}{T_{m,\infty}} = \frac{1}{\Delta H_{m,\infty}}\left(\Delta E + \frac{2(\sigma_L - \sigma_S)}{r}\right),$$

где $T_{m,\infty}$ – температура плавления льда в объемном состоянии; $\Delta H_{m,\infty}$ – теплота плавления; σ_L, σ_S – поверхностные энергии воды и льда; r – радиус поры; ΔE – значение объемной плотности энергии деформации, которая возникает при изменении температуры и обусловлена различием значений термических коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) компонентов структуры. На величину ΔE также влияет состав и структура por-Si – H_2O.

Найдем связь ΔE с изменением температуры ΔT и ТКЛР компонентов por-Si – H_2O. Локальные значения напряжений имеют вид (r – радиус-вектор): $\sigma_{ij}(r) = c_{ijkl}(r)\alpha_{kl}(r)\Delta T$, где $c_{ijkl}(r)$ – компоненты тензора модулей упругости, а ТКЛР $\sigma_{kl}(r) = \alpha(r)\delta_{kl}$ (δ_{kl} – символ Кронекера). Связь между локальными и средними напряжениями в неоднородном материале осуществляется с помощью уравнения $\sigma_{ij}(r) = K^{\sigma}_{ijkl}(r)\langle\sigma_{kl}(r)\rangle$, где угловые скобки определяют процедуру усреднения, $K^{\sigma}(r)$ называется оператором концентрации напряжений [5]. Тогда среднее напряжение, вызванное термическим расширением, определяется соотношением $\langle\sigma_{ij}(r)\rangle = \left(\sum_s v_s \left(K^{\sigma}_s\right)^{-1}_{ijkl} c_s \alpha_s\right)\Delta T\delta_{kl}$.

Локальная упругая энергия $E(\mathbf{r})$, с учетом обобщенного закона Гука $(\varepsilon_{ij}(r) = s_{ijkl}(r)\sigma_{kl}(r))$, определяется выражением [5]:

$$E(r) = \frac{1}{2}\varepsilon_{ij}(r)\sigma_{ij}(r) = \frac{1}{2}s_{ijkl}(r)K^{\sigma}_{klmn}(r)\langle\sigma_{mn}(r)\rangle K^{\sigma}_{ijpq}(r)\langle\sigma_{pq}(r)\rangle.$$

Отсюда ΔE определяется как $\Delta E = \sum_s v_s E_s$, где $E_s = E(r)$ при r, принадлежащему включению *s*-го типа (лед или кремний), а v_s – объемная доля *s*-го компонента этого материала.

Для определения $K^{\sigma}(r)$ необходимо решать уравнения равновесия упругой неоднородной среды. Однако в общем случае получить соотношение для численных расчетов не удается. Поэтому для его вычисления используются различные приближения. В рамках обобщенного сингулярного приближения теории случайных полей этот оператор имеет вид [5]:

$$K^{\sigma}(r) = c(r)(I - g(r)c''(r))^{-1}\left\langle c(r)(I - g)c''(r)^{-1}\right\rangle^{-1},$$

где I – единичный тензор четвертого ранга; $c(r)$ – тензор модулей упругости, двойным штрихом определяется разность между текущими величинами и параметрами матрицы, тензор g – интеграл от сингулярной составляющей второй производной тензора Грина уравнений равновесия.

Представленный подход можно использовать для моделирования ΔE в por-Si – H_2O. Учет оксидного слоя на поверхности пор усложняет модель и приводит к двухэтапным вычислениям. На первом этапе осуществляется вычисление эффективных упругих характеристик двухкомпонентного волокнистого композита (волокна льда в матрице SiO_2). На втором – моделирование ΔE в двухкомпонентном композите с кремниевой матрицей и ориентированными волокнами (см. [2]) с эффективными модулями упругости, вычисленными на первом этапе.

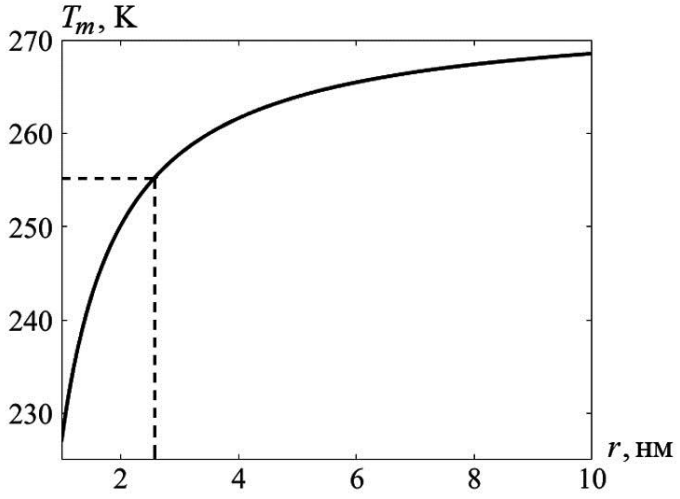


Рис. 1. Зависимость температуры плавления T_m льда в структурах por-Si – H_2O от среднего радиуса *r* частицы H_2O при $h/r = 0,3$ и объемной доле льда, равной 0,45

Эффективные упругие характеристики определяются тензором модулей упругости c^*, связывающим средние значения напряжений $\langle\sigma_{ij}(r)\rangle$ и деформаций $\langle\varepsilon_{kl}(r)\rangle$ в неоднородном материале: $\langle\sigma_{ij}(r)\rangle = c^*_{ijkl}\langle\varepsilon_{kl}(r)\rangle$. Формула для вычисления c^* имеет следующий вид [5]:

$$c^* = \left\langle c(r)(I - gc''(r))^{-1}\right\rangle\left\langle I - gc''(r)^{-1}\right\rangle^{-1}.$$

Здесь приняты те же обозначения, что и в формуле для $K^{\sigma}(r)$. Объемная концентрация $v_{в}$ SiO_2 может быть выражена через толщину *h* его слоя и радиус *r* волокон льда следующим образом: $v_{в} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}(1+h/r)^2}$.

Зависимость температуры плавления T_m от радиуса частицы H_2O представлена на рис. 1. При $r = 2{,}5$ нм расчетное значение температуры плавления льда равно 255,4 К, что удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Fang G., Zhou J., Pan A., Liang S. Recent advances in aqueous zinc-ion batteries // ACS Energy Letters. 2018. Vol. 3. № 10. P. 2480-2501. DOI: 10.1021/acsenergylett.8b01426.

2. Bardushkin V., Kochetygov A., Shilyaeva Y., Volovlikova O., Dronov A., Gavrilov S. Peculiarities of low-temperature behavior of liquids confined in nanostructured silicon-based material // Nanomaterials. 2020. Vol. 10. Iss. 11 (2151). DOI: 10.3390/nano10112151.

3. Shilyaeva Y., Volovlikova O., Poyarkov K., Yuditskaya S., Gavrilov S. Characterization of mesoporous silicon using DSC thermoporometry // International Journal of Nanoscience. 2019. Vol. 18. № 3&4 (1940073). DOI: 10.1142/S0219581X19990011.

4. Shi Z., Wynblatt P., Srinivasan S.G. Melting behavior of nanosized lead particles embedded in an aluminum matrix // Acta Materialia. 2004. Vol. 52. Iss. 8. P. 2305-2316. DOI: 10.1016/j.actamat.2004.01.021.

5. Колесников В.И., Бардушкин В.В., Яковлев В.Б., Сычев А.П., Колесников И.В. Микромеханика поликристаллов и композитов (напряженно-деформированное состояние и разрушение). – Ростов-на-Дону, 2012. – 288 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОБИВНОГО ПУАНСОНА ИЗ СТАЛИ 20Х23Н18 ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Белоусов Н.А., Кириллов Н.И., Гоц А.А.
Научный руководитель: к.х.н., доцент Гоц И.Ю.

Саратовский государственный технический универсиет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

Аннотация. *В статье описано исследование изменения твердости и коэффициента трения высоколегированной стали при термической и химико-термической обработке.*

Ключевые слова: *термическая обработка, закалка, химико-термическая обработка, борирование, электролиз*

Основными методами повышения физико-механических свойств сталей являются две группы обработки: термическая обработка (ТО) и химико-термическая (ХТО). В первом случае процесс повышения физико-механических свойств происходит за счет изменения строения зерен металла под действием температур, при этом химический состав не меняется. Так при закалке изделие подвергают воздействию высоких температур для перестройки существующих и создании новых фаз, а последующее быстрое охла-

ждение позволяет сохранить эту структуру почти без изменения, если же остужать сталь медленно это приведет к росту зерен и, как следствие, вместо повышения твердости мы получим обратный эффект. Химико-термическая обработка в свою очередь имеет иной механизм. Во время проведения ХТО под воздействием температуры в поверхность изделия начинает внедряться легирующий элемент, который образует связи и соединения с основным металлом, что, в свою очередь, приводит к изменению свойств и химического состава поверхностных и приповерхностных слоев металла, при этом сердцевина остается неизменной, благодаря чему сохраняется вязкость [1]. Помимо изменения физико-механических свойств ХТО позволяет улучшить и ряд других качеств в зависимости от легирующего элемента и его концентрации.

Цель работы: проведение расчетов НДС в программе КОМПАС-3D V20 «система прочностного анализа АРМ FEM», имитируя нагрузку в условиях работы пробивного пуансона из стали 20Х23Н18 без и с ТО и ХТО.

В качестве модели для исследования выбран пробивной пуансон, для которого сделан чертеж и 3D-модель, рис. 1. На рабочую часть изделия воздействовали нагрузкой 35000 Н. Расчеты коэффициента запаса производились по текучести (SVM), прочности (SVM) и по усталостной прочности, результаты показаны на рис. 2.

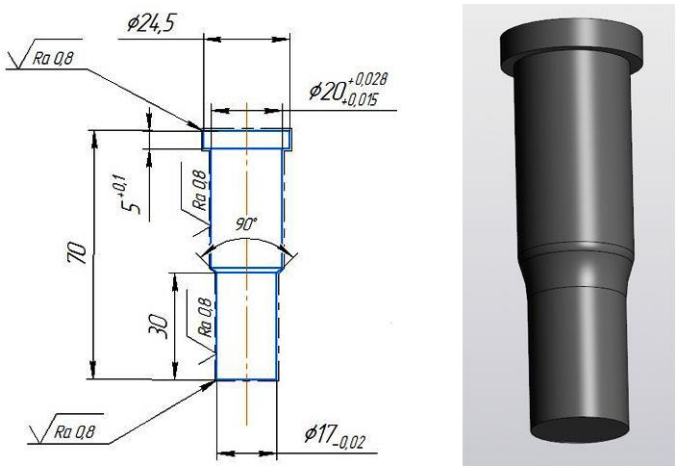
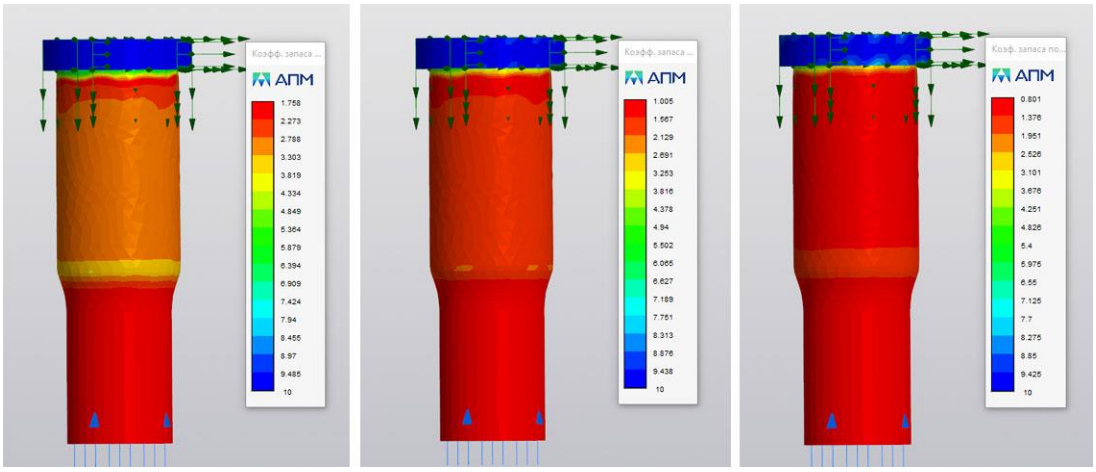


Рис. 1. Чертеж и 3D-модель пунсона

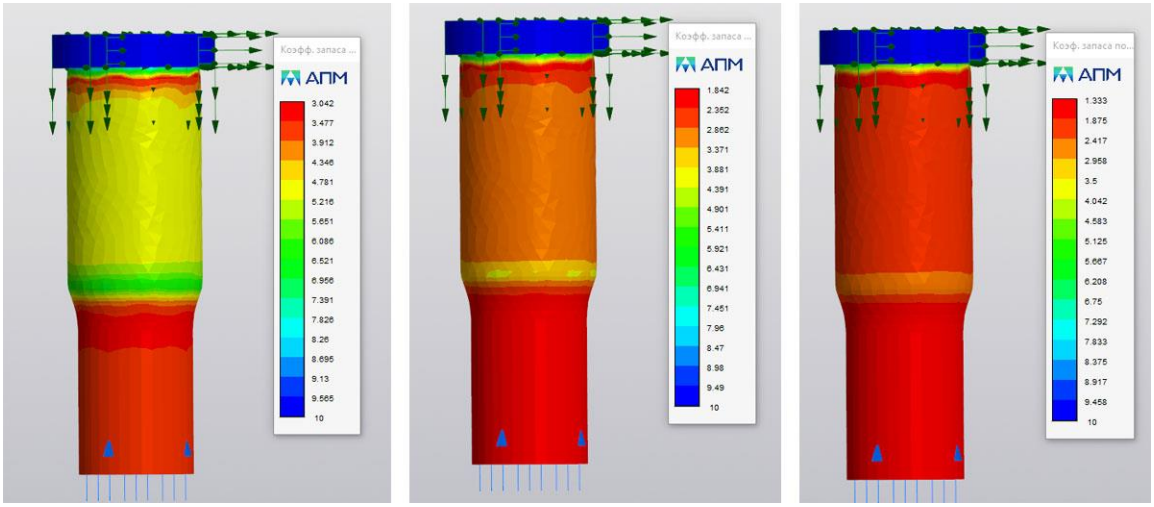


а б в

Рис. 2. Коэффициент запаса по прочности (Min = 1,758; Max = 10 ед.) (а); коэффициент запаса по текучести (Min = 1,005; Max = 10 ед.) (б); коэффициент запаса по усталостной прочности (Min = 0,801; Max = 10 ед.) (в) пуансона без ТО и ХТО

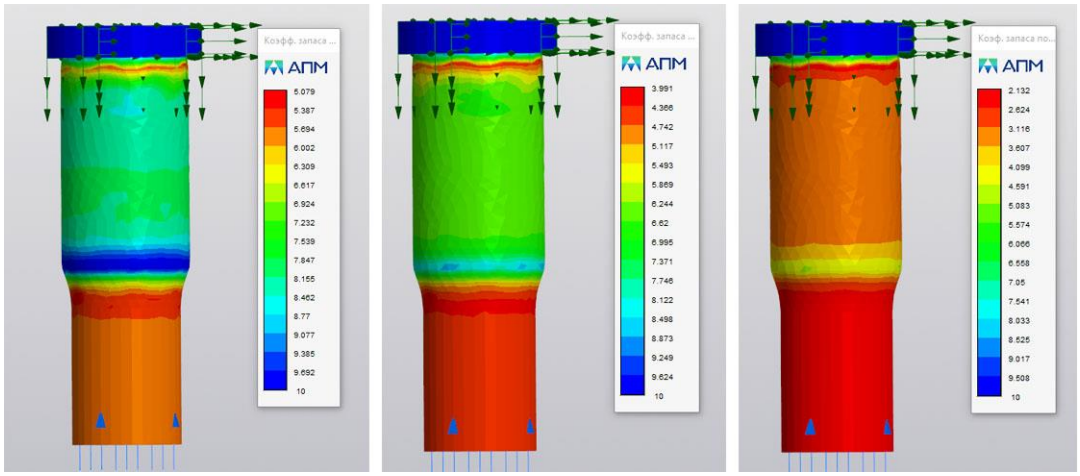
Термическая обработка стали 20Х23Н18 включала закалку с доведением до температуры 1100° С/40 мин. и последующим охлаждением в воде, после чего данная сталь имела: временное сопротивление 490 Н/мм^2, предел текучести 196 Н/мм^2, относительное удлинение и сужение по ГОСТ 5949-75, 35 % и 50 %, соответственно [2]. Результаты расчетов после ТО показаны на рис. 3.

Для проведения ХТО выбран метод борирования в расплаве технической буры (ГОСТ 8429-77 [3]) с помощью электролиза, где проводилась очистка и обезжиривание образцов, внедрение бора в приповерхностные слои изделия в течение 2 часов при температуре 60° С из водно-органического комплексного электролита на основе буры, комплексообразователя и электропроводящей добавки, снижающей перенапряжение водорода и увеличивающей выход по току при потенциале, близком к восстановлению бора, промывка в воде 80° С 20 минут [4, 5]. После ХТО для стали 20Х23Н18 предел текучести был повышен на 297 %, т. е. в 3 раза.



а б в

Рис. 3. Коэффициент запаса по прочности (Min = 3,042; Max = 10 ед.) (а), коэффициент запаса по текучести (Min = 1,842; Max = 10 ед.) (б), коэффициент запаса по усталостной прочности (Min = 1,333; Max = 10 ед.) (в) пуансона после ТО



а б в

Рис. 4. Коэффициент запаса по прочности (Min = 5,079; Max = 10 ед.) (а), коэффициент запаса по текучести (Min = 3,991; Max = 10 ед.) (б), коэффициент запаса по усталостной прочности (Min = 2,132; Max = 10 ед.) (в) пуансона после ХТО

Исходя из полученных данных, можно сделать следующие заключения:

1. Коэффициент запаса по прочности пуансона после проведения ХТО увеличился в 3 раза по сравнению с материалом без упрочнения и в 1,6 раз по сравнению с изделием после ТО.

2. Коэффициент запаса по текучести пуансона после проведения ХТО увеличился в 4 раза по сравнения с изначальным материалом без упрочнения и в 2 раза по сравнению с изделием после ТО.

3. Коэффициент запаса по усталостной прочности пуансона после проведения ХТО увеличился в 2,5 раза по сравнения с изначальным материалом без упрочнения и в 1,6 раз по сравнению с изделием после ТО.

Выводы: проведен расчет НДС с имитацией нагрузки в условиях работы пробивного пуансона из стали 20Х23Н18 без и с ТО и ХТО. Показано увеличение коэффициента запаса прочности в 3 раза после проведения ХТО.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гурьев А.М. Диффузионное борирование – перспективное направление в поверхностном упрочнении изделий из стали и сплавов // А.М. Гурьев, А.Д. Грешилов, Б.Д. Лыгденов – Ползуновский альманах. – 2010. – № 1. – С. 80-88.

2. ГОСТ 5949-75. Сталь сортовая и калиброванная коррозионностойкая, жаростойкая и жаропрочная. – Введ. 01.01.77. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 24 с.

3. ГОСТ 8429-77. Бура. Технические условия. – Введ. 01.01.79. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 13 с.

4. ГОСТ 19905-74. Упрочнение металлических изделий поверхностной химико-термической обработкой. Состав общих требований. – Введ. 01.01.76. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 7 с.

5. Барабанова Е.В., Кириллов Н.И. Влияние режимов электролиза на толщину боридного слоя и механические свойства стали 20Х23Н18 // Е.В. Барабанова, Н.И. Кириллов, А.А. Гоц – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – 5 с.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ $B_{I2}G_{E2}O_7$

Бермешев Т.В., Чумилина Л.Г., Бундин М.П.,
Ворошилова М.В., Залога А.Н., Самойло А.С.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Аннотация. *Приведены результаты исследования температурной зависимости теплоемкости Bi2Ge2O7 в диапазоне температур от 360 до 950 K.*

Ключевые слова: *Bi2Ge2O7, германат висмута, теплоемкость*

В недавних работах [1, 2] впервые удалось получить соединение $Bi_2Ge_2O_7$ с небольшой примесью GeO_2 (до 2 масс. %). Учитывая появившуюся возможность надежного получения данного соединения в достаточных для исследования количествах, изучение его свойств, в том числе теплофизических, и возможных сфер применения на практике, имеет важное научное значение.

Цель работы – измерение высокотемпературной теплоемкости соединения с формулой $Bi_2Ge_2O_7$ в области температур 360-950 K.

Температурную зависимость изобарной теплоемкости (C_p) соединения $Bi_2Ge_2O_7$ исследовали методом дифференциальной сканирующей калориметрии на приборе STA 449 C Jupiter (NETZSCH, Германия). Измерения проводили в платиновых тиглях с крышкой в диапазоне температур 360-950 K.

Измерения C_p проводили на воздухе, внутренний объем печи и весов прибора продувался инертным газом. Скорость нагревания при измерении теплоемкости составляла 20 K/мин.

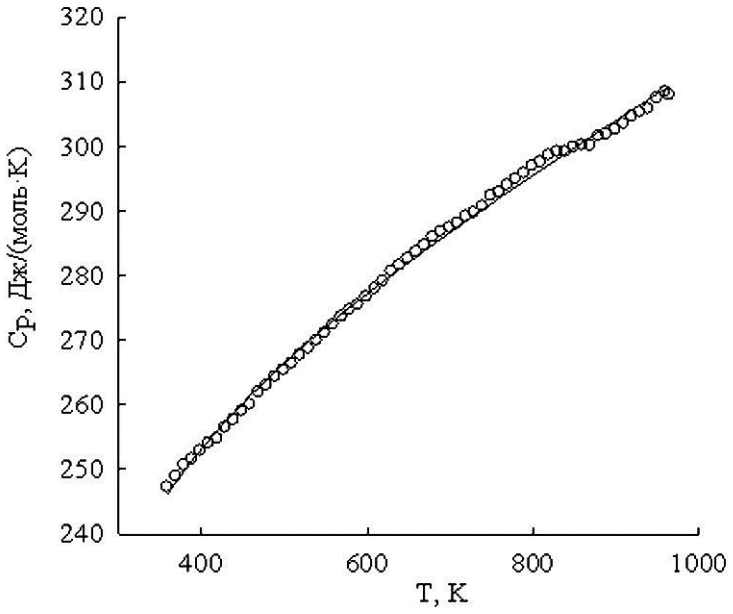


Рис. Изобарная теплоемкость соединения $Bi_2Ge_2O_7$ в диапазоне температур 360-950 K: точки – эксперимент, линия – аппроксимирующая кривая

Результаты исследования температурной зависимости теплоемкости германата $Bi_2Ge_2O_7$ приведены на рисунке. В диапазоне температур от 360 до 950 K теплоемкость закономерно увеличивается без каких-либо аномалий, это позволяет считать, что у данного соединения в указанной области температур нет полиморфных превращений.

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

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

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пат. 2810277 Российская федерация МПК, C01G 29/00, C01G 17/00, C30B 28/00, C30B 29/32 Способ получения соединения с формулой $Bi_2Ge_2O_7$ / Бермешев Т.В., Самойло А.С., Соловьев Л.А., Залога А.Н., Бундин М.П., Хлыстов Д.В.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». – № 2023103941; заявл. 20.02.2023; опубл. 25.12.2023, Бюл. № 36. – 3 с.

2. Новое метастабильное соединение в системе Bi_2O_3-GeO_2 / Т.В. Бермешев, А.Н. Залога, Л.А. Соловьев, М.П. Бундин, Д.В. Хлыстов, Е.В. Мазурова, Д.С. Ворошилов // Сборник материалов II Всероссийской молодежной конференции «Перспективные материалы и высокоэффективные процессы обработки». – Саратов. – 2023. – С. 25-28.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ МАЯТНИКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Буй М.З.,[1] Хо М.К.,[1] Нгуен В.Ч.[2]
Научный руководитель: д.т.н., профессор Зайдес С.А.

[1]Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск
[2]Колледж обороной промышленности, Лонг Бьен, Вьетнам, г. Ха Ной

Аннотация. *В статье представлены результаты определения сжимающих остаточных напряжений в валах из стали 45, упрочненных маятниковым поверхностным пластическим деформированием (ППД). С помощью программного пакета Statistica 10,1 выполнено планирование экспериментов по поиску оптимальных режимов маятникового ППД, обеспечивающих получение максимальных сжимающих остаточных напряжений на поверхности деталей.*

Ключевые слова: *регрессионный анализ, технологический параметр, шумы Баркгаузена, сжимающие остаточные напряжения*

Введение. В различных сферах промышленности для обеспечения высокого качества поверхностного слоя деталей машин успешно используют различные способы поверхностного пластического деформирования (ППД). Широкое применение данного метода упрочнения объясняется его техническими достоинствами (простота реализации, достаточно высокая производительность, универсальность, высокая стойкость и надежность рабочего инструмента) [1].

Однако, при механической обработке традиционными способами ППД маложестких цилиндрических деталей типа валов и осей возникают определенные трудности по обеспечению требований к качеству деталей, так как высокая радиальная нагрузка от рабочего инструмента приводит к искажению формы детали, и при этом не обеспечивается стабильность механических свойств по длине заготовки [2, 3].

Одним из путей решения вышеизложенной проблемы является интенсификация напряженного состояния в очаге деформации, которая позволит получить необходимую степень упрочнения без изменения величины радиального натяга [4, 5]. Так, в Иркутском НИТУ разработан новый способ ППД на основе более сложной кинематики рабочего инструмента [6]. Особенность новой кинематики деформирующего инструмента заключается в том, что поверхностное пластическое деформирование осуществляется за счет чередования двух механических процессов качения и скольжения рабочего инструмента: при движении рабочего инструмента и заготовки в противоположных направлениях происходит процесс плавного качения, а при движении их в одном направлении – интенсивное скольжение.

Цель работы: экспериментально определить влияние технологических параметров маятникового ППД на величину остаточных напряжений в упрочненных деталях после маятникового ППД.

Методика измерения остаточных напряжений: Для измерения остаточных напряжений на поверхности упрочненных деталей использован метод на основе шумов Баркгаузена [7, 8].

Измерения проводили с помощью цифрового анализатора шумов Баркгаузена Rollscan 300 производства компании Stresstech Oy (Финляндия). Прибор совмещен со специальным измерительным стендом CamScan100-2LD, позволяющим контролировать цилиндрические поверхности образцов (рис. 1).

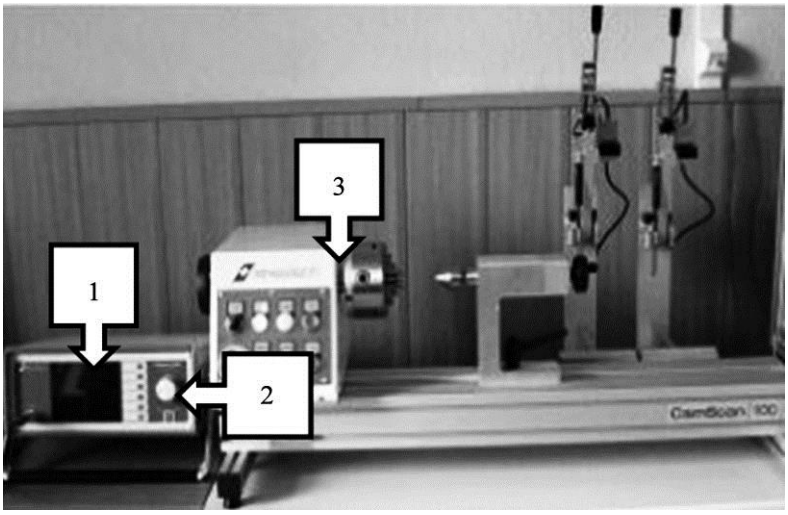
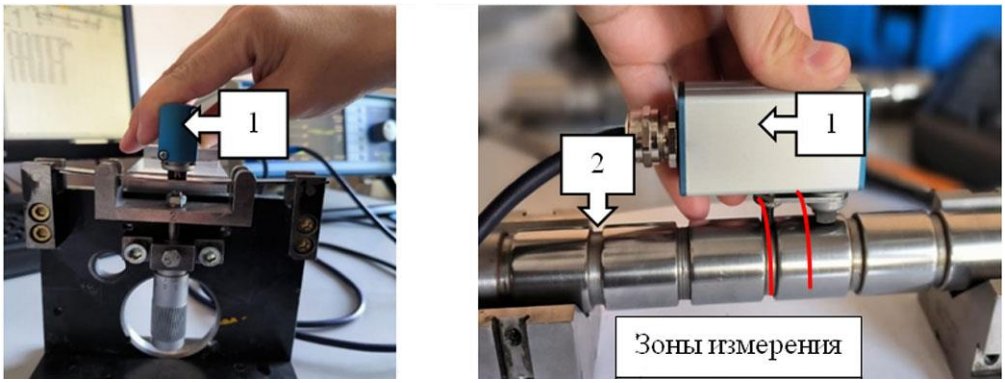


Рис. 1. Цифровой анализатор шумов Баркгаузена Rollscan 300 с измерительным стендом CamScan100-2LD: 1 – информационный экран; 2 – регулятор параметром шумов; 3 – измерительный стенд

Для определения корреляционной зависимости между шумами Баркгаузена и остаточными напряжениями проведено предварительное исследование напряженно-деформированного состояния плоских образцов с размерами 1,8 × 11 × 140 мм, изготовленных тоже из стали 45 (см рис. 2).



а б

Рис. 2. Измерение остаточных напряжений на основе шумов Баркгаузена а) измерение шумов Баркгаузена на плоских пластинах; б) измерение шумов Баркгаузена на цилиндрических образцах: 1) датчик шумов Баркгаузена; 2) цилиндрический образец

Предварительный опыт на плоских пластинах проводили в следующей последовательности: для первой пластины – сводили ее края навстречу друг другу вверх для создания сжимающих напряжений на верхней поверхности пластины; затем вторую пластину прогибали в обратном направлении для создания растягивающих напряжений в верхней поверхности. Увеличение стрелы прогиба на образец осуществляли с шагом 100 мкм. По значению стрелы прогиба вычисляли радиус изгиба пластины, по которому определяли создаваемые напряжения на каждом образце. Параллельно процессу создания напряжений на пластинах измеряли соответствующие значения магнитоупругого параметра МП (амплитуды шумов). В результате экспериментальной замеры стрелы прогиба плоских пластин и численных расчетов напряжений построена корреляционная зависимость магнитоупругого параметра (МП) от напряжений при изгибе пластины (рис. 3).

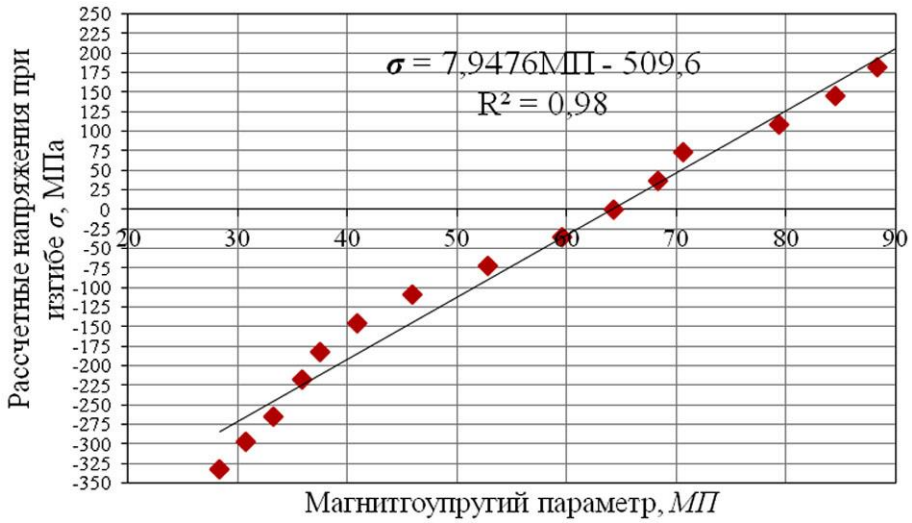


Рис. 3. Корреляционная зависимость остаточных напряжений
от амплитуды шума (МП) в пластинах из стали 45

Анализируя рис. 3 можно сделать вывод о том, что для стали 45 сжимающие напряжения соответствуют малым значениям МП (ниже 64-65 МП), а при значении МП свыше 65 единиц создаются растягивающие напряжения. На участках возрастания сжимающих и снижением растягивающих напряжений наблюдается уменьшение шумов.

Результаты экспериментального измерения остаточных напряжений

В качестве примера представлены некоторые результаты измерения магнитоупругих параметров и остаточных напряжений образцов до и после маятникового ППД (табл. 1).

Таблица 1

Значения шумов Баркгаузена и остаточных напряжения

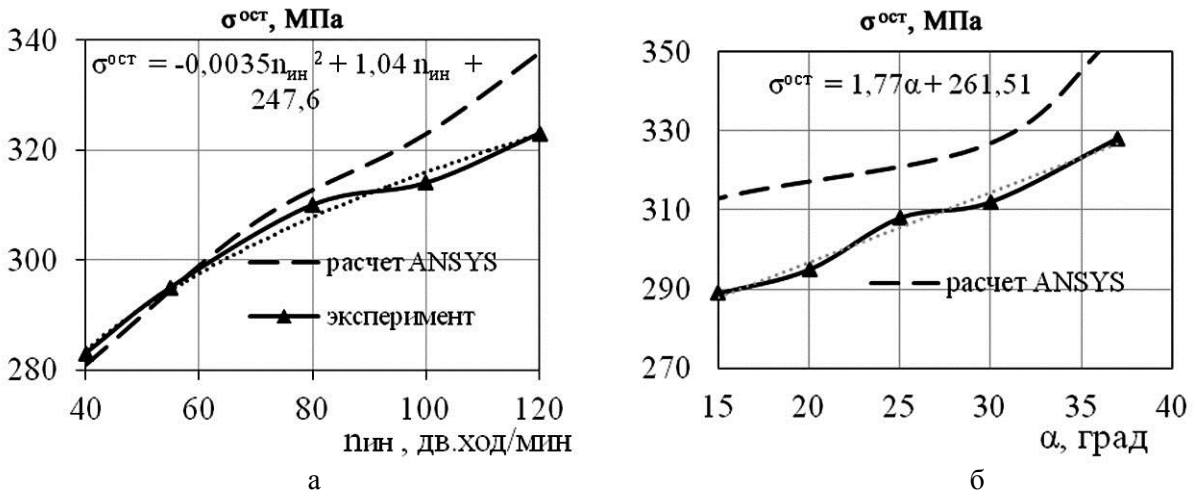
Параметры измеряемых величин	Исходный образец (неупрочненный)	Упрочненный образец (базовые режимы)
Величина магнитоупругих параметров (МП)	65,4	27,1
Величина остаточных напряжений, МПа	+10,2	-295,6

Как видно из табл. 1, на поверхности исходного образца после механической обработки резанием создаются небольшие растягивающие напряжения величиной 10,2 МПа. После маятникового ППД при базовых режимах упрочнения, представленных в опубликованной работе [9], на поверхности деталей растягивающие напряжения переходят в сжимающие, значение которых достигает около 295 МПа.

На рис. 4 представлена зависимость остаточных напряжений упроченной поверхности от маятникового движения рабочего инструмента.

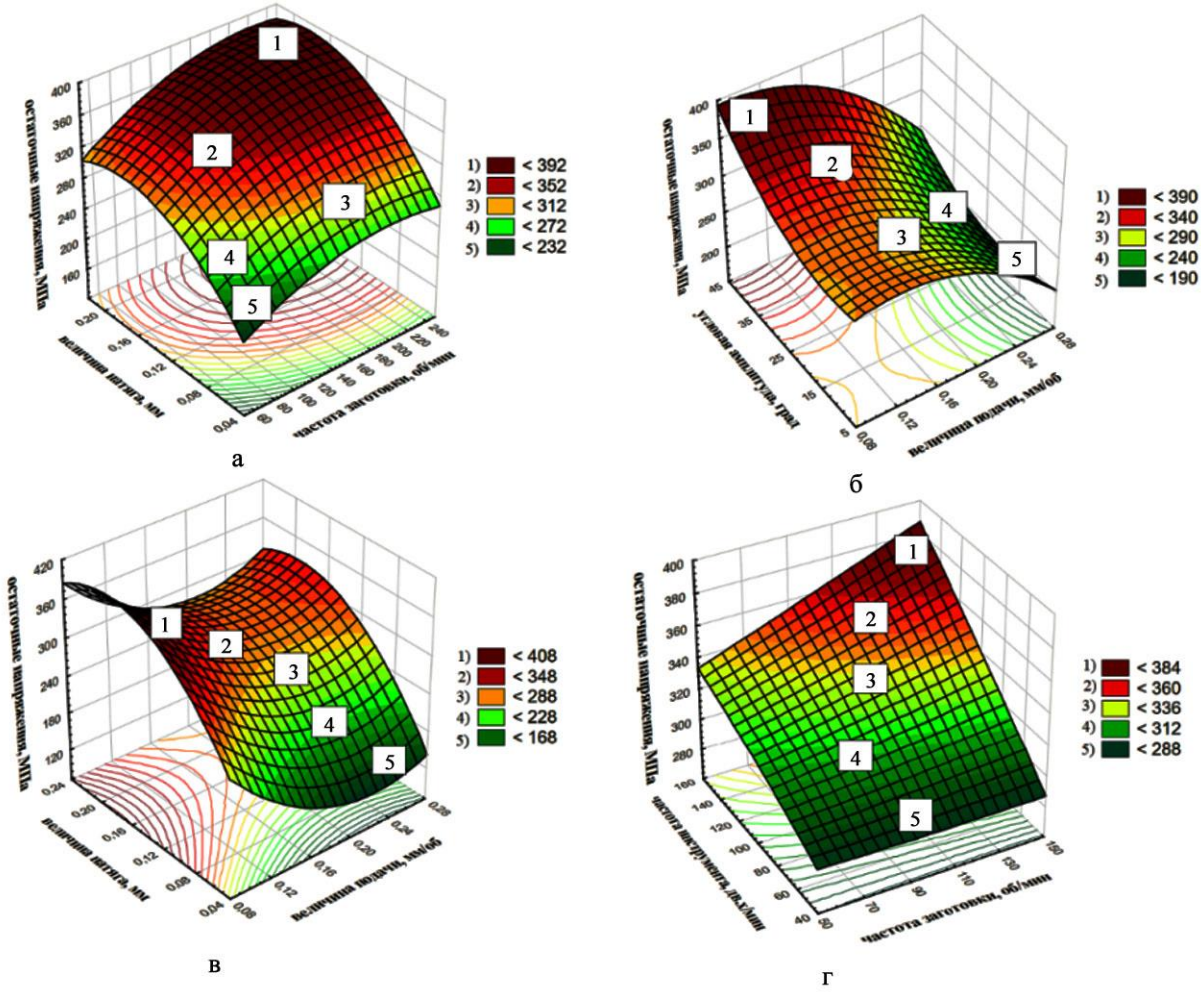
Из рис. 4 установлено, что с увеличением частоты маятникового движения рабочего инструмента с 40 до 120 дв.х/мин величина сжимающих остаточных напряжений возрастает на 14 % (от 280 до 325 МПа), при этом расчетная кривая остаточных напряжений повышается от 280 до 340 МПа. С повышением угловой амплитуды от 15 до 37° величина остаточных напряжений увеличивается на 13 %, а расчетная кривая остаточных напряжений увеличивается на 16-17 %.

В качестве примера на рис. 5 представлены некоторые отклики по определению оптимальных режимов обработки маятникового ППД, обеспечивающих максимальную величину остаточных напряжений.



а б

Рис. 4. Зависимость остаточных напряжений от маятникового движения рабочего инструмента: а – частоты маятникового движения; б – угловой амплитуды инструмента



а б в г

Рис. 5. Поверхности отклика остаточных напряжений поверхностного слоя заготовки после МППД в зависимости от: а – величины натяга и частоты вращения заготовки; б – амплитуды маятникового движения и величины подачи; в – величины натяга и продольной подачи; г – частоты рабочего инструмента и частоты вращения заготовки

В результате регрессионного анализа установлено, что оптимальные режимы упрочнения, обеспечивающие максимальную величину сжимающих остаточных напряжений. деталей упрочненных маятниковым ППД, следующие: $n_{заг}$ = 150 ÷ 200 мин$^{-1}$; $n_{ин}$ = 80 ÷ 120 дв.ход/мин; t = 0,2 мм; s = 0,07 ÷ 0,11 мм/об; α = 30 ÷ 37°. При этом величина сжимающих остаточных напряжений составляет 330-340 МПа.

Таким образом, маятниковое ППД является эффективным способом упрочнения не только с точки зрения интенсификации напряженного состояния в очаге деформации, но и способствует созданию сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое и его можно рекомендовать для проведения отделочно-упрочняющей обработки цилиндрических деталей.

Выводы:

1. На основе эффекта шумов Баркгаузена установлена связь между магнитоупругим параметром (МП) и механическими напряжениями для стали 45, которая описывается следующим выражением: $\sigma_{расч}$ = 7,9476МП – 509,6 (коэффициент достоверности R^2 = 0,98). Установлено, что сжимающие напряжения соответствуют малым значениям магнитоупругих параметров шумов (ниже 65 МП), а при значении МП свыше 53 единиц создаются растягивающие напряжения.

2. Результатами экспериментальных исследований установлено, что после маятникового ППД на поверхности детали формируются сжимающие остаточные напряжения, величина которых варьируется в интервалах 250-340 МПа в зависимости от выбранных режимов обработки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пашков А.Е. Технологические связи в процессе изготовления длинномерных листовых деталей. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. – 138 с.

2. Grzesik W, Rech J, Żak K. High-precision finishing hard steel surfaces using cutting, abrasive and burnishing operations. Procedia Manuf 1. p. 619-627.

3. Shioua F-J, Huanga S-J, Shihb AJ, Zhuc J, Yoshinoc M (2017) Fine surface finish of a hardened stainless steel using a new burnishing tool // Procedia Manuf 10: 208-217.

4. Frihat MH, Al Quran FMF, Al-Odat MQ (2015) Experimental investigation of the influence of burnishing parameters on surface roughness and hardness of brass alloy // material science & engineering. Mater Sci Eng 5 (1). p. 1-4.

5. Ежелев А.В., Бобровский И.Н., Лукьянов А.А. Анализ способов обработки поверхностно-пластическим деформированием // Фундаментальные исследования. 2012. № 6. Ч. 3. С. 642-646.

6. Пат. 2757643 RU. Способ поверхностно-пластического деформирования наружной поверхности детали в виде тела вращения / Зайдес С.А., Хо Минь Куан; заяв. 04.02.2021; опубл. 19.10.2021.

7. Никитина Е.Н. Преимущества метода акустоупругости для неразрушающего контроля механических напряжений в деталях машин / Н.Е. Никитина, С.В. Казачек // Вестник научно-технического развития. – 2010. – № 4 (32). – С. 18-28.

8. Овсеенко Е.С. Методы определения технологических остаточных напряжений в деталях малой жесткости / Наукоёмкие технологии в машиностроении. 2011. – № 4-6. – С. 29-32.

9. Зайдес С.А., Хо Минь Куан. Оптимизация режимов маятникового поверхностного пластического деформирования для интенсификации напряженно-деформированного состояния деталей из углеродистой стали // Черные металлы, 2023, № 1. С. 58-66.

КАПСУЛЬНЫЙ ГАСТРОСКОП ДЛЯ БИОПСИИ

Буланов Б.А.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Пичхидзе С.Я.

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

Аннотация. *В статье исследовано НДС лезвия капсульного гастроскопадля биопсии.*

Ключевые слова: *гастроскоп, биопсия, капсула*

Медицинский эндоскоп – это медицинское устройство, используемое для осмотра внутренних органов и полостей тела. Он состоит из гибкой трубки, на одном конце которой находится объектив, а на другом – световод или источник света. Эндоскопы могут быть использованы для диагностики и лечения различных заболеваний, включая рак, язвы, полипы и другие проблемы.

Существует несколько видов медицинских эндоскопов, которые отличаются по своему назначению:

Гастроскопы – используются для исследования желудка и пищевода;

Колоноскопы – предназначены для исследования толстой кишки;

Бронхоскопы – применяются для осмотра бронхов;

Цистоскопы – используются для осмотра мочевого пузыря;

Гистероскопы – позволяют осмотреть полость матки;

Артроскопы – используются в хирургии суставов;

Отоскопы – необходимы для обследования уха;

Риноскопы – помогают в осмотре носа;

Ларингоскопы – используются при исследовании гортани;

Кардиоскопы – помогают исследовать сердце.

Каждый эндоскоп имеет свои особенности и применяется в зависимости от области исследования. Они могут быть введены через естественные отверстия тела или через небольшие разрезы [1].

Медицинский эндоскоп состоит из нескольких основных частей:

Оптическая система: это может быть линза или система линз, которые позволяют передавать изображение на экран.

Источник света освещает исследуемую область, чтобы врач мог видеть детали.

Кабель или волоконно-оптический жгут передают изображение от оптической системы к монитору.

Рукоятка или корпус служат для управления эндоскопом и его перемещения.

Видеокамера может быть встроенной в рукоятку или подключаться к ней через кабель.

Монитор используется для просмотра изображения, полученного с эндоскопа.

Адаптер соединяет эндоскоп с источником света и монитором.

Инструменты для биопсии и других процедур: могут быть включены в комплект эндоскопа для выполнения различных медицинских процедур [3].

Гастроскоп – это медицинский инструмент, используемый для осмотра внутренней поверхности желудка. В качестве прототипа патент CN110537894B «Капсульный гастроскоп для биопсии».

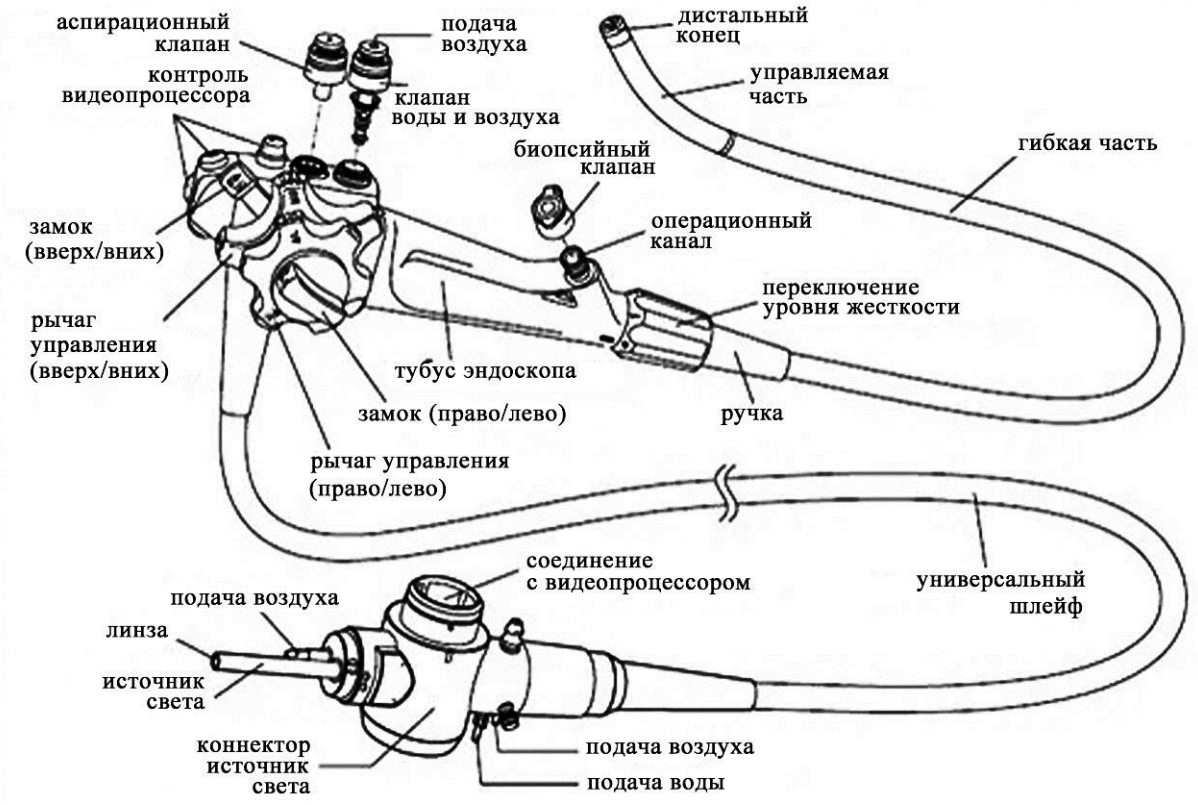


Рис. 1. Строение эндоскопа [2]

Цель работы: исследование НДС лезвия капсульного гастроскопа для биопсии.

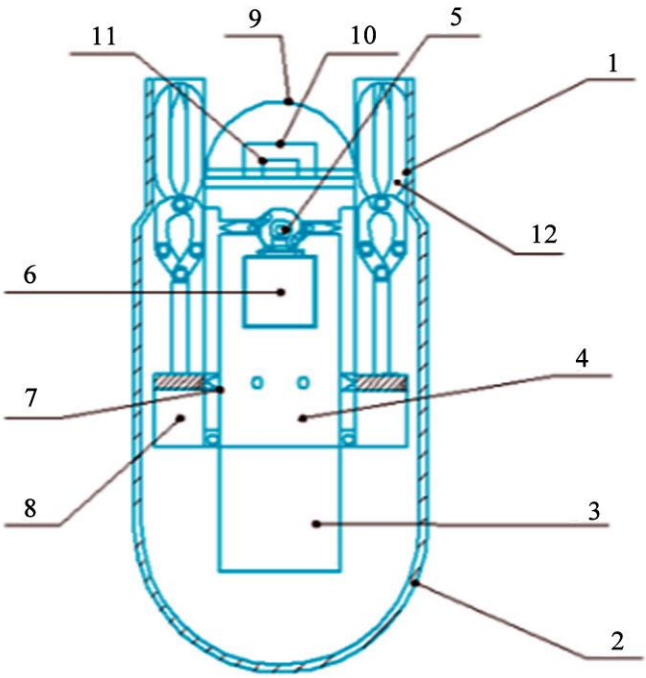


Рис. 2. Капсульный гастроскоп для биопсии: 1 – биопсийные щипцы с лезвиями, 2 – корпус капсулы, 3 – винтовой шаговый двигатель, 4 – печатная плата PCB, 5 – механизм привода тормоза, 6 – тормозной шаговый двигатель, 7 – тормозная колодка, 8 – стержень, 9 – прозрачный световод, 10 – модуль эндоскопа, 11 – светодиод белого света, 12 – лезвие

Отличается от аналогов тем, что он включает в себя оболочку капсулы и схему, установленную на переднем конце оболочки капсулы. PCBA (Printed Circuit Board + Assembly) для сбора изображений и PCBA для сбора движения установлены внутри корпуса капсулы и двух биопсийных щипцов; оболочка капсулы представляет собой постоянный магнит, который состоит из левого цилиндра, среднего цилиндра и правого цилиндра, соединенных радиально параллельно, а левый цилиндр, средний цилиндр и правый цилиндр соединены параллельно.

Правая колонка соединена радиально, один биопсийный пинцет помещен в левую колонку и правую колонку, и два биопсийных пинцета размещены симметрично, левая колонка и правая колонка помещены в левую колонку, и два биопсийных пинцета размещены симметрично.

Передние концы колонны, средняя колонна и правая колонна – все это открытые конструкции; PCBA для сбора изображений включает в себя модуль эндоскопа, установленный над открытой конструкцией на переднем конце средней колонны; PCBA для регистрации движения включает в себя встроенный микропроцессор, установленный внутри средней колонны, линейный приводной механизм и тормозной привод. Двигательный механизм; биопсийные щипцы включают в себя зажимную головку, оболочку, телескопический соединительный стержень, скользящий соединительный стержень и датчик давления, а оболочка включает в себя футляр.

Корпус оболочки образован неподвижным соединением между передней шиной и задней втулкой, а передний конец скользящего соединительного стержня и датчик давления соединены. И задний конец телескопической соединительной штанги последовательно соединены, а задняя втулка имеет отверстие посередине для размещения скользящей соединительной штанги, датчика давления и телескопической штанги. Соединительный стержень: задний конец скользящего соединительного стержня выступает из заднего конца отверстия задней втулки, а передний конец телескопического соединительного стержня выступает из задней втулки.

Передний конец отверстия выступает наружу и шарнирно соединен с задним концом двух зажимных головок через два соединительных стержня, а середина двух зажимных головок соединена с передней частью через вал. Передний конец шины закреплен на шарнирах; наружная поверхность заднего конца задней втулки снабжена хвостовым выступом; хвостовой выступ на плоскогубцах для биопсии соединен с левой колонной.

Внутренняя стенка соприкасается, и биопсийные щипцы могут скользить в левой колонке, а хвостовое крыло других биопсийных щипцов соприкасается с внутренней стенкой правой колонки и биопсийные щипцы могут скользить в правой колонке; скользящий рычаг двух биопсийных щипцов соединен с линейным приводным механизмом, и линейный приводной механизм используется для приведения в движение двух биопсийных щипцов. Оболочка скользит вверх и вниз в левой колонке и правой колонке соответственно, а приводной механизм тормоза используется для предотвращения скольжения оболочек двух биопсийных щипцов вверх и вниз в левой и правой колонке. Левая и правая колонны скользят внутрь; линейный приводной механизм также используется для приведения в действие скользящего рычага и давления, когда оболочка перестает скользить.

Датчик и телескопический соединительный стержень скользят вверх и вниз в задней втулке, а затем двумя плоскогубцами открывают телескопический соединительный стержень.

Модуль эндоскопа, датчик давления, линейный приводной механизм и тормозной приводной механизм – все это подключено к встроенному микропроцессору. Сверху предусмотрен прозрачный световод, а модуль эндоскопа и светодиод белого света

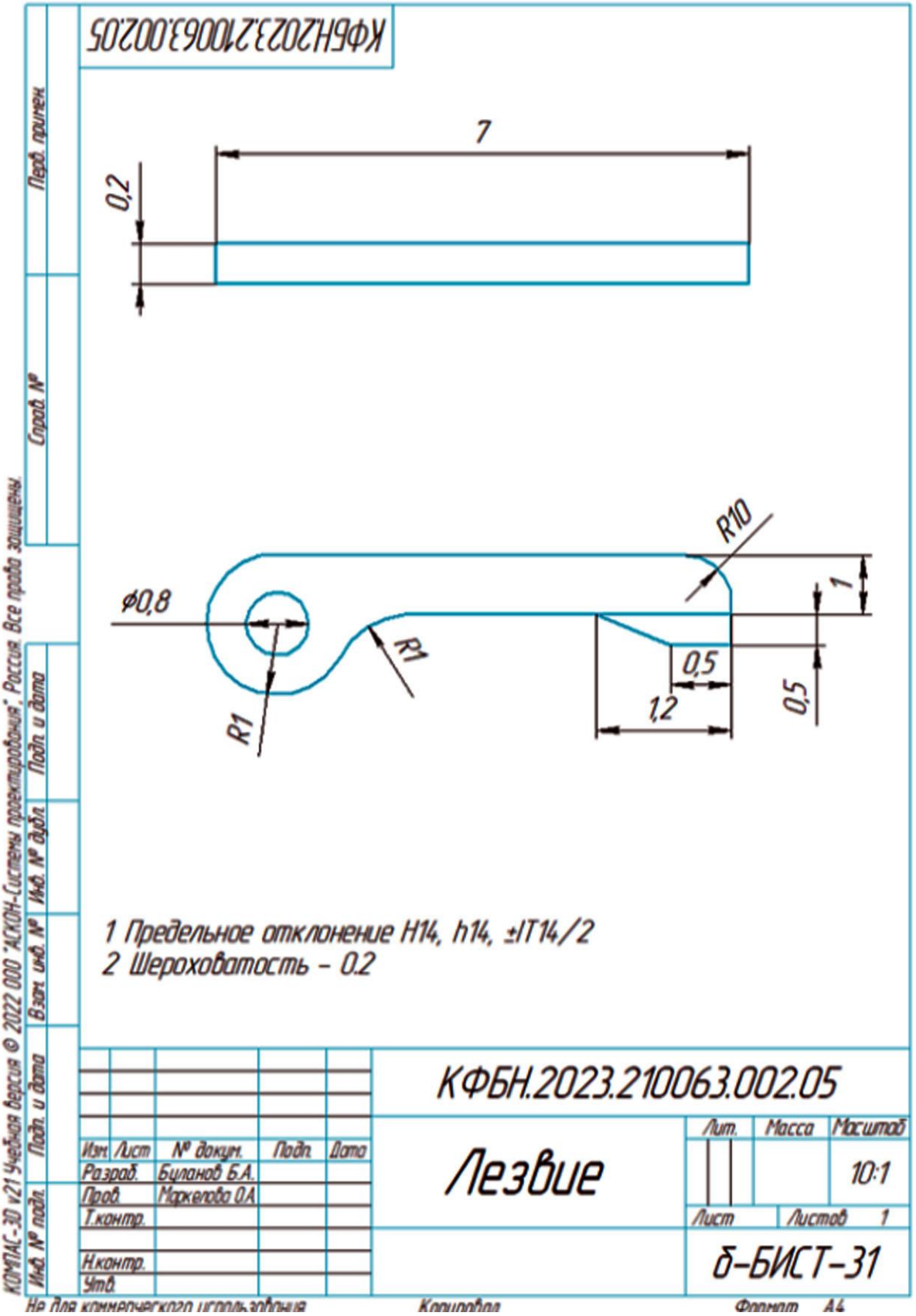


Рис. 3. Чертеж лезвия

расположены внутри прозрачного световода, печатной платы для получения изображения. Плата радиально соединена с открытой конструкцией на переднем конце средней колонны, а модуль эндоскопа и светодиод белого света подключены к встроенному микропроцессору.

Моделирование биофизических процессов организма человека – это метод исследования явления, процессов и систем, происходящих в человеческом организме, основанный на построении и изучении математических и физических моделей. Математическое моделирование биологических объектов представляет собой описание идеализированных процессов и систем, подобных естественным процессам. Физическое моделирование основано на воспроизведении биологических структур, функций или процессов [4]. Платформой для проведения исследования выбран программный комплекс SolidWorks с пакетом flow simulation, с помощью которого возможно создание условий, в которых будет функционировать лезвие биопсийных щипцов капсульного гастроскопа.

Проведен статический расчет НДС лезвия капсульного гастроскопа, материал лезвия сталь AISI304.

Расчёт формул:

Воспользуемся формулой «давления».

$$p = \frac{F}{S}$$

F – модуль силы, Н

S – площадь поверхности, мм^2

Площадь лезвия рассчитывается как площадь трапеции.

$$S = \frac{(a+b)*h}{2} = \frac{(1{,}2+0{,}5)*0{,}2}{2} = 0{,}425$$

$$p = \frac{F}{S} = 0{,}001 \setminus 0{,}425 = 0{,}002\,Па$$

Таблица 1

Физические свойства стали AISI304

Ссылка на модель	Свойства	
	Имя:	AISI 304
	Тип модели:	Линейный Упругий Изотропный
	Критерий прочности по умолчанию:	Неизвестно
	Предел текучести:	2,06807e+08 N/m^2
	Предел прочности при растяжении:	5,17017e+08 N/m^2
	Модуль упругости:	1,9e+11 N/m^2
	Коэффициент Пуассона:	0,29
	Массовая плотность:	8 000 kg/m^3
	Модуль сдвига:	7,5e^{+10} N/m^2
	Коэффициент теплового расширения:	1,8e^{-05} /Kelvin

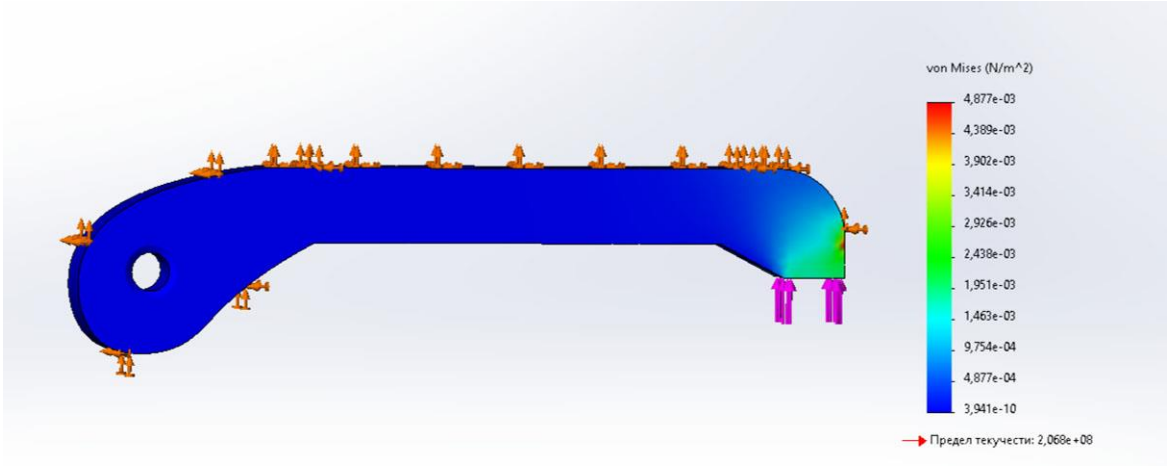


Рис. 3. Лезвие в программе SolidWorks, нагрузка 0,001 Н

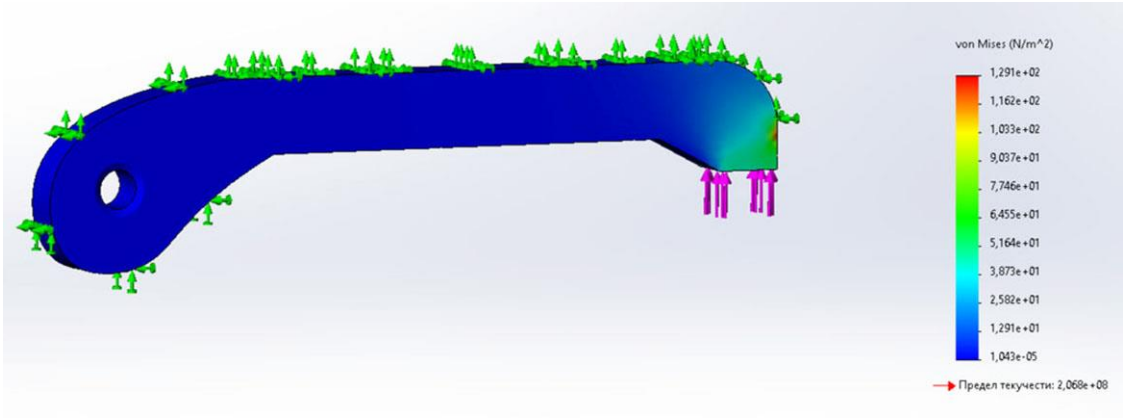


Рис. 4. Лезвие в программе SolidWorks, нагрузка 0,003 Н

$$p = \frac{F}{S} = 0{,}003 \setminus 0{,}425 = 0{,}007\,Па$$

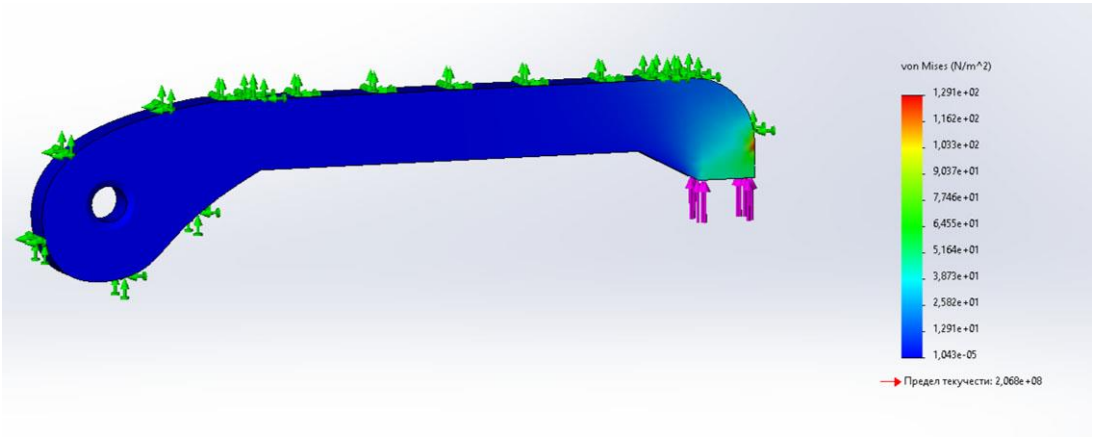


Рис. 5. Лезвие в программе SolidWorks, нагрузка 0,005 Н

$$p = \frac{F}{S} = 0{,}005 \setminus 0{,}425 = 0{,}0012\,Па$$

График изменения запаса прочности при нагрузках на лезвие биопсийных щипцов капсульного гастроскопа на рис. 6.

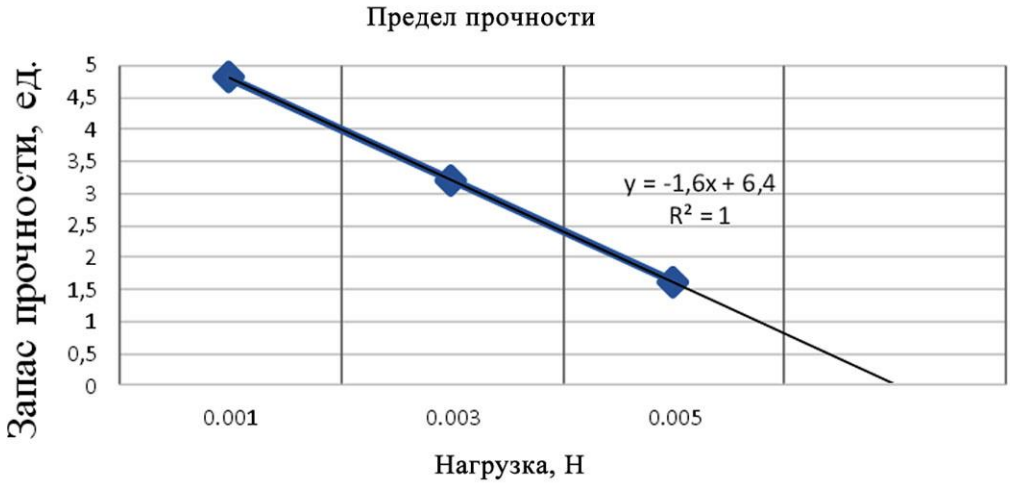


Рис. 6. График изменения запаса прочности при нагрузках на лезвие

Выводы: проведено исследование НДС лезвия капсульного гастроскопа для биопсии. Показано, что запас прочности биопсийного лезвия достаточен для проведения забора материала.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Борисов А.Н. Эндоскопическая диагностика и лечение / А.Н. Борисов. – М.: Медицинское информационное агентство, 2017. – 480 с. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/endoskopicheskaya-diagnostika-i-lechenie-bolnyh-s-gastroduodenalnymi-krovotecheniyami/viewe.

2. Устройство эндоскопа [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://sozvezdie-med.com/articles/kak-ustroen-kolonoskop.

3. Волков М.В. Эндоскопы и их применение / М.В. Волков. – М.: Наука, 2016. – 560 с. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-i-vozmozhnosti-endoskopicheskih-metodov-i-hromoendoskopii-v-diagnostike-patologii-verhnih-otdelov-zheludochno-kishechnogo/viewer.

4. Чжуан Шихун. Патент CN110537894B «Капсульный гастроскоп для биопсии» URL: https://patents.google.com/patent/CN110537894B/en?oq=CN110537894B.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СПОСОБОВ УВЕЛИЧЕНИЯ ФОТОИНДУЦИРОВАННОЙ СУПЕРГИДРОФИЛЬНОСТИ ПЛЁНОК TiO_2

Владимиров Д.С.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Шашин Д.Е.

Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола

Аннотация. *В данной статье рассматриваются технологические способы увеличения фотоиндуцированной супергидрофильности плёнок оксида титана. Плёнки оксида титана получены на вакуумной установке методом реактивного магнетронного распыления. В ходе работы разработан типовой технологический процесс получения супергидрофильных плёнок оксида титана. Проведено ряд экспериментов, суть которых заключа-*

лась в нахождении тех параметров технологического процесса, которые оказывают наибольшее влияние на супергидрофильные свойства плёнок оксида титана. Основным параметром, по которому оценивается супергидрофильность – это угол смачивания.

Ключевые слова: *оксид титана; тонкие плёнки; реактивное магнетронное распыление; супергидрофильность*

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется исследованиям плёнок оксидов металлов и технологиям их получения с целью создания новых приборов, имеющие широкое применение в различных отраслях промышленности и науки, большая часть которых основана на фотоиндуцированных процессах, включающая в себя фотокаталитическую активность и супергидрофильность. Например, покрытия TiO_2 могут наноситься на солнечные панели для предотвращения накопления пыли и грязи, и этим самым увеличивать вырабатываемую энергию. Покрытия TiO_2 на стеклянных поверхностях делают их самоочищающимися это особенно полезно для окон, фасадов и стеклянных поверхностей на открытом воздухе [1]. TiO_2 представляет наибольший интерес, так как данный оксид металла одновременно обладает хорошей супергидрофильностью и фотокаталитической активностью [2, 3]. Основным параметром, по которому оценивают свойство супергидрофильности, является угол смачивания, который при фотоиндуцированной супергидрофильности стремиться к 0° [4], после воздействия фотонами энергии более или равными 3,0 эВ, то есть УФ-излучение.

Получение плёнок TiO_2

Для экспериментального анализа важно получать плёнки оксида титана с одинаковой морфологией и кристаллической структурой, кроме этого важно использовать тот метод, который бы позволял контролировать большую часть технологических параметров. С учётом данных особенностей выбран метод реактивного магнетронного распыления, которое позволяет получать плёнки с высокой повторяемостью, и даёт возможность контролировать технологические параметры [5]. В ходе проведения экспериментов разработан типовой технологический процесс получения пленок TiO_2, который состоит из восьми этапов (рис. 1).

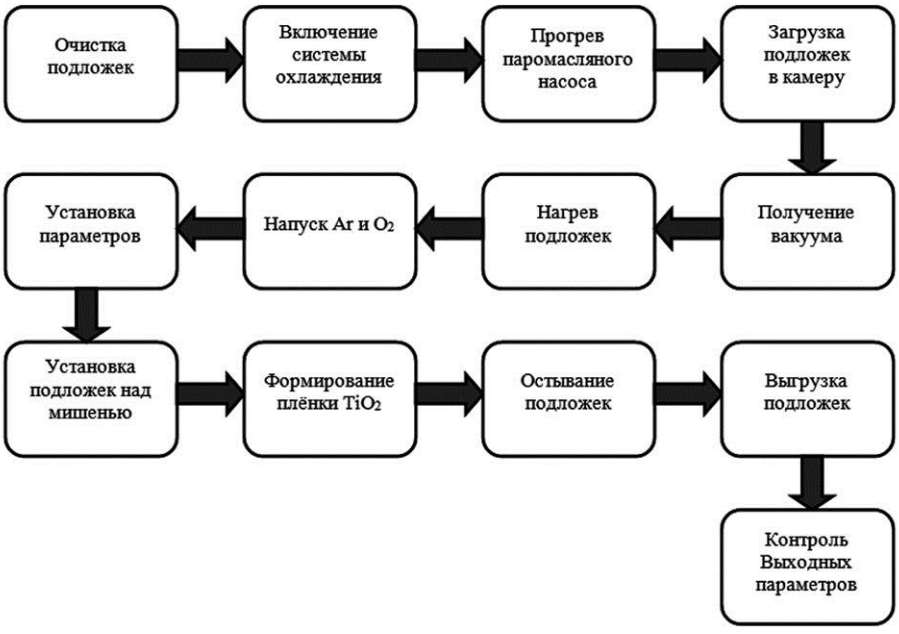


Рис. 1. Типовой технологический процесс получения пленок TiO_2

Метод исследования супергидрофилных свойств

Для того чтобы получить на поверхности плёнки оксида титана супергидрофильные свойства, необходимо воздействовать УФ излучением. Проверка показателя супергидрофильности осуществляется путём добавления на поверхность плёнки капли воды. Для анализа полученных результатов важно получать на поверхности плёнки капли одинакового объёма это осуществляется при помощи дозатора. Изображения, полученных результатов, регистрируются фотоаппаратом. Обработка и анализ изображений осуществляется на персональном компьютере. Последовательность проведения исследования анализа супергидрофиьности наглядно продемонстрирован на рисунке 2.

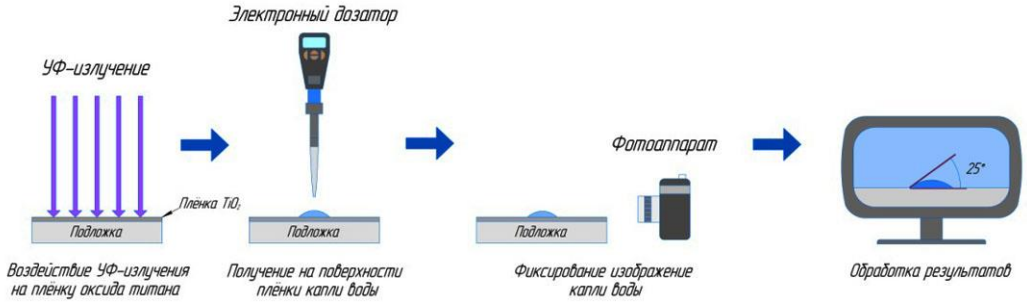


Рис. 2. Последовательность исследования супергидрофильных свойств

Результаты экспериментов

Получена серия образцов методом реактивного магнетронного распыления на вакуумной установке УВН-71П3. При формировании плёнок оксида титана использовались различные технологические параметры. Разработана технология получения плёнок оксида титана, которая состоит из восьми этапов. В ходе проведения работы можно выделить следующее, что более тонкие плёнки оксида титана показывают лучшую супергидрофильность. Концентрация аргона и кислорода в вакуумной камере так же влияет на супергидрофильные свойства, так плёнки оксида титана, полученные при Ar – 30 % O_2 – 70 % проявляют лучшею супергидрофильность, чем плёнки, полученнаые при концентрации Ar – 70 % O_2 – 30 %. Кроме этого температура подложки 250° С влияет на супергидрофильные свойства, согласно эксперименту при увеличении температуры показатель супергидрофильности улучшается. Подложка из нержавеющей стали показала более высокую степень супергидрофильность, благодаря своей шероховатости.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Nahid A.A. A Self-Cleaning Approach Utilizing Metal Oxide Thin Films and Nanocomposites // Nature-Inspired Self Cleaning Surfaces in the Nanotechnology Era. 2023. P. 59-72.

2. Эффект фотоиндуцированной супергидрофильности поверхности оксидов металлов / Рудакова А.В. [и др.] // Фундаментальные исследования. 2013. № 10. С. 1959-1963.

3. Маевская М.В. Влияние типа гетероструктур на фотостимулированное изменение гидрофильности поверхности оксидов металлов: дис. на соиск. ученой степ. канд. физ.-мат. наук: 1.3.8. – физика конденсированного состояния СПб., 2022. 109 с.

4. Шаповалов В.И. Нанопорошки и плёнки оксида титана для фотокатализа (обзор) // Физика и химия стекла. 2010. Том 36, № 2. С. 145-193.

5. Review on the Superhydrophilic coating of Electric insulator / Guo K. [и др.] // Earth and Environmental Science. 2021. P. 1-10.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ ДЛИН ВОЛН

Войтов А.С., Берник Т.С.

Новосибирский авиационный технический колледж имени Б.С. Галущака г. Новосибирск

Аннотация. *В статье рассмотрены полимерные материалы, которые являются прозрачными в разных диапазонах длин волн. Анализируя показатели преломления материалов, подобран подходящий материал для расчета оптической системы. Проведен аберрационный анализ оптической системы для анализа возможности построения систем из полимерных материалов.*

Ключевые слова: *полимерные материалы, светопропускание, плотность, показатель преломления*

Принципиальную возможность производства оптических приборов определяется наличием оптических материалов. Разработка материала с особыми свойствами позволяет достичь более совершенного исправления аберраций в изображении, упростить конструкцию путем уменьшения количества оптических компонентов или отказ от применения несферических поверхностей [1].

При проектировании оптической системы выбор материала, составляющий ее элементов, является важным этапом, определяющий не только качество образованного ею изображения, не только функциональные и эксплуатационные свойства, но и экономическую целесообразность, а иногда и принципиальную возможность построения оптического устройства.

Появление новых классов материалов приводит к тому, что они занимаю свою нишу в промышленности. Учитывая достоинства и недостатки прозрачных полимерных материалов можно найти оптимальную область их применения.

В таблице 1 приведены оптические свойства распространённых полимерных материалов, которые используются в оптическом производстве.

Таблица 1

Свойства основных полимерных материалов

Материалы	Показатель преломления				Плотность, г/см^3
	VIS	NIR	MVIR	LWIR	
PC	1,63-1,57	1,57-1,56	1,38-1,63	1,06-1,96	1,19-1,20
PMMA	1,5-1,48	1,48-1,47	1,47-1,38	1,23-1,7	1,14-1,19
PS	1,62-1,57	1,57-1,56	1,58-1,54	1,52-1,57	1,04-1,05
PDMS	1,42-1,41	1,41-1,4	1,36-1,41	0,9-1,85	0,968
PET	1,61-1,55	1,55-1,54	1,65-1,41	1,17-1,93	1,26-1,34
PVC	1,56-1,53	1,53-1,52	1,517-1,53	1,49-1,55	1,13-1,58
PEI	1,65-1,62	1,62-1,62	1,62-1,475	1,34-1,81	1,27

Анализируя данные приведённые в таблицы 1, можно заметить одну из отличительных особенностей полимерных материалов, которая заключается в том, что плотность таких материалов в несколько раз меньше плотности оптического стекла. К примеру плотность оптического стекла имеет диапазон от 3,92 до 4,13 г/см^3, плотность фторид бария равняется 4,83 г/см^3, а германия соответствует 5,83 г/см^3 [2].

По таблице можно сделать вывод о том, что в LWIR диапазоне показатель преломления имеет широкий диапазон значений, это может повлиять на эффективность работы оптических систем. Используя связь показателя преломления полимера от диапазона длин волн, в котором он работает, можно подобрать самый подходящий материал.

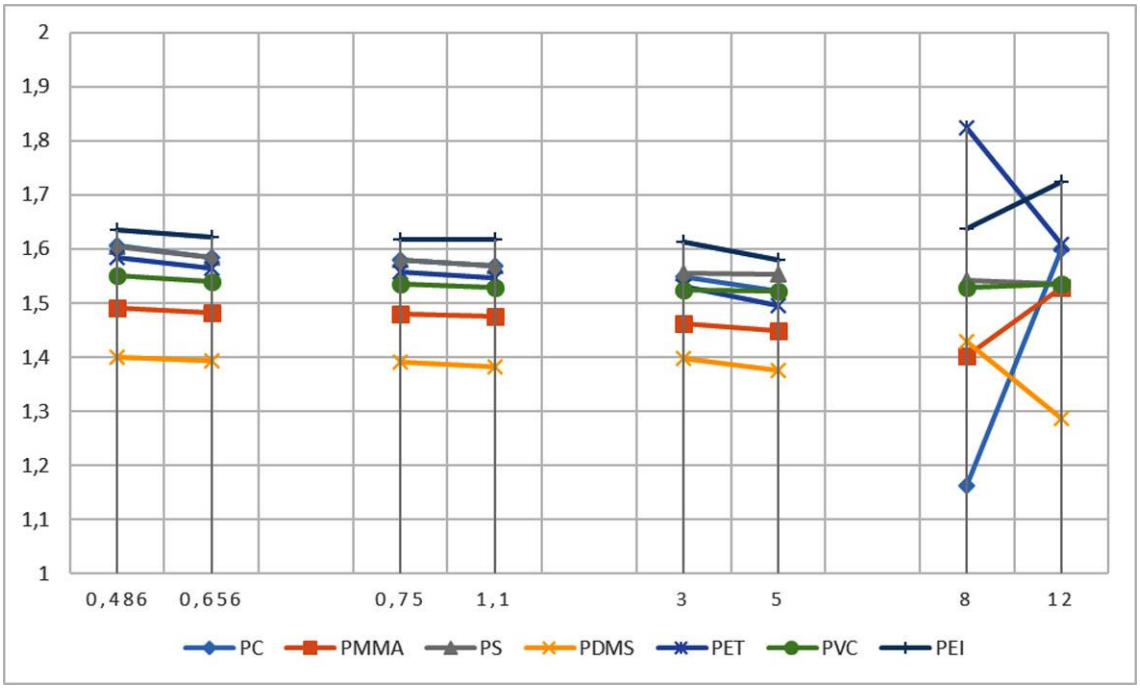


Рис. 1. Изменение показателя преломления

На основании выше изложенного в качестве материала выбран PMMA. На рисунке 2 представлена оптическая схема зеркально-линзовой системы для получения изображения с использованием приемника GSENSE2020BSI-M [3].

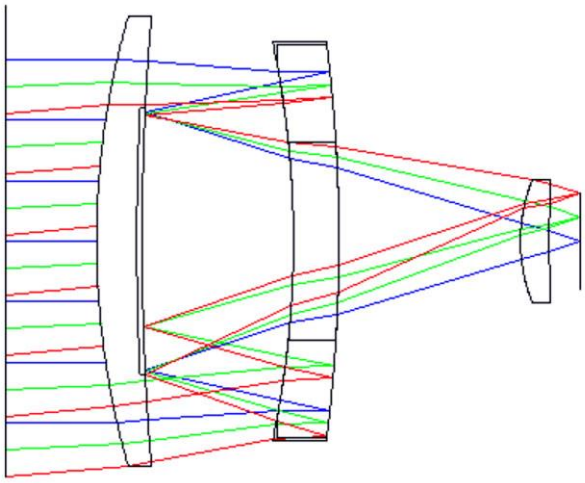


Рис. 2. Оптическая система

На рис. 3, приведены результаты моделирования зеркально-линзовой системы, выполненной из PMMA для фотоприемника с размером пиксела 6,5 × 6,5 мкм для видимого области спектра. Результаты моделирования показывают принципиальную возможность разработки оптической системы для нескольких диапазонов длин волн

и возможность минимизации массогабаритных характеристик оптического прибора при помощи внедрения оптических компонентов, изготовленных их пластика.

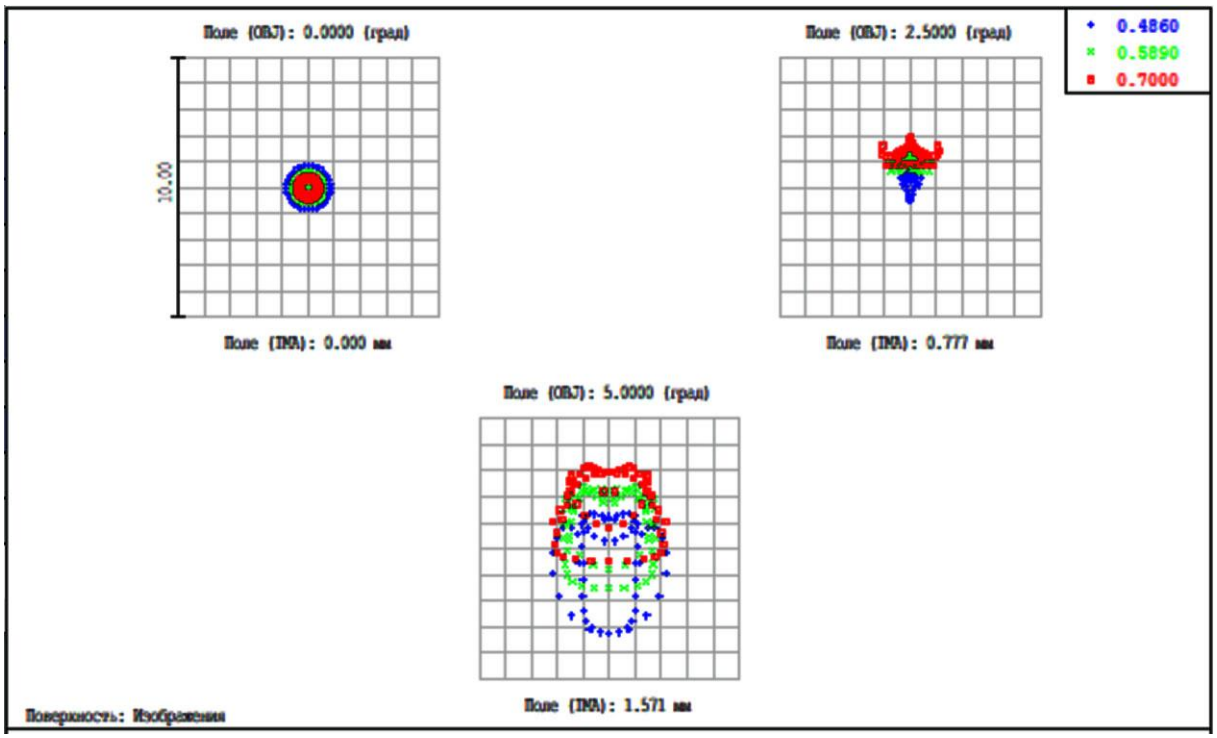


Рис. 3. График распределения энергии в пикселе
фотоприемника размером 6,5 × 6,5 мкм

Прозрачные органические полимерные материалы являются в ряде случаев удачным заменителями традиционных материалов [4].

Особенности полимерных материалов, обусловленные широкими возможностями регулирования их структуры и свойств, открывает перспективы получения конкурентоспособных материалов для целей оптики, оптоэлектроники и других областей науки и техники. Небольшая плотность относительно других материалов, является преимуществом полимерных материалов, так как в ходе проектирования и расчета оптических систем, массогабаритные характеристики зачастую имеют важное значение. Кроме того, количество элементов может быть уменьшено за счет включения асферических поверхностей, а производство полимерных оптических элементов будет значительно менее сложным и затратным, чем стеклянных аналогов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рупышев В.Г. Прозрачные полимерные материалы / В.Г. Рупышев, Е.И. Кривченко // Полимерные материалы (специализированный информационный бюллетень). – 2006. – № 11-12. – С. 41-45.

2. Полимерные материалы [Электронный ресурс] // URL: https://vzp-nn.ru/articles/polimernye-materialy/#_Toc66381196 (дата обращения: 01.02.2024).

3. Оптические свойства поликарбоната [Электронный ресурс] // URL: http://www.dspolychem.com/bbs/page.php?hid=p201_en (дата обращения: 04.01.2024).

4. PD-100 BlackHornet – разведывательный нанодрон [Электронный ресурс]. URL: https://itc.ua/blogs/pd-100-black-hornet-razvedyivatelnyiy-nano-dron (дата обращения: 15.03.2024).

ПОЛИАМИДНЫЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ВОЛОКНИСТЫХОТХОДОВ ОКСИ-ПАН

Волкова Е.С.[1]
Научные руководители: д.т.н., профессор Устинова Т.П.[2],
к.т.н., доцент Борисова Н.В.[2]

[1] Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов
[2] Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

Аннотация. *В работе показано, что введение отходов окисленных полиакрилонитрильных волокон обеспечивает получение полиамидного композита на их основе с повышенным комплексом свойств.*

Ключевые слова: *полиамид-6, отходы окисленных полиакрилонитрильных волокон, композиционный материал, свойства*

Полимерные композиционные материалы относятся к перспективной, активно развивающейся группе отечественных материалов, что подтверждается данными NeoAnalytics [1], из которых следует, что объем российского рынка композитов за 2023 год составил более 110 млрд. руб., при этом годовые темпы роста их производства оцениваются в 10-15 %. Однако отечественный рынок композиционных материалов остро испытывает дефицит в качественном и одновременно дешевом отечественном сырье.

Данное исследование ставит целью разработку композиционного материала на основе полиамида-6 и производственных отходов, образующихся в технологии углеродных волокнистых материалов на стадии термостабилизации, с использованием инновационного метода создания полимерных композитов «in situ».

Выбор полиамида-6 в качестве матричного полимера обусловлен его многотоннажностью, повышенными эксплуатационными характеристиками, экономической доступностью, а также способностью перерабатываться различными методами.

В качестве армирующей системы применялись отходы окисленных полиакрилонитрильных волокон (ПАН-ОК$_{1,21}$) с плотностью 1,20 ÷ 1,22 г/см^3 [2]. По данным МПК «Композиты без границ» за 2021г. [3], их общий годовой объем составляет около 10т, однако практическое применение ежегодно образующимся отходам до настоящего времени не найдено.

Для получения полиамидного композиционного материала на основе исследуемых волокнистых отходов предложено использование инновационного метода полимеризационного совмещения компонентов («in situ») [4], суть которого заключается во введении наполнителя на стадии синтеза полимерной матрицы, что принципиально отличается от традиционного, экструзионного, совмещения гранулята полимера с наполнителем.

Для оценки свойств синтезированного в присутствии ПАН-ОК$_{1,21}$ полиамидного композита проводили сравнение с результатами испытаний образцов композиционного материала на основе полиамида-6 и полиакрилонитрильного технического жгутика (ПАН-ТЖ), являющегося прекурсором для получения окисленного ПАН волокна (табл. 1).

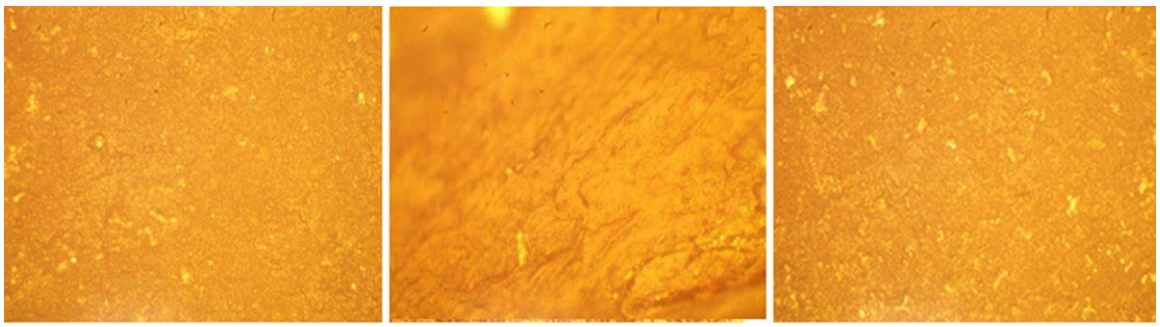
Таблица 1

Сравнительная характеристика свойств полиамидных композитов, наполненных ПАН-волокнистыми материалами

Характеристика	ПА-6 + 10 % ПАН-ТЖ	ПА-6 + 10 % ПАН-ОК$_{1,21}$
Плотность, кг/м^3	1134	1142
Твердость по Бринеллю, МПа	150	165
Твердость по Роквеллу (шкала HRB)	81	85
Прочность при сдвиге, МПа	34	49
Прочность при сжатии, МПа	70	75
Теплостойкость по Вика, °С	204	258
Водопоглощение за 24 ч, %	3,7	1,0
Температура плавления, °С	198-200	240-245

Полученные результаты свидетельствуют о том, что образцы полиамидного композита, наполненного ПАН-ОК$_{1,21}$ характеризуются повышенной теплостойкостью (более 25%), прочностью при сдвиге (на 44 %), пониженным водопоглощением (более чем в 3 раза) по сравнению с полиамидом на основе ПАН-ТЖ. При этом проявляется тенденция к повышению твердости материала, росту прочности при сжатии и значительно повышается температура плавления, что подтверждает формирование монолитного и однородного по составу полиамидного композита. Вероятно, это обусловлено структурными особенностями отходов ПАН-ОК$_{1,21}$, для которых характерны изменения молекулярной структуры на стадии термостабилизации, связанные с химическими превращениями и частичной циклизацией линейного полимера.

Композит на основе полиамида-6 и ПАН-волокнистых наполнителей хорошо обрабатывается методом фрезерования, в частности, отфрезерованные и прошедшие последующую шлифовку поверхности образцы композитов ненаполненного и волокнонаполненного полиамида-6 относятся к 6 классу шероховатости, который соответствует ровной и достаточно гладкой поверхности, что подтверждается данными оптической микроскопии обработанных образцов (рис. 1).



1 2 3

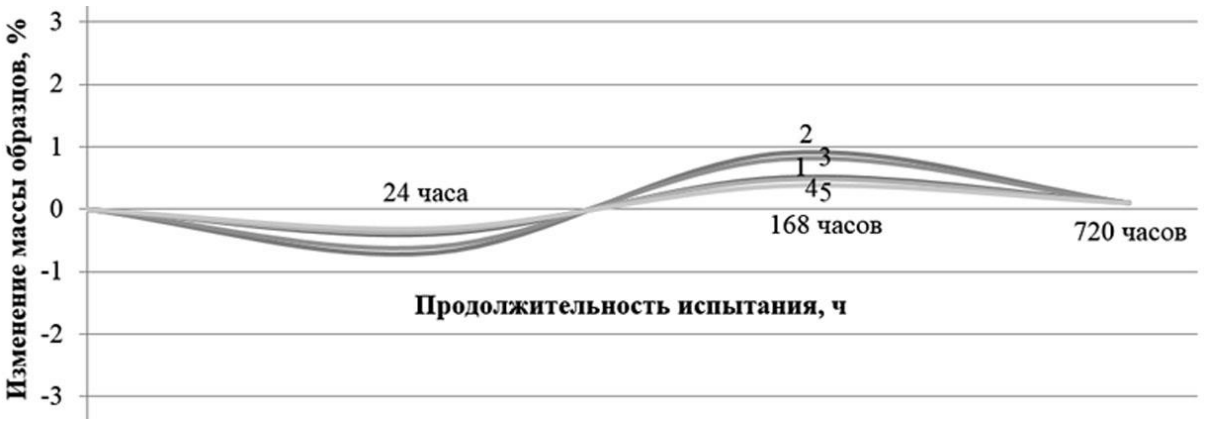
Рис. 1. Микрофотографии образцов композитов после механической обработки (n = 20):
1 – ненаполненный ПА-6; 2 – ПА-6 + 10 % ПАН-ТЖ; 3 – ПА-6 + 10 % ПАН-ОК

Для определения областей применения разработанных композиционных материалов проведена оценка их стойкости к воздействию температур и химическая стойкость. Результаты оценки влияния повышенной (+60° С) и пониженной (-60° С) температур на изменение массы композитов полиамида-6, наполненных ПАН-волокнистыми материалами, представлены на рис. 2.

Характер поведения образцов исследуемых композитов как при пониженной, так и при повышенной температурах одинаков и суммарное изменение их массы не превышает 1 %, что свидетельствует о хорошей стойкости к воздействию данных темпера-

тур за исследуемый промежуток времени (720 час) и соответствует виду климатического исполнения УХЛ1 по ГОСТ 15150-69.

а



б

Рис. 2. Исследование стойкости образцов к воздействию температуры -60° С (а) и +60° С (б): 1 – ненаполненный ПА-6; 2 – ПА-6 + 10 % ПАН-ТЖ; 3 – ПА-6 + 10 % ПАН-$ОК_{1,21}$

Определение стойкости разработанных полиамидных материалов к действию углеводородных сред (ГОСТ 12020-2018), используемых в условиях эксплуатации деталей инженерно-технического назначения: бензина Б-70 (ТУ 38. 101913-82), индустриального масла И-40 (ТУ 0253-043-48120848-2005), турбинного масла Тп-22С (ТУ 38.101821-2001) и нефраса 2С 80/120 (ТУ 38.401-67-108-92) (табл. 2); подтвердило высокую хемостойкость полиамида-6, наполненного ПАН-$ОК_{1,21}$ к испытуемым средам, т.к. изменения массы его образцов не превысили 0,1 %.

Таблица 2

Результаты стойкости наполненного ПАН-волокнистыми материалами полиамида-6 к действию испытуемых сред*

Испытательная жидкость	Ненаполненный ПА-6	ПА-6 + 10 % ПАН-ТЖ	ПА-6 + 10 % ПАН-$ОК_{1,21}$
Бензин Б-70	0,1	0,5	0,1
Нефрас С2 80/120	0,2	0,5	0,1
Масло Тп-22С	-0,1		-0,1
Масло И-40	-0,1		-0,1

*изменение массы образцов, %.

Для оценки технического уровня полиамидного композита, наполненного ПАН-ОК$_{1,21}$, проведен сравнительный анализ его свойств с физико-механическими характеристиками стекловолокнистых полиамидов, как наиболее широко используемых материалов на основе ПА-6 (табл. 3), который свидетельствует о том, что разработанный композиционный материал имеет повышенную теплостойкость, малое водопоглощение и близкие с аналогами показатели прочности при сжатии, а также для него отмечена тенденция к повышению твёрдости.

Полученные экспериментальные данные позволяют отнести наполненный волокнистыми отходами окси-ПАН полиамидный композит к классу композиционных материалов инженерно-технического назначения.

В связи с этим, разработанный композиционный материал рекомендуется для применения в таких отраслях промышленности как железнодорожные транспортные системы, автомобиле- и машиностроение, химические и нефте- и газоперерабатывающие комплексы.

Таблица 3

Свойства разработанного полиамидного композита
в сравнении с отечественными аналогами

Свойства	ПА-6	ПА-6 НС	ПА-6-210-КС	ПА-6 + 10 % отходов ПАН-ОК $_{1,21}$
Плотность, кг/м^3	1130	1350	1220-1300	1134
Температура плавления, °С	215	207-211	217-220	230-235
Разрушающее напряжения при сжатии, МПа	85-100	–	–	70
Твердость по Бринеллю, МПа	150	130-150	100	150-160
Водопоглощение за 24 часа, %	3,5	3,0	1,1	1,2
Теплостойкость по Вика, °С	170-200	–	205-210	240

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям в рамках Договора (Соглашения) № 16338ГУ/2021 от 25.05.2021 г.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ российского рынка композитных материалов: итоги 2023 г., прогноз до 2027 г. // NEOANALYTICS: [сайт]. – 2024 – URL: https://marketing.rbc.ru/articles/14733/ (дата обращения: 20.04.2024).

2. Моругова О.А. Изучение свойств разноокисленных отходов окси-ПАН и возможностей их использования / О.А. Моругова, Н.В. Борисова, Т.П. Устинова // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. – 2016. – Т. VI, № 1. – С. 67-71.

3. Данные IX Форума МПК «Композиты без границ» за 2021 г. // INFORM PLATFORM: [сайт]. – 2021 – URL: https://innoprom.com/calendar-events/innoprom-online-17-november (дата обращения: 10.04.2024).

4. Пат. 281657 Российская Федерация, МПК C08G 69/16, C08F 2/44. Способ получения наполненного полиамида волокнистыми отходами / Борисова Н.В., Волкова Е.С., Моругова Н.В., Устинова Т.П.; заявитель; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.». – № 2023101785; заявл. 26 января 2023 г.; опубл. 01.04.2024, Бюл. № 10. – 5 с.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЛАЗЕРНОМ ОБЛУЧЕНИИ ДВУХСЛОЙНОЙ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СТРУКТУРЫ Al/Si НА ГИБКОЙ ПОЛИИМИДНОЙ ПОДЛОЖКЕ

Волковойнова Л.Д.
Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Сердобинцев А.А.

Саратовский государственный университет имени Чернышевского Н.Г., г. Саратов

Аннотация. *В статье исследуются процессы, протекающие при взаимодействии импульсного инфракрасного лазерного излучения с двухслойной структурой алюминий/кремний на гибкой полиимидной подложке.*

Ключевые слова: *инфракрасное излучение, гибкая электроника, структура алюминий/кремний, процессы при лазерном облучении*

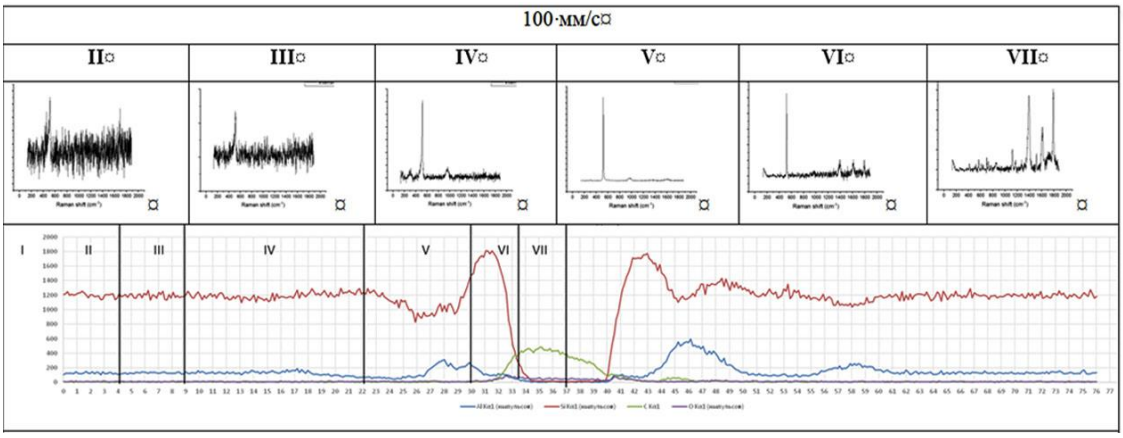
Особый интерес вызывает такая активно развивающаяся область, как гибкая электроника. Она находит свое применение в создании аккумуляторов [1], датчиков [2] и даже электронной кожи [3]. На данный момент кремний (Si) является основным полупроводниковым материалом, применяемым во многих сферах человеческой жизни [4]. Довольно часто используется аморфный кремний (a-Si) [5], но применение его кристаллических (c-Si) форм позволяет создать более эффективные приборы, сенсоры и датчики [6]. Таким образом, становится важным поиск способов создания поликристаллических пленок Si на гибких подложках. В недавних работах [7, 8] был предложен метод металл-индуцированной лазер-стимулированной (МИЛС) кристаллизации Si. В качестве металла использовался алюминий (Al). Особенность методики заключается в том, что излучение инфракрасного лазера поглощается только слоем металла, который передает свою энергию Si путем теплопередачи. Подложка в данном случае не поглощает излучение лазера, что позволяет использовать гибкие легкоплавкие подложки.

В настоящей работе исследуются процессы, происходящие со структурой Al/Si под воздействием инфракрасного лазерного излучения.

На подложку из полиимида (ПИ) методом магнетронного напыления последовательно наносился слой Si толщиной 1 мкм, затем слой Al толщиной 100 нм. Напыление проводилось в установке Nexdep (Angstrom, Canada) в среде аргона. С помощью импульсного лазера с длиной волны 1064 нм в результате однократного прохода при скорости движения лазерного луча 100 мм/с на образце формировалась линия протяжённостью 6 мм. Остальные параметры лазерного излучения: частота 99 кГц, мощность 0,01 мДж, длительность импульса 100 нс. Лазерная обработка проводилась на установке МиниМаркер 2 (Лазерный центр, Россия). Была исследована структура слоя Si после обработки, а также состав образца. Структура была изучена методом комбинационного рассеяния света (КРС) с помощью микроскопа InVia (Renishaw, Великобритания), оснащённый лазером с длиной волны 532 нм. Состав изучался методом энергодисперсионного анализа (ЭДА) с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan Mira II, снабжённого приставкой ЭДА Oxford Instruments. В обоих случаях исследования проводились поперек обработанных линий путём линейных сканов. С помощью перечисленных исследований на поверхности образца были выделены семь областей, отличающихся структурой слоя Si и химическим составом. На рисунке представлено сопоставление характерных спектров КРС профилям состава ЭДА.

На рисунке нумерация областей начинается с II, т. к. область I соответствует необработанному лазерным излучением образцу с ненарушенным слоем Al. В области II

появляется пик a-Si (при этом Al не мешает детектированию Si). В области III уже обнаруживается микрокристаллический Si (положение пика в районе 510 $см^{-1}$). Область IV отличается c-Si с пиком низкой интенсивности и примесью a-Si. Области V соответствует пик c-Si с высокой интенсивностью, в данной области характерно наличие максимума содержания Si. Область VI сочетает спектры c-Si и ПИ подложки, в данной области целостность напыленного покрытия нарушается, на что указывают появившиеся пики ПИ. В области VII обнаруживается только оголенный ПИ. Таким образом, по результатам исследований чётко прослеживается снижение интенсивности воздействия лазерного излучения по мере удаления от центра линии. Вследствие этого содержание c-Si снижается, от полностью кристаллизованного Si в областях V и VI до полностью аморфного в области II.



Сопоставление спектров КРС профилю ЭДА

Поскольку в данной работе облучение проводилось лазером с длительностью импульса 100 нс, в качестве режима абляции можно рассматривать режим нормального испарения [9]. Согласно полученным профилям ЭДА по краям оголенного ПИ есть участки с повышенным содержанием Si и Al (максимумы в областях VI и V, соответственно). Такие участки с валами застывшего расплава вызваны выносом расплава под действием давления отдачи паров, характерным для нормального испарения. Так как Al напылен поверх Si и является слоем, поглощающим энергию лазерного излучения, он интенсивнее испаряется и оседает в области V на границе кратера. Si получает энергию путем теплопередачи от Al и нагревается меньше. Из-за этого формируется свободная от Al область c-Si (область VI). В Al после повторного застывания образуются трещины, и это позволяет детектировать a-Si и c-Si (области II-IV).

Авторы выражают благодарность В.В. Галушка за оказанную помощь в исследованиях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ № 23-22-00047, https://rscf.ru/project/23-22-00047/.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Dong X., Chen L., Su X., Wang Y., Xia Y. Flexible aqueous lithium-ion battery with high safety and large volumetric energy density. – Angew Chem. Int. Ed. Engl. – 2016. – № 55. – P. 7474-7477.

2. Cao Y., Zhang G., Zhang Y., Yue M., Chen Y., Cai S. Direct fabrication of stretchable electronics on a polymer substrate with process integrated programmable rigidity – Adv. Funct. Mater. – 2018. – № 28. – 9 p.

3. Chortos A., Liu J., Bao Z. Pursuing prosthetic electronic skin – Nat. Mater. – 2016. – № 15. – P. 937-950.

4. Lovett A.J., Daramalla V., Nayak D., Sayed F.N., Mahadevegowda A., Ducati C. 3D Nanocomposite Thin Film Cathodes for Micro-Batteries with Enhanced High-Rate Electrochemical Performance over Planar Films – Advanced Energy Materials. – 2023. – № 13. – 11 p.

5. Sreejith S. A Comprehensive Review on Thin Film Amorphous Silicon Solar Cells / S. Sreejith, J. Ajayan, Sreedhar Kollem, B. Sivasankari // Silicon. – 2022. – № 14. – P. 8277-8293.

6. Hou J., Yang B., Li X., Ma C., Wang B., Long H., Yang C., Chen S.J. Efficient and stable thin-film crystalline silicon solar cell by introducing rotation factor in surface square pillar array grating – Nanophot. – 2020. – № 14. – 15 p.

7. Волковойнова Л.Д., Сердобинцев А.А. Оптимизация металл-индуцированной лазер-стимулированной кристаллизации пленок кремния на гибкой подложке путем варьирования толщины слоя алюминия. – Физика твердого тела. – 2023. – № 12. – С. 2177-2180.

8. Сердобинцев А.А., Карташова А.М., Демина П.А., Волковойнова Л.Д., Кожевников И.О., Галушка В.В. Лазер-стимулированная металл-индуцированная кристаллизация кремниевых покрытий на пленочных и нановолокнистых полимерных подложках. – Журнал технической физики. – 2024. – № 3. – С. 497-506.

9. Поляков Д.С., Шамова А.А., Шандыбина Г.Д. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Ч. 2. Физико-химические процессы в конденсированных средах, инициированные лазерным нагревом: учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2023. – 100 с.

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ХЕЛАТНЫХ БИСФЕНИЛАЛАНИНСОДЕРЖАЩИХ N,O-КОМПЛЕКСОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Галимов М.Н.
Научный руководитель: к.х.н., доцент Берестова Т.В.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Аннотация. *Методом квантово-химического моделирования (метод M06 с базисным набором 6-311+G(d)) проведён анализ бис-фенилаланинатных комплексов переходных металлов общей формулы [M(S-Phe)(S-Phe)], где M = Cu(II), Ni(II), Zn(II). Установлены характерные особенности структуры комплексов в зависимости от природы металла, а также закономерности в конформационном составе образующихся комплексных соединений. Показано, что структурная конформационная изомерия обусловлена влиянием заместителя лигандов при хиральном центре и связанна с их расположением в пространстве и относительно друг друга.*

Ключевые слова: *квантово-химическое моделирование, аминокислотные комплексы переходных металлов, конформационная изомерия*

Известно, что при образовании бислигандных аминокислотных комплексов переходных металлов, ионы металла связываются с лигандами путём N,O-хелатирования [1-2], образуя два пятичленных цикла [3-6].

Было установлено, что ионы металлов, проявляющих координационные числа 4 (Cu(II)) или 6 (Ni(II)) в ходе комплексообразования с N,O-лигандами образуют плоско-квадратную или октаэдрическую структуру соответственно (рис. 1, 2).

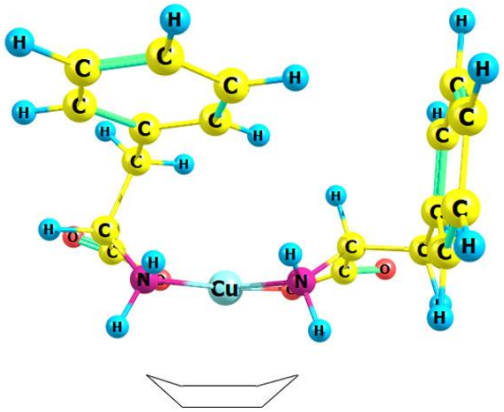


Рис. 1, а
$CuC_{18}N_2H_{20}O_4$
цис-*S*-Phe(A)-*S*-Phe(E)
«ванна»

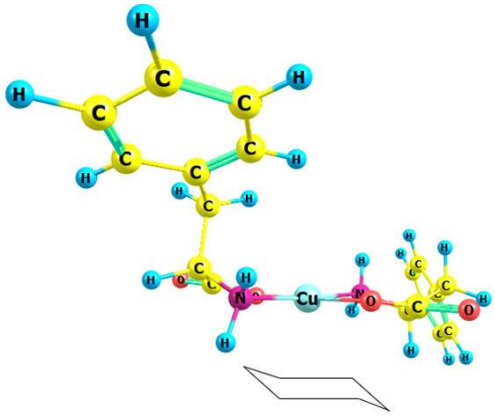


Рис. 1, б
$CuC_{18}N_2H_{20}O_4$
транс-*S*-Phe(A)-*S*-Phe-(E)
«кресло»

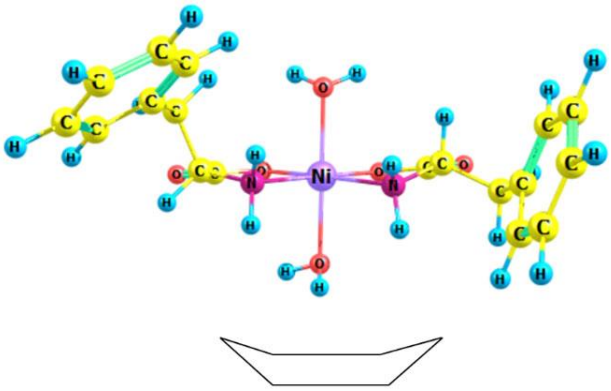


Рис. 1, в
$NiC_{18}N_2H_{20}O_4{*}2H_2O$
цис-*S*-Phe(A)-*S*-Phe(E)
«ванна»

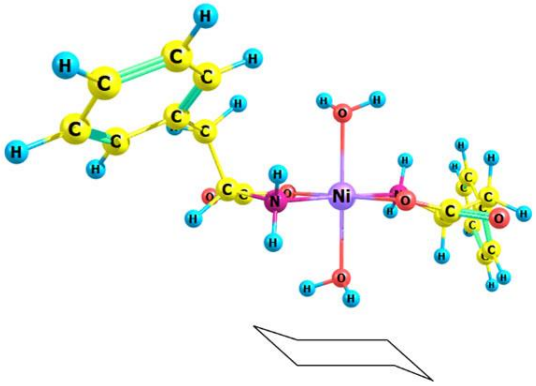


Рис. 1, г
$NiC_{18}N_2H_{20}O_4{*}2H_2O$
транс-*S*-Phe(A)-*S*-Phe-(E)
«кресло»

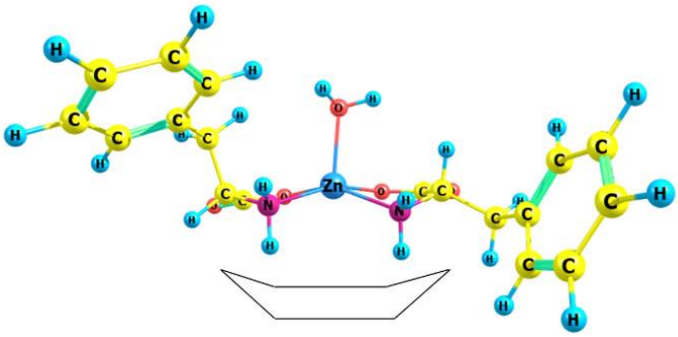


Рис. 1, д
$ZnC_{18}N_2H_{20}O_4{*}H_2O$
цис-*S*-Phe(A)-(*S*)-Val(E)
«ванна»

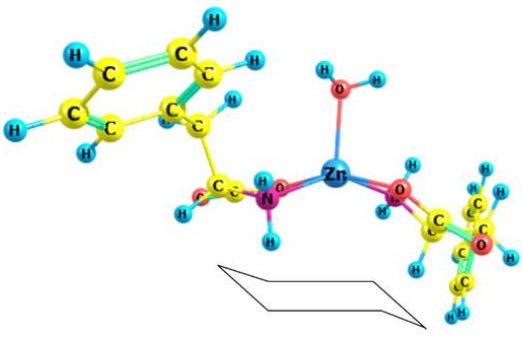


Рис. 1, е
$ZnC_{18}N_2H_{20}O_4{*}H_2O$
транс–*S*-Phe(A)-*S*-Val(E)
«кресло»

Рис. 1. Структура бис-фенилаланинатных комплексов Ni (II), Cu(II), Zn(II), рассчитанные в программе Gaussian 09, методом M06 с базисным набором 6-311+G(d)

При этом плоскость, образованная хелатными кольцами, имеет существенные искажения от идеального квадрата (плоскости) в случае комплексов Cu(II), и менее значительные искажения от идеального октаэдра для комплексов Ni(II). Подобное искажение характерно как для *цис-*, так и для *транс*-изомеров бис-фенилаланинатных комплексов обоих переходных металлов, и проявляется в виде конформаций «ванна» или «кресло» (рис. 1, а-г).

В случае, когда координационное число металла равно 5 (Zn(II)), координационным полиэдром комплексного соединения является тетрагональная пирамида, поэтому проследить образование конформаций «ванна» и «кресло» очень сложно, но они присутствуют из-за сохранения тетраэдрической геометрии хирального атома углерода в анионе фенилаланина (рис. 1, д и 1, е).

Таким образом, из рисунков видно, что искажение структуры, образующегося комплекса общей формулой [M(*S*-Phe)(*S*-Phe)], от идеального геометрического (координационного) полиэдра определяется координационным числом иона металла и абсолютной конфирурацией хирального центра лиганда.

В связи с этим, хелатные *S*-*S*-фенилаланинатные комплексы Ni(II) имеют незначительное искажение структуры от идеального октаэдра, что связано с присутствием молекул воды, как дополнительного лиганда, в аксиальных положениях, и оказывающих дополнительный электронный и стерический фактор; комплексы Cu(II) значительно искажаются в *цис*-конфигурации, в то время как в *транс*-конфигурации стремятся к геометрии плоского квадрата; а комплексы Zn(II) из-за нечетного координационного числа, и, следовательно, неравнозначного влияния лигандов, сильно искажаются и представляют собой тетрагональную пирамиду, которая для *транс*-изомеров сильнее деформирована, чем для *цис*.

Для комплексов общей формулой [M(*S*-Phe)(*R*-Phe)], где M = Cu(II), Ni(II), Zn(II)), конформации «ванна» или «кресло» образующихся молекул будут противоположными комплексам с S-фенилаланином ([M(*S*-Phe)(*S*-Phe)]) из-за инверсии хирального центра аминокислоты.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Zilberg R.A., Berestova T.V., Gizatov R.R., Teres Y.B., Galimov M.N., Bulysheva E.O. Chiral Selectors in Voltammetric Sensors Based on Mixed Phenylalanine/Alanine Cu(II) and Zn(II) Complexes // Inorganics, 2022, Vol. 10 (8). – P. 117.

2. Berestova T.V., Gizatov R.R., Galimov M.N., Mustafin A.G. Influence of the absolute configuration of the ligand's chiral center on the structure of planar-square phenyl-containing bis-(N,O)copper(II) chelates // Journal of Molecular Structure, Vol. 1236. Pp. 303-324.

3. Laurie S.H. Comprehensive coordination chemistry : the synthesis, reactions, properties & applications of coordination compounds, Pergamon Press, Oxford, 1987. Vol. 2. Pp. 739-776.

4. Laurie S.H., Berthon G., Dekker M. Handbook of Metal-Ligand Interactions in Biological Fluids: Bioinorganic Chemistry. Marcel Dekker, 1995. Vol. 1. Pp. 603-619.

5. Kiss T. In Biocoordination Chemistry Coordination Equilibria in Biologically Active Systems, Burger, K., Ed., Ellis Horwood Chichester, UK, 1990. Pp. 56-134.

6. Remko M. et al. Effect of metal Ions (Ni^{2+}, Cu^{2+} and Zn^{2+}) and water coordination on the structure of L-phenylalanine, L-tyrosine, L-tryptophan and their zwitterionic forms // Journal of Molecular Modeling. – 2011. – Vol. 17. – P. 3117-3128.

АДСОРБЦИОННЫЕ И ДЕСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ В РАСТВОРЕ ХЛОРГЕКСИДИНА

Галишникова Ю.О.
Научный руководитель: к.х.н., доцент Никитюк Т.В.

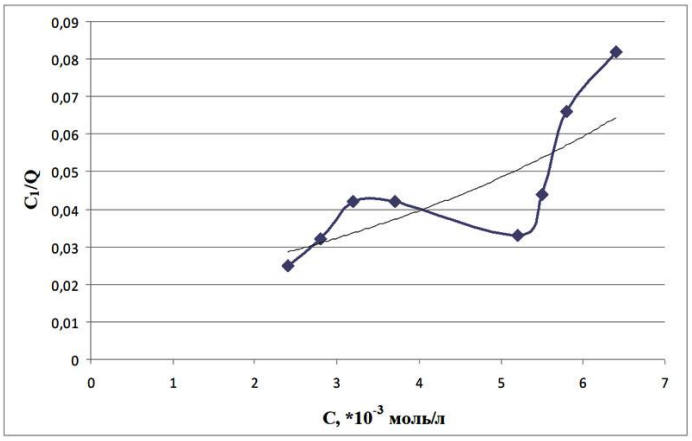
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

Аннотация. *В статье рассмотрена сорбция и десорбция хлоргексидина в модельном растворе плазмы крови на поверхности наноструктурных порошков полититаната калия.*

Ключевые слова: *полититанат калия, адсорбция, десорбция, хлоргексидин, модельный раствор плазмы крови*

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. Одним из самых распространенных бактерицидных средств является хлоргексидин.

Нами предлагается для бактерицидных целей использование в составе нетканых перевязочных материалов систем: частично протонированных порошков полититаната калия, синтезированных по методикам [2, 3] и модифицированных хлоргексидином в модельном растворе плазмы крови. Выбор протонированного ПТК в качестве носителя обусловлен его безопасностью для организма ($pH_{пов.}$ = 7), наличием слоистой структуры с большой удельной поверхностью (до 120 $м^2/г$) и высокой сорбционной емкостью по отношению к органическим соединениям катионного типа, к которым относятся хлоргексидин. В последнее время уделяется внимание изучению адсорбции и десорбции хлоргексидина на различных носителях. Хлоргексидин обладает хорошими сорбционными свойствами, что показывает его эффективность в лечении кожных ран. Были изучены физико-химические свойства полученных систем: порошков протонированного полититаната калия в модельном растворе плазмы крови и растворе хлоргексидина (рисунок).



Изотерма адсорбции хлоргексидина на поверхности полититаната калия в координатах Ленгмюра

Изучение адсорбции хлоргексидина проводилось из рабочих растворов с разными концентрациями хлоргексидина в модельном растворе плазмы крови на 1 г ПТК. При постоянном перемешивании в течение 1 часа, далее растворы отфильтровывались. Концентрации определялись титримитрическим методом с гидроксидом натрия.

По полученной изотерме адсорбции модели Ленгмюра установлено, что модель, применимая для монослойной адсорбции на однородной поверхности, не работает для данного вещества. Для изучения процесса адсорбции хлоргексидина на поверхности полититаната калия следует рассматривать другие модели адсорбции.

Для изучения десорбции хлоргексидина с поверхности полититаната калия в модельном растворе плазмы крови порошки протонированного полититаната калия выдерживали в течение часа в растворах хлоргексидина и модельном растворе плазмы крови при разных концентрациях. Затем растворы фильтровали, осадки заливали модельным раствором плазмы крови и проводили десорбцию в течение часа, при этом каждые 10 мин титриметрическим методом измеряли концентрации в растворах.

Было установлено, что скорость сорбции и десорбции хлоргексидина равна при одинаковых условиях. Во время адсорбции на поверхность полититаната калия адсорбировалось максимальное количество хлоргексидина, которое в дальнейшем десорбировалось с поверхности полититаната калия в таком же количестве.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Синтез и биоцидные свойства модифицированных полититанатов 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. Molten salt synthesis and characterization of polytitanate ceramic precursors with varied TiO2/K2O molar ratio / T. Sanchez-Monjaras, A.V. Gorokhovsky, J.I. Escalante-Garcia // Journal of the American Ceramic Society. – 2008. – № 9. – P. 3058-3065.

3. Гоффман В.Г., Макарова А.Д., Максимова Л.А., Гороховский А.В., Третьяченко Е.В., Горшков Н.В., Викулова М.А., Байняшев А.М. Твердый протон – проводящий керамический электролит для накопителей энергии // Электрохимическая энергетика. 2021. Т. 21, № 4. С. 197-205.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПУТЕМ ИНТЕГРАЦИИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Говорова В.Д., Пойлов А.О., Шаманская Е.В.
Научный руководитель: Бакаев А.А.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Аннотация. *В статье представлено исследование возможностей модернизации процесса проектирования и изготавления элементов изделий медицинского назначения через использование компьютерного моделирования и аддитивных технологий. Описан практический опыт совместной работы сотрудников и студентов кафедры медико-биологической техники ОГУ и кафедры травматологии и ортопе-*

дии ОРГМУ по разработке элемента компрессионно-дистракционного аппарата. Результатом работы стала созданная студентами ОГУ компьютерная элементов аппарата Илизарова. Создание модели открыло возможности персонификации параметров изделия и изготовления элементов конструкции при помощи аддитивных технологий из рентгенопрозрачных материалов. Дано заключение о перспективности применения новых технологий для решения практических задач, стоящих перед медицинскими и инженерными специалистами в ходе сопровождения диагностического и лечебного процессов.

Ключевые слова: *компьютерное моделирование, аддитивные технологии, рентген-прозрачность, проектирование, остеосинтез*

Введение

Актуальность интеграции современных технологий в процесс проектирования и изготовления элементов медицинских устройств обусловлена возрастающей потребностью в индивидуализации конструктивно-технологических параметров медицинских изделий и аппаратов [1-3]. Модернизация технологического процесса создания медицинских изделий является частью стратегии персонализированной медицины, внедряемой сейчас в практическое здравоохранение.

Цель данной работы – определить перспективность интеграции новых технологий в процесс проектирования и изготовления элементов медицинских изделий и устройств, в частности, индивидуальных дуг компрессионно-дистракционного аппарата Илизарова.

Задачи работы:

1) описать возможности модернизации процесса проектирования и изготовления элементов изделий медицинского назначения через использование новых технологий;

2) описать практический опыт применения новых технологий;

3) дать заключение о перспективности применения новых технологий для решения практических задач, стоящих перед медицинскими и инженерными специалистами в ходе сопровождения диагностического и лечебного процессов.

На этапе проектирования возможности модернизации процесса создания элементов изделий медицинского назначения включают применение компьютерных программ для объемной визуализации изделия на основании чертежей, рисунков или персонифицированных параметров. Объёмная визуализация дает возможность медикам и инженерам получить представление о конечном виде изделий в удобной для восприятия форме и внести необходимые изменения в их параметры до изготовления.

На этапе изготовления возможна модернизация через применение аддитивных технологий-методов создания трехмерных объектов путем послойного добавления материала: пластика, металла, бетона и т. д. Аддитивные технологии на качественном уровне превосходят традиционные методы изготовления, такие как штамповка, литье, резка, формование [4]. Они дают возможность предсказывать и моделировать внутреннюю структуру изделий, определяющую их свойства и функционирование при эксплуатации.

Практика интеграции современных технологий в процесс проектирования и изготовления изделий медицинского назначения активно ведется сотрудниками и студентами кафедры Медико-биологической техники Оренбургского государственного университета при решении практических задач.

Проект по разработке индивидуальных дуг анатомической формы при помощи аддитивных технологий, реализуемый совместно с кафедрой Травматологии и ортопедии Оренбургской государственной медицинской академии, является примером междисциплинарной работы инженерных и медицинских специалистов. Практическая за-

дача этого проекта была обозначена специалистами ОрГМУ и заключалась в создании компьютерной модели дуги-детали компрессионно-дистракционного аппарата, которую в будущем можно будет изготовить на 3D-принтере из рентгенопрозрачного материала. Компрессионно-дистракционный аппарат представляет собой медицинское устройство, предназначенное для длительного скрепления фрагментов костной ткани, для её сжатия (компрессии) или растяжения (дистракции) при проведении «чрескостного остеосинтеза» в процессе лечения переломов и деформаций костей конечностей.

Материалы и методы

Материалами для работы послужили чертежи устройства.

Ситуационная задача, поставленная перед инженерами-разработчиками, была представлена многооскольчатым переломом костей стопы. Важной особенностью медицинского и инженерного сопровождения процесса остеосинтеза (хирургическая репозиция костных отломков при помощи различных фиксирующих конструкций) для таких переломов является проблема рентгеноконтрастности материалов, мешающей наблюдению за процессом перемещения костных отломков. Для этой проблемы аддитивные технологии, работающие с полимерными, рентгенопрозрачными материалами являются инновационным решением [5-7].

Адиттивные технологии не возможны в реализации без компьютерного обеспечения, точками приложения возможностей которого являются создание визуальной 3D-модели и управление процессом печати изделия.

Методом для создания модели стало векторное моделирования объёмных структур в программе Fusion 360. Преимуществами этой программы являются широкие возможности для моделирования, предполагающим разные способы создания объёмных фигур и возможность многоплоскостной визуализации объекта построения. При помощи программы была сформирована 3D-модель дуг. Затем модель была перенесена в программу-слайсер с целью получения файла, доступного для чтения 3D-принтером.

Результаты

Главным результатом проделанной работы стала компьютерная модель дуг костно-дистракционного аппарата, созданная студентами кафедры Медико-биологической техники ОГУ. Её можно реализовать в материальное изделие при помощи аддитивных технологий, при этом персонифицировав параметры под индивидуальные особенности конкретных пациентов.

Обсуждение результатов

Качественная детализация модели была обозначена специалистами ОрГМУ как ключевой показатель эффективности применения компьютерного моделирования в процессе проектирования и создания изделий медицинского назначения.

Созданная модель отвечает требованиям к уровню детализации и к проекциям визуализации, что говорит о высоком потенциале внедрения технологий компьютерного моделированя в процесс разработки изделий медицинского назначения.

Применение компьютерного моделирования делает возможной точную подгонку конструкционных параметров медицинских изделий и аппаратов. В опыте с дугами костно-дистракционного аппарата индивидуализация формы и размера изделия позволяет применять его для репозиции костей сложной формы и при многооскольчатых переломов.

Заключение

Цель работы, заключающаяся в определении перспективности интеграции новых технологий в процесс проектирования и изготавления элементов медицинских изделий и устройств была достигнута через изучение теоретических материалов, а также через реализацию практического опыта.

Возможности адиттивных технологий и компьютерного моделирования включают индивидуализацию параметров элементов конструкций медицинских устройств

для помощи пациентам с тяжелыми травмами или врожденными особенностями и управление внутренней структурой изделий.

Позитивные результаты опыта разработки модели индивидуальных дуг анатомической формы свидетельствуют о высокой перспективности внедрения новых технологий в практику инженерного сопровождения лечебно-диагностического процесса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Яриков А.В. и др. Применение аддитивных технологий 3D-печати в травматологии-ортопедии и нейрохирургии // Врач. – 2021. – Т. 32. – № 10. – С. 8-15.

2. Николаенко А.Н., Иванов В.В., Дороганов С.О., Букатый А., Згирский Д.О., Исайкин П.Ю. Цифровое моделирование критических состояний эндопротезирования пястно-фалангового сустава // Гений ортопедии. 2023. – Т. 29 (2). – С. 148-154.

3. Нагибович О.А. и др. Применение технологии 3D-печати в медицине // Клиническая патофизиология. – 2017. – Т. 23. – № 3. – С. 14-22.

4. Сергеева О.Ю. Аддитивные технологии и 3D-моделирование // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2018. – Т. 10. – № 4. – С. 142-158.

5. Яриков А.В. и др. Применение аддитивных технологий 3D-печати в нейрохирургии, вертебрологии, травматологии и ортопедии // Клиническая практика. – 2021. – Т. 12. – № 1. – С. 90-104.

6. Гребнев Г.А., Багненко А.С., Москвин Г.В. Аддитивные технологии в персонализированной стоматологии и челюстно-лицевой хирургии // Известия Российской Военно-медицинской академии. – 2019. – Т. 38. – № 2. – С. 20-24.

7. Баиндурашвили А.Г. и др. Применение трехмерной печати в хирургии позвоночника и другой костной патологии // Современные проблемы науки и образования. – 2019. – № 6. – С. 194-194.

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ЗАЩИТНОЙ ОКСИДНОЙ ПЛЕНКИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

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

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

Аннотация. *В работе рассматривается вопрос взаимодействия различных агрессивных сред с поверхностью нержавеющей стали марки 20Х23Н18, после проведенной термической обработки. В качестве агрессивной среды используется расплав электровакуумного стекла. Показано, что поверхность стали после одного и того же режима термической обработки по разному реагирует на расплав стекла с разным химическим составом.*

Ключевые слова: *Термическая обработка, стекло марки С52-1, стекло марки С93-1, нержавеющая сталь 20Х23Н18, химическое взаимодействие, газовый пузырь*

Введение

Понимание взаимодействия, разнородных между собой, материалов имеет высокую актуальность, особенно если данное взаимодействие происходит в процессе пере-

работки или выработки какой-либо продукции. При этом побочные продукты данного взаимодействия могут привести к нарушению технологического цикла, к ухудшению качества получаемой продукции, к поломке или досрочному выходу технологического оборудования или элементов какой-либо конструкции из строя.

Одним из ярких примеров подобного взаимодействия, является взаимодействия металлических элементов конструкций (оснастки) с агрессивной средой. Например, результаты подобного взаимодействия описаны в работах [1-3]. Причем, как отмечается, основной причиной проблем возникающих при работе металлов в агрессивных средах, является их склонность к коррозии. Коррозионные процессы ухудшают прочность конструкций, приводя к их разрушению. Ранее в работах [4, 5], были описаны процессы коррозионного взаимодействия между формообразующей оснасткой и расплавом стекла. В работах показано, что коррозионные процессы на поверхности оснастки приводят к появлению брака в получаемой продукции.

Отсюда следует, что минимизация или полное устранение коррозионных процессов на поверхности металлов является актуальной и важной задачей. Одним из вариантов борьбы с коррозией, является получение защитной оксидной пленки на поверхности металлического изделия. Существует ряд работ затрагивающих эту тему [6, 7]. Одним из вариантов получения защитной оксидной пленки является термическая обработка, причем положительные результаты подобной обработки были показаны в работе [8], но стоит отметить, что режимы обработки будут индивидуальны. И результат обработки при взаимодействии с разными средами может отличаться.

Как говорилось ранее, в некоторых работах уже проводились исследования по взаимодействию формообразующей оснастки из нержавеющей стали со стеклами марки С93-3 и С93-3М. Было решено провести аналогичные эксперименты с другими марками электровакуумных стекол, используемых в электронной промышленности.

Ход эксперимента

Для проведения эксперимента были выбраны стекла марок С52-1 и С93-1 (химический состав указан в таблице № 1).

В качестве экспериментальной стали взята сталь 20Х23Н18, произведенная методом горячего проката (химический состав указан в таблице № 2), применяемая в качестве материала в работе [8], а для оценки качества режима термической обработки был выбран лучший режим, указанный в данной работе – полный отжиг при температуре 810° С с выдержкой в течение 6,5 часов.

Отжиг проводился в муфельной печи Plavka.pro – ПМ5.

Для оценки полученных результатов использовался микроскоп МБС-2, производство «Лыткаринский завод оптического стекла» (СССР).

Таблица 1

Химический состав электровакуумных стекол

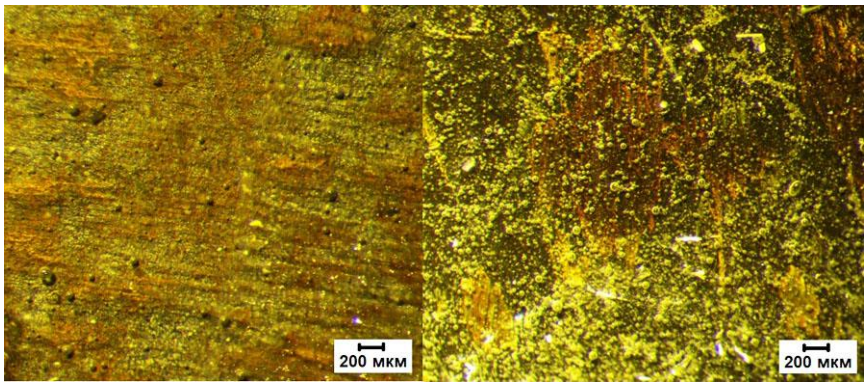
Стекло	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	B_2O_3	PbO
С52-1	68,70 %	3,50 %	4,40 %	4,40 %	19,00 %	
С93-1	55,00 %	2,00 %	3,80 %	9,20 %		30,00 %

Таблица 2

Химический состав нержавеющей стали 20Х23Н18

Марка стали	Массовая доля элементов, %							
	Cr	Ni	Mn	Si	C	S	P	Fe
20Х23Н18	22-25 %	17-20 %	До 2	До 1	До 0,2	До 0,02	До 0,035	остальное

После проведенного отжига полученные образцы стали были помещены в муфельную печь вместе с кусками стекла, указанных выше марок и нагреты до температуры, выше температуры размягчения данных стекол на 100° С и выдержанны в течение нескольких часов.



а б

Рис. 1. Фотография поверхности стали 20Х23Н18 после термической обработки при температуре 810° С с выдержкой 6,5 часов при взаимодействии с различными марками электровакуумных стекол: а – стекло марки С52-1, б – стекло марки С93-1

После чего поверхность образцов была осмотрена под микроскопом. Как можно видеть из рисунка (рис. № 1, а), поверхность стали при взаимодействии со стеклом марки С52-1, достаточно чистая (т. е. на ней отсутствуют продукты химического взаимодействия расплава стекла и стали – газовые пузыри), при этом на поверхности образцов, после взаимодействия со стеклом С93-1, количество пузырей достаточно большое (рис. № 1, б). Что подтверждает предположения о том, что термическая обработка, благодаря которой формируется защитная оксидная пленка на поверхности металла, должна быть индивидуальной и подбираться под химический состав агрессивной среды.

Выводы

Проведенные исследования показали, что режимы термической обработки нержавеющей стали 20Х23Н18, с целью повышения ее коррозионной стойкости в агрессивной среде, не являются универсальными. Так оксидная пленка, полученная на режимах отжига для стекла С93-3М, подходит, в том числе, для стекла марки С52-1, т. е. при взаимодействии расплава данных стекол с поверхностью стали не наблюдается активного образования продуктов коррозионных процессов – газовых пузырей. При этом при взаимодействии расплава стекла марки С93-1 количество образовавшихся пузырей значительно.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Веревкин В.И. Устранение причин электрохимической коррозии обшивок судов / В.И. Веревкин, В.Ф. Игушев, С.А. Терюшева // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 4-2. – С. 27-31.

2. Сырбу С.А. Скорость коррозии стали марки «Сталь 3» в паровоздушной среде прямогонного бензина при различных концентрациях сероводорода / С.А. Сырбу, А.Г. Азовцев // Современные проблемы гражданской защиты. – 2020. – № 3. – С. 110-114.

3. Кушнаренко В.М. Причины преждевременного разрушения теплообменных труб энергетического оборудования / В.М. Кушнаренко, Ю.А. Чирков, и др. // Вестник КГЭУ. – 2021. – Т. 13. – № 1. – С. 75-84.

4. Гостев С.Д. Коррозия жаропрочной стали 20Х23Н18 при взаимодействии с электровакуумным стеклом марки С93-3 / С.Д. Гостев, А.Р. Давыдова, С.А. Сидорова // Сборник статей по матер. 5-й междунар. науч. конф. молодых ученых – Энгельс, 2023. – С. 144-148.

5. Гостев С.Д. Влияние метода проката стали 20Х23Н18 на взаимодействие с электровакуумным стеклом / С.Д. Гостев, С.А. Сидорова, А.Р. Давыдова // Сборник статей по матер. 10-й междунар. науч.-практич. конф. – Уфа, 2022. – Т. Ч. № 1. – С. 166-171

6. Ильин Р.Ю Исследование свойств поверхности нержавеющей хромоникелевой стали , упрочненной воздушно-термическим оксидированием / Р.Ю. Ильин, Л.Е. Куц // Сборник статей по матер. международной науч.-технич. конф. – Курск, 2023. – Т.3. – С. 281-286.

7. Бутуханов В.А. Диффузионное упрочнение штамповой оснастки / В.А. Бутуханов, Б.Д. Лыгденов, Б.Ш. Цыреторов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2014. – № 1. – С. 459-466.

8. Гостев С.Д. Исследование химического взаимодействия жаропрочных сталей с электровакуумным стеклом марки С93-3М / С.Д. Гостев, И.Ю. Гоц, Т.Г. Насад // Стекло и керамика. – 2023. – Т. 96. – № 7. – С. 3-8.

НАНЕСЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ГАЛЬВАНООБРАБОТКИ

Грибанов И.Д.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Тюльпина О.В.

Балтийский федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград

Аннотация. *В статье описаны история происхождения и оборудование для нанесения гальванопокрытий. Так же рассмотрены виды гальванопокрытий и применение в медицине.*

Ключевые слова: *металлическое покрытие, разложение, гальваническое покрытие*

Одно из направлений повышения механических свойств изделий состоит в нанесении покрытий различных свойств. Возможность нанесения металлов на различные поверхности даёт большое развитие инженерии. Этот метод остаётся актуальным на протяжении большого количества времени, потому что сочетание различных свойств материалов даёт множество различных возможностей. Гальваника – один из способов получения металлических покрытий на различных поверхностях, самый распространённый и наименее трудо и финансово затратный. С каждым годом он приобретает актуальность, в связи с всё большими потребностями как науки, так и военного дела, и повседневной жизни. Прикладная значимость метода нанесения покрытий гальваникой высока, существует большое количество инженерных, декоративных и иных задач, которые он помог бы решить или продвинуть пути её решения.

Данный метод не назвать новым, он был открыт в 1838 году. Гальваника появилась как альтернативное решение использования дорогих материалов там, где нужно лишь покрытие из них. А также как способ получения изделий из металлов с нужными механическими или иными свойствами, если из вышеуказанных металлов невозможно или не выгодно делать эти изделия. Сама идея гальванического метода берёт своё нача-

ло от электролиза. Это явление было открыто в самом начале XIX в. Первые систематические исследования тока в электролитах провел Фарадей в 1833-1834 гг. Он установил следующее: «чрезвычайно важный принцип... что количество воды, разложенной под влиянием электрического тока, в точности пропорционально количеству прошедшего электричества». И далее: «продукты разложения могут быть собраны с такой точностью, что дают превосходное и ценное средство для измерения электричества, участвующего в их выделении» [5].

Электролиз как слово обозначает разложение чего-либо электрическим током. Для его проведения требуются сосуд с расплавом или раствором электролита, источник постоянного тока и два электрода – анод и катод. На аноде проходит восстановительная реакция, а на катоде – окислительная. Например, при воздействии электрического тока вода разлагается на кислород и водород. Так же происходит и гальваника, только в этом случае благодаря протекающего через электролит току, пластина металла, которым нужно нанести слой на деталь и являющаяся анодом, растворяется выделяя соли металла, которые стремятся присоединиться к катоду – подсоединённой к цепи детали, которая и нуждается в покрытии. Технология гальваники не является сложной в реализации, но нуждается в наличии специального оборудования и достаточной квалификации исполнителей, что является необходимым требованием и для других машиностроительных технологий и производств [4, 9]. В будущем технология может быть полностью автоматизирована.

Оборудование для гальванопроизводства состоит из: гальванических ванн различных форм и размеров (колокола, барабаны, линии моечных ванн), фильтровочных станций, насосов, сушилок, жироулавливателей, вентиляции и т. д.. Рассмотрим некоторые элементы подробнее.

Гальваническая ванна – ёмкость с электролитом, в которую погружаются анод и катод. Они подразделяются на активные и подготовительные (вспомогательные).

Активные применяются непосредственно для нанесения покрытий, а подготовительные, как следует из названия, для подготовки деталей перед погружением в активную. Вспомогательные ванны подразделяются на следующие виды ванн: для приготовления растворов, сушки, промывки и каскадной промывки. Гальваническая ванна включает в себя: крышку, подставку с регулируемой опорой, катодами, трапом для обслуживания, системой подачи воды, системой слива, решетки для защиты нагревательных элементов, механизмом качания, системой перемешивания, установкой фильтрации, системой охлаждения, бортовым отсосом, штангами, ложементами, системой перекачки электролита, подвеской, анодами.

Так же необходимо рассмотреть моечные ванны для обработки деталей мелкого размера. Колокольные ванны – предназначены для нанесения покрытия на поверхность мелких деталей, но не по отдельности, а в виде россыпи. Применяется как часть гальванической линии, так и самостоятельно. Колокол наливного типа – ёмкость, идентичная колокольной ванне по назначению, но имеет иную форму – усеченный многогранный колокол.

Гальванический барабан – применяется в автоматизированных, механизированных и ручных гальванических линиях. Имеет форму многогранной призмы с перфорированными гранями.

Существуют так же различные виды гальванических линий: шнековая, ручная и ручная с тельфером, автооператорные и кареточные [6]. Кроме оборудования для нанесения различных металлов меняется плотность и сила тока. Так, для покрытия деталей медью плотность тока должна составлять 20-30 мА на $см^2$. Существует и зависимость от размеров порываемых деталей: для мелких деталей нужна сила тока 0,1-0,2 А, в то время как крупные потребуют 0,4 А и больше.

Рассмотрим виды гальванических покрытий. Существует множество различных покрытий: чёрный, жёлтый, белый цинк; оловянирование (лужение); олово-висмут; меднение; кадмирование; никелирование; хромирование. Кроме металлов могут наноситься и красители с помощью анодирования и эматалирования. Проводится химическое создание оксидной плёнки на стали (воронение), химическая электропроводящая оксидная плёнка (алюминия), химическая пассивация (нержавеющая сталь) и прочие покрытия.

Оловянно-висмутовое покрытие рекомендуется как защитное для деталей, подлежащих последующей пайке. Цинковое покрытие защищает сталь от коррозии электрохимически и механически, это зависит от температуры, при котором ведётся нанесение. Покрытие так же способствует лучшей защите от контактной коррозии сталей при соединении с деталями из алюминия и его сплавов, гарантирует свинчиваемость резьбовых деталей. Медные покрытия наносятся в качестве технологического подслоя для других покрытий, которое уменьшает пористость и повышает сцепление [1].

Но не всегда гальванические покрытия имеют практическое действие, так же наносят и декоративные покрытия [3]. В нанесении таких покрытий на диэлектрики помогает адгезия. Сначала на пластик наносится слой меди чтобы создать токопроводный подслой, а после наносятся другие металлы, например, серебро, хром или олово. Чтобы сформировать долговечное и качественное покрытие, на пластике необходимо разместить множество контактов, через которые мог бы проходить электрический ток. Покрытие может иметь не только разные структуры, но и всевозможный декор, такой как: велюр, блеск, патина, чернение и прочие. Одно из важных отличий от обработки металлов – плотность тока. В этом случае нужно использовать ток небольшой плотности, от 0,5 до 1 А/дм^2. При большем токе возникает риск биполярного эффекта, который в свою очередь может вызвать растворение подслоя. Необходима и прочность на расслаивание и разрыв. Благодаря современным технологиям можно добиться адгезии, величина которой достигает до 14 кН/м. Такие покрытия могут нести не только декоративные свойства, их так же наносят для снижения веса вследствие замены металлической детали, для возможности соединения пайкой, для записи информации и других. Собственно, уже сейчас таким образом покрывается практически всё что угодно. Например, в сети Интернет можно найти покрытые серебром листья растений [7, 8].

Встречаются так же и покрытия-смазки, которые обеспечивают качественную притирку деталей в тех местах, где нельзя или не рекомендуется использовать смазочные материалы. Например, это оловянные, свинцовые, индиевые и некоторые другие покрытия. Толщина таких покрытий находится в пределах от 30 до 50 микрон.

Метод гальванизации имеет широкое распространение. Кроме нанесения различных покрытий метод так же применяется и в медицине. Лечебная гальванизация появилась в XIX веке и используется в наше время. Метод относится к физиотерапии, но также используется и косметологии, и заключается в воздействии на организм малого постоянного тока [3].

Подводя итог, можно сделать вывод, что гальваника – не только невероятно полезная технология, но и универсальная. Со временем потребности человечества будут только расти, и можно с уверенностью сказать, что метод не потеряет своей актуальности и значимости в ближайшем будущем. С каждым годом будут находиться новые применения, а старые – совершенствоваться.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мамаев В.И. Функциональная гальваника: учебное пособие. – Киров: ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2013. – 208 с.

2. Венцак Е.В. Физиотерапия: учебное пособие. – Иркутск: ИГМУ, 2020. – 142 с.
3. Одноралов Н.В. Гальванотехника в декоративном искусстве. – М.: Искусство, 1975. – 194 с.
4. Электролиз расплавов и растворов. URL: https://www.yaklass.ru/p/himija/11-klass/okislitelno-vosstanovitelnye-protcessy-7170109/elektroliz-rasplavov-i-rastvorov-7161829.
5. История электролиза. URL: https://www.eduspb.com/node/1854
6. Оборудование для гальваники. URL: https://vskproekt.ru/ galvanicheskoe-oborudovanie/.
7. Металлизация пластмасс. URL: https://met-all.org/obrabotka/ prochie/metallizatsiya-plastika-plastmass.html.
8. Металлизация диэлектриков. URL: https://zctc.ru/ sections/polymers.
9. Тюльпина О.В., Патрикеев М.В. Анализ опыта внедрения систем менеджмента качества на машиностроительных предприятиях России // Инновационные технологии в машиностроительном комплексе: материалы XI Международной научно-технической конференции ассоциации технологов-машиностроителей. – Калининград: Изд-во БФУ имени И. Канта, 2020. – С. 289-294.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ОТРАЖЕНИЯ ОТ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ У ПОДОПЫТНЫХ МЫШЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ МНОГОСПЕКТРАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Грибова Д.А., Алиферко А.А.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Зайченко К.В.,
д.т.н., профессор Гуревич Б.С.

Институт аналитического приборостроения РАН, г. Санкт-Петербург

Аннотация. *В статье предложен новый метод обработки изображений новообразований на основе усовершенствованного мультиспектрального источника излучения с контролируемым спектром в коротковолновом и ближнем ультрафиолетовом диапазонах. Была получена серия изображений злокачественных новообразования у мышей в области бедра. Проанализированы интенсивности снимков в различных областях. И также сделаны выводы о распределении интенсивностей на опухоли и около нее. Была выполнена обработка изображений в среде imageJ и Python, результаты оказались схожи.*

Ключевые слова: *злокачественные новообразования, Python, ImageJ, интенсивность, коротковолновый диапазон, УФ диапазон*

В последние годы активно развиваются оптические методы медицинской диагностики, в том числе и онкологических заболеваний кожи. Интересные результаты были получены при исследованиях приложения рамановской спектроскопии для диагностики рака кожи [1, 2]. Другой активно развивающийся подход к оценке состояния кожи пациента основывается на явлении автофлуоресценции [3-5]. Эти методы часто позволяют успешно диагностировать заболевания кожных покровов, но обладают некоторыми недостатками. Основной проблемой является потеря части информации из-за ограниченности диапазона длин волн, на которых производится измерения. Данные,

находящиеся вне исследуемого диапазона, могут содержать важную информацию характере кожных новообразований.

Вместе с тем современные оптико-электронные технологии позволяют применять принцип многоспектральной обработки изображений для анализа состояния различных биологических объектов [6].

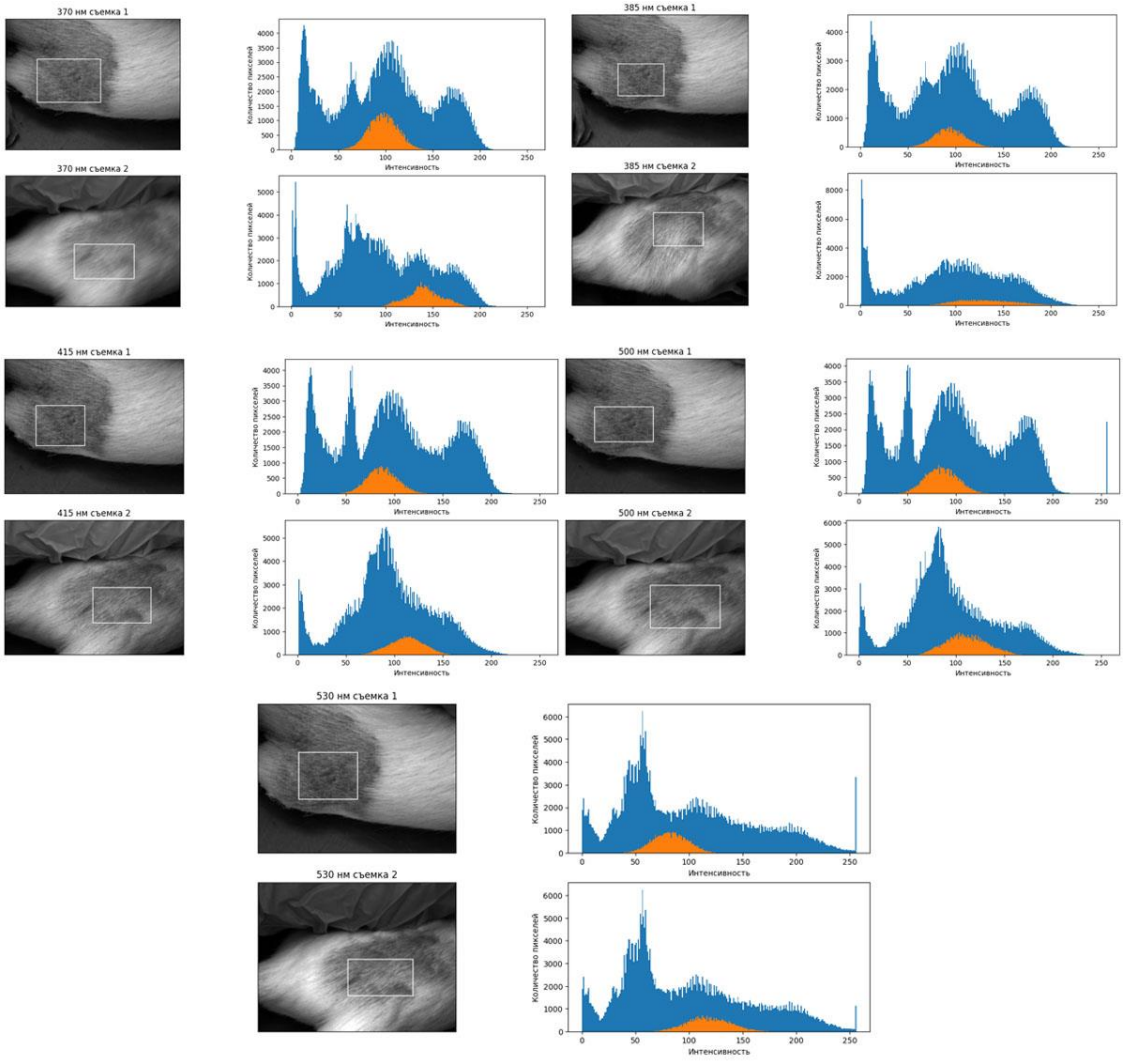


Рис. 1. Снимки злокачественных новообразований мышей в диапазоне 370-530 нм

Научная ценность и актуальность постановки и решения задачи диагностики рака кожи с применением многоспектральной обработки подтверждается опубликованными в 2019 году работами сотрудников Латвийского университета под руководством профессора Я.Спигулиса [7].

Метод основан на преобразовании полихромного изображения в последовательность монохромных изображений, каждое из которых представляет собой распределение интенсивности света на выбранной длине волны [8]. Таким образом, целью этой работы является исследование новообразований у лабораторных животных с помощью мультиспектрального источника излучения, который был создан в лаборатории радио- и оптоэлектронных приборов биоинформационных и геномных технологий ранней диагностики патологий живых систем.

Экспериментальная установка имеет следующее строение: корпус узла представляет собой цилиндр, внутренняя полость в котором изолирована от внешних засветок. Светодиоды установлены на плате по окружности. Используются светодиоды

5 длин волн, по 6 светодиодов на каждую длину волны, причем располагаются они в определенной очередности.

В частности, в коротковолновом светоизлучающем узле порядок расположения следующий: 370 нм, 385 нм, 415 нм, 500 нм, 530 нм. Далее по кругу располагаются светодиоды тех же длин волн в том же порядке, и так далее. Всего в узле располагается 30 светодиодов.

Исследования проводились на базе Института экспериментальной медицины НМИЦ имени В.А. Алмазова, всего было получено более 50 снимков новообразований мышей. В данной работе рассмотрим некоторые из полученных снимков.

Выявлена закономерность в распределении интенсивности отраженного излучения: можно наблюдать наименьшую интенсивность в области новообразования, что свидетельствует о большом поглощении излучения опухолью. Наиболее информативным оказался снимок на длине волны 500 нм, на графике четче видно распределение отраженного излучения от разных областей на теле подопытного животного.

К моменту проведения второй серии экспериментов 26.02.24 опухоль частично рассосалась. Значение интенсивности отраженного излучения увеличилось на снимках, сделанных в этот день заметно выше, что подтверждает полученные выше выводы о том, что злокачественное новообразование имеет наибольшее поглощение.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки Российской Федерации, госзадание № 075-00761-22-00, тема № FZZM-2022-0011.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Zhao J, Lui H., Kalia S., Zeng H. Real-time Raman spectroscopy for automatic in vivo skin cancer detection: an independent validation // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2015. V. 407. No. 5. P. 8373-8379.

2. Austin L.A., Osseiran S., Evans C.L. Raman technologies in cancer diagnostics // Analyst, 2016. V. 141. P. 476-503.

3. Bratchenko I., Artemyev D., Myakinin O., et al. Combined Raman and autofluorescence ex vivo diagnostics of skin cancer in near infrared and visible regions // J. Biomed. Opt. 2017. V. 22. No. 2. P. 027005.

4. Khristoforova Y.A., Bratchenko I.A., Myakinin O.O., et al. Portable spectroscopic system for in vivo skin neoplasms diagnostics by Raman and autofluorescence analysis // J. Biophotonics. 2019. V. 12, No. 4. P. e201800400.

5. Borisova E., Ivanov D., Kolev B., et al. Autofluorescence spectroscopy of cutaneous neoplasma under ultraviolet, visible and near infrared excitation // Proc. SPIE. 2020., V. 11363, P. 113630Z-1-113630Z-5.

6. Зайченко К.В., Гуревич Б.С. Многоспектральная обработка изображений биологических объектов с помощью акустооптических устройств // Биомедицинская радиоэлектроника, 2013. № 9. С. 70-76.

7. Spigulis J., Oshina I., Potapovs P., and Lauberts K. Snapshot multi-spectral-line imaging for applications in dermatology and forensics // Proc. SPIE. 2019. V. 10881. P. 1088114.

8. Зайченко К.В., Гуревич Б.С., Святкина В.И. Полихромный источник света для реализации многоспектрального метода обработки изображений кожных новообразований // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2022. Т. 22, № 5. С. 841-848.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАССИВНОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОННОГО УЗЛА ГИБРИДНОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Грищенко В.И.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Гуськов М.С.

Пензенский государственный университет, г. Пенза

Аннотация. *В статье представлены особенности изготовления пассивной части интегральных схем и методы изготовления подложек для ГИС, применяемые в современных научных условиях.*

Ключевые слова: *полимерные пленки, микросхемы, адгезия, напыление, конденсатор, материал*

Гибридные интегральные схемы (ГИС) представляют собой электронные устройства, объединяющие в себе преимущества печатных плат и интегральных микросхем. Они широко используются в различных областях, включая телекоммуникации, военную промышленность и медицинскую электронику.

Пассивная часть ГИС, включающая в себя резисторы, конденсаторы и индукторы, играет важную роль в определении функциональных возможностей и характеристик устройства.

Для изготовления пассивной части ГИС используются различные материалы и методы, выбор которых зависит от требуемых электрических характеристик, плотности компоновки и других факторов.

Важным составным элементом гибридных микросхем является подложка, которая одновременно выполняет несколько функций: представляет собой конструктивную основу, на которой формируются и монтируются элементы гибридной микросхемы; обеспечивает электрическую изоляцию элементов гибридной микросхемы, а также служит теплоотводящим элементом всей конструкции. Для изготовления подложек ГИС применяют следующие материалы:

– керамика – недорогой материал, имеющий низкие диэлектрические потери, высокую диэлектрическую проницаемость, малые температурные изменения диэлектрических параметров.

– стекло – материал, который имеет очень гладкую поверхность и обладает хорошей адгезией со всеми материалами, применяемыми для изготовления гибридных микросхем. К недостаткам относятся плохая теплопроводность и невысокая механическая прочность.

– полимерные пленки – это тонкие и гибкие материалы с различными электрическими характеристиками.

Толщину подложек рекомендуется принимать равной 0,6; 1,0 и 1,6 мм с отклонениями до 0,06 мм. В отдельных случаях подложки могут быть и более тонкими (до 0,2 мм). Подложки больших размеров используются для изготовления за один технологический цикл нескольких одинаковых пленочных схем с последующей разрезкой их на меньшие платы.

Учеными выделяются следующие методы изготовления пассивных элементов:

– тонкопленочная технология заключается в напылении или осаждении тонкого слоя материала на диэлектрическую подложку;

– толстопленочная технология заключается в нанесении толстого слоя материала на керамическую подложку;

– сборка навесных компонентов заключается в установке отдельных резисторов, конденсаторов и индукторов на печатную плату.

Технологический маршрут изготовления подложек для пассивной части ГИС для датчиков завершается операцией электрохимического механического полирования его воспринимающей поверхности. Суть этой технологии заключается в анодном растворении микровыступов деформированного поверхностного слоя воспринимающей поверхности ЧЭ с образованием рыхлой пленки и в последующем снятии этой пленки зернами абразива.

После проведения этой операции, отполированные элементы отмывают в дистиллированной воде с моющим раствором ПАВ поролоновой губкой и смывают продукты отмывки горячей деионизованной водой. Сушка поверхности осуществляется центрифугированием.

Методы очистки поверхности подложек перед нанесением тонких пленок условно делятся на две группы:

1) химические («мокрые») методы очистки с применением специальных активирующих растворов солей натрия;

2) плазмохимические («сухие») методы очистки с применением низкотемпературной плазмы смеси газов аргона, азота и кислорода.

Выбор технологии зависит от конкретных условий технологического процесса и материала подложки ГИС.

Чистота подложки – непременное условие состояния поверхности для хорошей адгезии тонкой пленки.

Шероховатость поверхности улучшает адгезию, обеспечивая наилучшее соединение в области поверхности и механическую связку. Однако увеличение шероховатости влечет за собой рост дефектов в тонкой пленке. Идеальная (чистая) поверхность встречается редко.

На практике приходится иметь дело с реальной поверхностью, т. е. поверхностью твердого тела, покрытой пленкой (толщиной 100 – 1000 нм) из оксидов, гидратов, жиров и других веществ.

В науке выделяются несколько способов получения тонких пленок для ГИС:

1) термовакуумное напыление: этот метод основан на нагреве в вакууме вещества до его активного испарения и конденсации испаренных атомов на поверхности подложки;

2) ионно-плазменные методы: суть их в обработке поверхности мишени из нужного вещества ионами и выбивании атомов (молекул) из мишени. Энергия ионов при этом составляет величину порядка сотен и тысяч электрон-вольт. Подразделяются на метод катодного распыления, метод трехэлектродной системы распыления, метод реактивного распыления и метод магнетронного распыления.

3) ионно-лучевые методы: суть заключается в нанесении тонких пленок на подложку, распыляя материал мишени пучком ионов инертных газов. Метод наиболее эффективен для нанесения пленок многокомпонентных материалов, различных диэлектриков, магнитных материалов.

В заключении необходимо сказать, что изготовление пассивной части ГИС является сложным процессом, требующим тщательного проектирования, выбора материалов и методов, а также всестороннего тестирования и проверки. Правильная реализация пассивной части гарантирует надежность, производительность и долговечность ГИС в целом.

Дальнейшие исследования направлены на разработку новых материалов и методов для повышения плотности компоновки, улучшения электрических характеристик и снижения затрат на производство.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Малышева И.А. Технология производства микроэлектронных устройств: Учебник для техникумов. – М.: Энергия, 1980. 448 с.
2. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой / под ред. Р. Бериша, М.: Мир, 1984.
3. Головяшкин А.Н. Вакуумные методы получения тонких пленок. Учебное пособие. Пенза, 1999, 108 с.
4. Технология тонких пленок (справочник). Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга / Т. 1. – М.: «Сов. радио», 1977. – 664 с.

УСТРАНЕНИЕ ДЕФЕКТА ДЕТАЛИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛИ НА ЛИТЬЕВОЙ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ МАШИНЕ

Давыдов М.А.
Научный руководитель: Гуськов М.С.

Пензенский государственный университет, г. Пенза

Аннотация. *В данной работе рассмотрен процесс устранения существующего на отливке дефекта в виде усадочной раковины по средствам введения дополнительных узлов механизма.*

Ключевые слова: *литьевая машина, пресс-форма, полиамид, термопласт*

Литье под давлением является одним из ключевых методов обработки полимеров, активно используемым при производстве разнообразных изделий из термопластов и термореактивных материалов. В процессе литья под давлением полимер сначала расплавляется, затем под высоким давлением вводится в полость формы. При работе с термопластичными материалами расплавленный полимер заполняет форму, затем охлаждается и затвердевает, после чего форма открывается, и изделие извлекается. При использовании термореактивных материалов впрыснутый в форму расплав нагревается до температуры отверждения и выдерживается до полного затвердевания изделия.

Каждая машина для литья под давлением состоит из следующих основных компонентов: устройства для плавления гранул или порошка и механизма для впрыска расплава в форму. Обычно эти устройства объединяются в общий блок, называемый инжекционным механизмом или литьевой головкой.

Охлаждаемая или обогреваемая форма, состоящая из отдельных частей, открывается при извлечении изделия; механизм для выталкивания готового изделия из формы; гидравлический замыкающий пресс; аппаратура управления параметрами цикла (температурой расплава, температурой пресс-формы, объемом впрыска, длительностью цикла и т. д.); вспомогательная аппаратура; гидравлические приводы; устройства для обеспечения безопасности.

К материалам, широко применяемым в литьевых машинах, относятся полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП), полиамид (ПА), полистирол (ПС), АБС-пластик, ПВХ.

При переработке термореактивных материалов изделия изготавливаются из композиционных пресс-материалов или отдельных компонентов (жидких полимеров, наполнителей, армирующих материалов). Формирование изделий осуществляется за счет течения пресс-материала в вязкотекучем состоянии, с последующим отверждением в результате химической реакции связующего и перехода его в неплавкое и нерастворимое состояние.

Пресс-форма представляет собой конструктивный элемент, используемый при литье под давлением, прессовании полимерных композитов и металлов. Конструкция и геометрия пресс-формы определяют форму будущего изделия, его фактуру, шероховатость, плотность и прочность. Пресс-формы применяются для серийного производства пластиковых изделий с идентичной конфигурацией.

С помощью пресс-форм можно изготавливать тонкостенные изделия значительной массы с различными конструктивными элементами, включая детали сложной конфигурации с резьбовыми соединениями, отверстиями, ребрами жесткости и внутренней арматурой.

Пресс-форма имеет сложное устройство и состоит из нескольких узлов. Эти узлы делятся на две группы: элементы технического назначения и элементы конструктивного назначения.

К элементам технического назначения относятся те части пресс-формы, которые непосредственно контактируют с материалом и участвуют в формировании изделия: пунсон, матрица, вкладыши, формующие знаки, кольца, резьбовые знаки.

К конструктивным элементам относятся детали, которые не соприкасаются с материалом непосредственно, но обеспечивают правильное функционирование технических элементов. Они служат для открытия и закрытия формы, фиксации в определенном положении и связи с замыкающим узлом. В эту группу входят направляющие колонны, втулки, выталкиватели, фиксаторы, опорные планки, ручки пресс-формы, системы охлаждения и нагрева.

В процессе работы конкретной прессформы был выявлен дефект в виде непролива (раковины) на одной из основных стенок детали. Для его устранения в существующий механизм были внесены изменения, а именно добавлен ряд «знаков», которые представляют собой длинный металлический штифт вводимый в матрицу и формирующий на поверхности детали неглубокий 0,5 мм выступ.

Благодаря данному решению усадка материала при остывании начала происходить равномерно, что повысило качество изделия и полностью ликвидировало существующие «раковины».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 19946-74. Пресс-формы для литья под давлением деталей из цветных сплавов. Технические условия [утв. постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 24 июля 1974 г. № 1760, с изменениями и дополнениями от: 28 марта 1989 г. Dies for casting of non-ferrous allous. Specifications. Срок введения установлен] – 1990. – 20 с.

2. ГОСТ 24105-80. Изделия из пластмасс. Термины и определения дефектов. [утв. и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 18 апреля 1980 г. № 1749], 1978. – 15 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДИСКОВ ГТД ИЗ СПЛАВА ЭП741НП ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ АТОМИЗАЦИИ

Демченко А.А.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Хлыбов А.А.

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород

Аннотация. *Представлены результаты влияния фракционного состава металлического порошка, полученного методом газовой атомизации на микроструктуру заготовок из сплава ЭП741НП. Отмечена перспективность использования технологии получения заготовок дисков ГТД из жаропрочного никелевого гранулируемого сплава, полученного из порошка газовой атомизации для снижения себестоимости и сокращения длительности цикла изготовления изделий.*

Ключевые слова: *газовая атомизация, PREP, заготовка диска, ГТД, жаропрочный никелевый сплав, гранулы, микроструктура*

В настоящее время для изготовления дисков ГТД используют гранулы жаропрочных никелевых сплавов, полученные в основном двумя методами: газовой атомизации или газоструйного распыления (atomizing) [2] и плазменной плавки и центробежного распыления литых быстровращающихся заготовок – PREP (plasma rotate electrode process) [3].

Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки. К главным недостаткам метода PREP стоит отнести высокую себестоимость производства порошка, длительный цикл его изготовления и высокие требования к состоянию поверхности расходуемого электрода. Поэтому исследования возможности изготовления заготовок дисков ГТД из порошка газовой атомизации на фоне роста потребности страны в ГТД, являются актуальными и востребованными.

В качестве объекта исследования был выбран жаропрочный сплав на никелевой основе ЭП741НП, выплавляемый на предприятии ООО «Гранком». Выплавка и распыление производились на установке VIGA 0,3 емкостью 300 кг. Химический состав полученного порошка плавки V21-100, соответствует требованиям ГОСТ 52802-2007. Капсулы для заполнения порошком изготовлены из трубы толщиной стенки 3мм из стали Ст20. Произведен рассев порошка в среде аргона на фракции и инкапсуляция полученного порошка. Заполнение капсул порошком произведено с применением виброупротнения.

Выполнена дегазация заполненных капсул (без нагрева). Всего изготовлено три компактированных заготовки различного фракционного состава: № 1 – 63-100 мкм; № 2 – 20-63 мкм; № 3 – 80-140 мкм. После цикла ГИП была проведена термообработка – отжиг на твердый раствор и старение. После термической обработки отобраны образцы для исследования микроструктуры, травление выполнено электролитическим методом. Исследование химического состава границ гранул выполнено с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA 3 LMH с рентгеноспектральным микроанализатором. Сравнительный анализ микроструктуры образцов, изготовленных ООО «Гранком», с литературными данными представлен на рис. 1.

Результаты проведенного исследования показывают, что состав границ частицы и зерна схож, при этом содержание углерода, ниобия, молибдена и гафния выше, чем в основной матрице, это свидетельствует о присутствии карбидов типа MeC. Аналогичные данные получены в работах [4, 5].

Микроструктура образцов, изготовленных ООО «Гранком», не имеет значительных отличий сравнительно с литературными данными. Выделение карбидов и интерметаллидов происходит на границах гранул и зерен, а средний размер зерна соответствует данным из источника [5] 35-50 мкм.

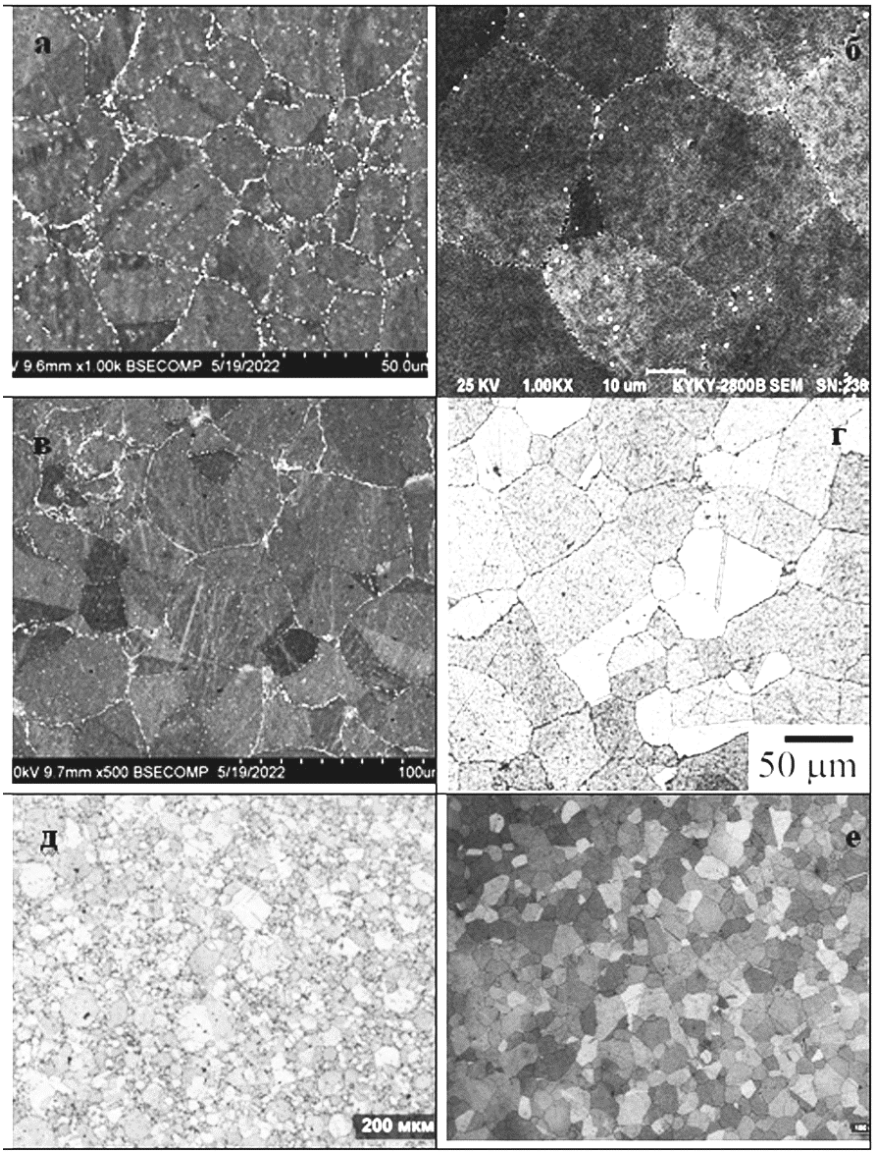


Рис. 1. Сравнение микроструктуры образцов, изготовленных ООО «Гранком», с литературными данными: а – Образец ООО «Гранком» (20-63 мкм), б – Источник [5], в – ООО «Гранком» (63-100 мкм), г – Источник [6], д – ООО «Гранком» (80-140 мкм) х100, е – Источник [7] х100

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гарибов Г.С. Отечественные гранулированные материалы для газотурбинных технологий // Технология легких сплавов. 2016. № 4.

2. Береснев А.Г., Логунов А.В., Логачева А.И. Проблемы повышения качества жаропрочных сплавов, получаемых методом металлургии гранул // Вестник МАИ, 2008. Т. 15. № 3. С. 83-89.

3. Кошелев В.Я., Гарибов Г.С., Сухов Д.И. Основные закономерности процесса получения гранул жаропрочных никелевых сплавов методом плазменного распыления вращающейся заготовки // Технология легких сплавов. 2015. № 3. С. 97-103.

4. Волков А.М., Шестакова А.А., Бакрадзе М.М. Сравнение гранул, полученных методами газовой атомизации и центробежного распыления литых заготовок, с точки зрения применения их для изготовления дисков ГТД из жаропрочных никелевых сплавов // ТРУДЫ ВИАМ. № 11 (71). 2018.

5. Особенности микроструктуры и механических характеристик гранулированного никелевого сплава ЭП741НП, полученного с применением электронно-лучевой плавки / А.М. Казберович [и др.] // Всероссийский институт легких сплавов. 2021. № 3. С. 21-26.

6. Ганеев А.А., Валитов В.А. Формирование ультрамелкозернистой структуры в никелевом сплаве ЭП741НП при горячей деформации в (γ+γ')-области // Письма о материалах. 2015. Т. 5. № 2. С. 152-155.

7. Жукова Т.Г., Логачева А.И. Формирование заданного комплекса свойств из гранулируемого никелевого сплава ЭП741НП. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 7-10 апреля, 2015, Москва, МГТУ имени Н.Э. Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2015. URL: studvesna.ru?go=articles&id=1233.

КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ

Деревякин В.И.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Левкина Н.Л.

Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Энгельс

Аннотация. *Показана возможность использования терморасширенного графита для создания композиционных материалов на основе эпоксидной смолы. Изучено влияние терморасширенного графита на эксплуатационные характеристики эпоксидных композитов.*

Ключевые слова: *эпоксидное связующее, терморасширенный графит, наполнение, композит, свойства, модификация*

Быстрое развитие современной техники, в частности СВЧ, обострило проблему электромагнитного загрязнения, которое отрицательно влияет на человека и препятствует эффективной работе радиотехнического оборудования. Также в настоящее время важными являются проблемы радиомагнитной защиты стратегических объектов,

например систем безопасности АЭС. Для решения этой проблемы можно использовать радиопоглощающие материалы и электромагнитные экраны на их основе.

Перспективными радиопоглощающими материалами являются полимерные композиционные материалы.

Полимерное связующее является радиопрозрачным, поэтому для достижения требуемого коэффициента отражения электромагнитных волн и ослабления их энергии в заданном диапазоне частот, необходимо введение в полимер наполнителя, который изменяет свойства и структуру композита.

Особое место среди известных типов связующих занимают эпоксидные полимеры, используемые для производства высокопрочных композитов. Это связано с универсальным комплексом свойств, широко используемых в различных отраслях промышленности.

В работе в качестве полимерного связующего использовали эпоксидную диановую смолу марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-93), отвердитель – полиэтиленполиамин (ТУ 6-02-594-85). Для улучшения пластичности композиции, в эпоксидный олигомер вводили комплексную добавку трихлоэтилфосфат (ТХЭФ) (ТУ 6-05-1611-78).

Одним из основополагающих параметром частиц наполнителя является их форма. Если частица имеет форму близкую к сферической, то наполнитель обеспечивает изотропию свойств, однако объемная его концентрация должна быть выше 30 %. Для снижения массы изделия необходимо использовать наполнитель с чешуйчатой формой частиц, объемное содержание которых будет меньше 30 % при сохранении эксплуатационных характеристик композиции.

Известно, что графит характеризуется высоким коэффициентом поглощения СВЧ излучения в широком диапазоне частот. Для уменьшения массы изделия в работе в качестве наполнителя использовали терморасширенный графит (ТРГ), полученный электрохимическим способом.

Наполнитель оказывает большое влияние на кинетику отверждения эпоксидного связующего. Введение 1-1,5 % ТРГ приводит к уменьшению примерно в 2 раза времени гелеобразования и времени отверждения композиции, при этом происходит повышение максимальной температуры отверждения (табл. 1).

Таблица 1

Данные кинетики отверждения эпоксидных композиций

Состав материала, % масс.	Время гелеобразования, $\tau_{гел}$, мин.	Время отверждения, $\tau_{отв}$, мин	Максимальная температура отверждения, $T_{мах}$, ^{o}C
100ЭД-20 + 15ПЭПА + 15ТХЭФ	37	59	116
100ЭД-20 + 15ПЭПА + 15ТХЭФ + 1 %ТРГ	20	37	119
100ЭД-20 + 15ПЭПА + 15ТХЭФ + 1,5 %ТРГ	17	32	130

Известно, что на физико-механические характеристики композиционных материалов большое влияние оказывает содержание наполнителя. Из таблицы 2 видно, что при введении ТРГ в эпоксидную композицию происходит снижение физико-механических характеристик композиций. При этом происходит уменьшение поверхностного сопротивления.

Таблица 2

Влияние вспененного графита на свойства эпоксидных композиций.

Состав	$\sigma_{изг}$, МПа	$\sigma_р$, МПа	$a_{уд}$, кДж/моль	$E_{изг}$, МПа	$E_р$, МПа	R, Ом
100 ЭД-20 + 15ПЭПА	94	31	7,6	2366	1054	$0{,}6 \cdot 10^9$
100 ЭД-20 + 15 ПЭПА + 15ТХЭФ	100	56	6,3	2663	1194	$0{,}6 \cdot 10^9$
100 ЭД-20+15ПЭПА + 15ТХЭФ + 0,5 %ТРГ	57	31	3,0	2643	1639	$0{,}49 \cdot 10^9$
100 ЭД-20+15ПЭПА + 30ТХЭФ + 1 %ТРГ	53	28	3,8	2123	1554	$0{,}470 \cdot 10^9$
100 ЭД-20 + 15ПЭПА + 30ТХЭФ + 1,5 %ТРГ	48	24	3,3	1668	1435	$0{,}230 \cdot 10^9$

Примечание: $\sigma_{изг}$ – разрушающее напряжение при изгибе; $\sigma_р$ – разрушающее напряжение при растяжении; $E_{из}$ – модуль упругости при изгибе; $E_р$ – модуль упругости при растяжении; $a_{уд}$ – ударная вязкость; R – поверхностное сопротивление

Таким образом, можно сказать, что введение в эпоксидное связующее ТРГ придает материалу радиозащитные свойства, определение которых планируется в дальнейшей работе.

ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ МАРОК ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА СТРУКТУРУ РЕАКЦИОННО-СПЕЧЕННОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ

Джулаева Е.Г.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Пантелеев И.Б.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург

Аннотация. *В статье изучалось влияние применения различных марок технического углерода в композиционном порошке на свойства получаемых карбидокремниевых материалов.*

Ключевые слова: *технический углерод, реакционное спекание, карбид кремния*

Керамические материалы на основе карбида кремния благодаря высоким физико-механическим характеристикам широко используются в различных областях промышленности и машиностроения.

Основными свойствами карбида кремния считают высокие прочность, твердость, сопротивление истиранию, низкий температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), а также способность переносить значительные силовые и тепловые нагрузки в условиях агрессивных сред.

Для спекания карбидокремниевой керамики требуются очень высокие температуры, достигающие 2200° С, однако достичь полностью непористых изделий

практически невозможно из-за того, что карбид кремния характеризуется довольно низкими значениями коэффициентов поверхностной и объемной диффузии, а увеличение температуры приводит к разложению карбида кремния на элементные составляющие [1].

Одним из основных компонентов, входящих в состав материала из реакционно-спеченного карбида кремния, является технический углерод. На рынке представлен широкий ассортимент марок технического углерода с разными физико-химическими показателями, которые получают путем термического разложения, печным и канальным способами, разница в его структурных параметрах и дисперсности может негативно влиять на воспроизводимость результатов при производстве керамических изделий.

Для сравнения были выбраны марки технического углерода П 701, П 803 и Р 365. Изучалось взаимодействие и распределение углеродной составляющей в заготовках из композиционной карбидокремниевой смеси, после формования и отжига при Т = 1200° С, с помощью сканирующего электронного микроскопа. Микроструктуры представлены на рисунке 1.

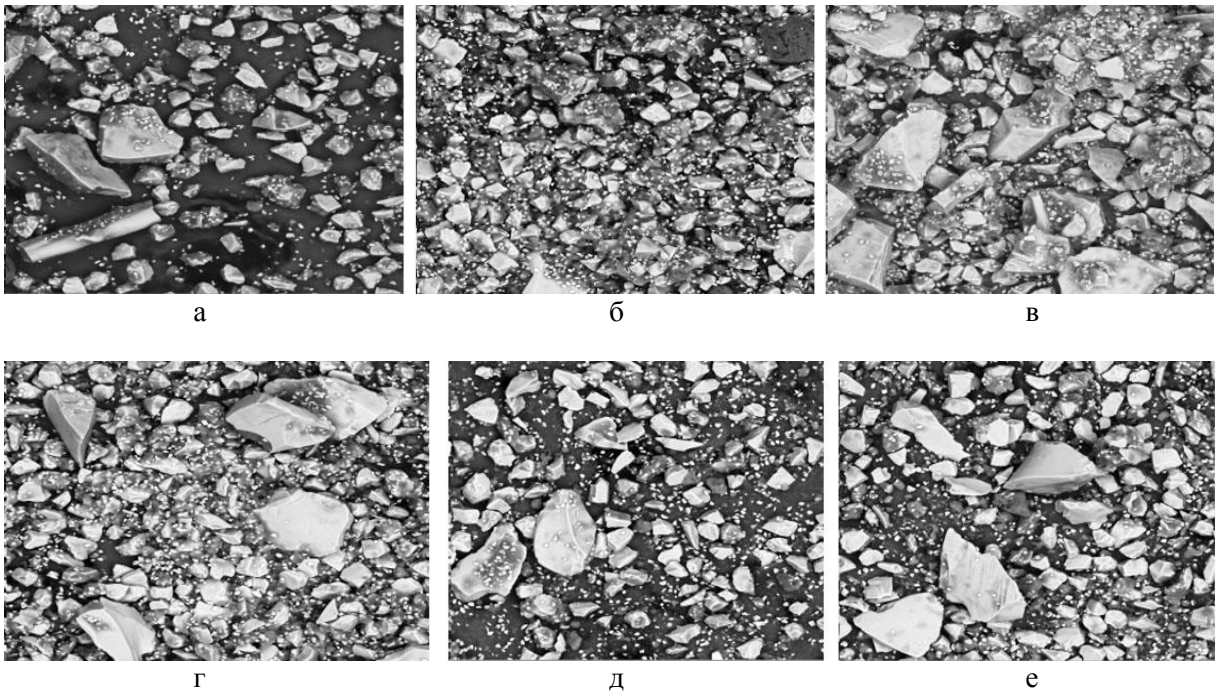


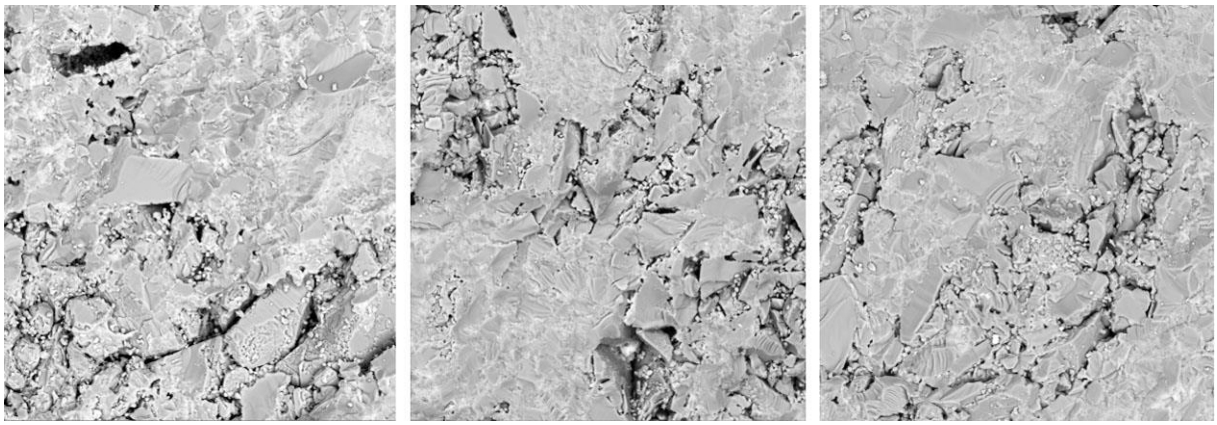
Рис. 1. Микроструктура шихт: а, б – П 701, в, г – П 803, д, е – Р 365;
а, в, д – до отжига, б, г, е – после отжига

При анализе результатов микроструктуры можно сделать вывод:

Шихта с техническим углеродом марки Р 365 равномерно распределяется между зерен SiC, не взаимодействуя с ними при отжиге.

Технический углерод марки П 701 агломерируется вместе с мелкой фракцией SiC, при отжиге собирает зерна SiC в каркас. Технический углерод марки П 803 изначально агломерирует мелкую фракцию на крупных зернах SiC, при отжиге также собирает их в каркас.

Помимо этого, проводились исследования по взаимодействию и распределению углеродной составляющей после реакционного спекания для образцов после отжига с помощью сканирующего электронного микроскопа. Микроструктура представлена на рисунке 2.



а б в

Рис. 2. Микроструктура спеченных образцов:
а – П 701, б – П 803, в – Р 365

В основе реакционного спекания карбидокремниевых материалов лежит формирование заготовок из смеси частиц карбида кремния и углерода. При нагревании свыше 1200° С происходит взаимодействие кремния и углерода, что приводит к образованию вторичного карбида кремния. Химическая реакция между расплавом кремния и углеродом, приводящая к образованию вторичного карбида кремния, способствует образованию связей между зернами первичного карбида кремния. Процесс реакционного спекания обеспечивает формирование контактов между зернами SiC, заполнение пор и образование непрерывного поликристаллического каркаса из SiC [2]. В таблице 1 приведена плотность спеченных образцов. Плотность образцов определялась методом гидростатического взвешивания.

Таблица 1

Плотность спеченных образцов

Марка технического углерода	Плотность, г/см^3
П 701	2,79
П 803	2,97
Р 365	2,88

При анализе результатов микроструктуры спеченных образцов можно сделать вывод:

Шихта с техническим углеродом марки П 701 имеет большую пористость, в отличие от П 803 и Р 365. Данный характер микроструктуры дает возможность сделать предположение о неравномерности распределения состава, из-за чего могут образовываться поры. Максимальную плотность имеет шихта с техническим углеродом марки П 803. Рост зерен отсутствует.

Замедление и практически прекращение роста слоя SiC связано с тем, что на всей границе раздела кремний-углерод образуется сплошной слой карбида кремния. Это изолирует области с оставшимся свободным углеродом от жидкого кремния, таким образом, предотвращая дальнейшее растворение углерода. Дальнейший рост карбида кремния может медленно продолжаться (со стороны расплава кремния) в случае перенасыщения углеродом жидкого кремния до тех пор, пока концентрация углерода в расплаве кремния не понизится до равновесного уровня. Основное влияние на скорость роста слоя SiC и его конечную толщину оказывает выбор марки графита (углеродного материала) [2].

При реакционном спекании все марки углерода хорошо взаимодействуют с SiC, образуя вторичный карбид кремния, кроме марки П 701. Шихта с техническим углеродом П 701 технологически непригодна.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гнесин Г.Г. Карбидокремниевые материалы: учебное пособие / под ред. Е.В. Кузнецов. – Москва: Изд-во «Металлургия», 1977. – 216 с.

2. Рахаман М.Н. Технология получения керамик. Синтез. Консолидация. Спекание: учебное пособие / под ред. В.Н. Чувильдеева, М.С. Болдина, Д.А. Пермина. – Нижний Новгород: ННГУ имени Н.И. Лобачевского, 2022. – 741 с.

ТИПООФСЕТНАЯ ПЕЧАТЬ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАДИОМЕТОК

Дмитриев Л.Д., Журавлева Г.Н., Ямилинец С.Ю., Заманов Р.Р., Годин Н.И., Долгоносов В.К., Погиба А.Ю.
Научный руководитель: Лозицкая А.В.

Московский политехнический университет, г. Москва

Аннотация. *Проверена применимость типоофсетной печати для создания токопроводящих рисунков высокого разрешения на тканях. Разрешение рисунков, полученных способом типоофсета, превосходит минимум в три раза разрешение рисунков, выполненных трафаретной и струйной печатью. Предполагается, что использование клише с более высоким разрешением позволит улучшить качество печати. Установлен принцип работы типоофсетной печати для радиометок.*

Ключевые слова: *типоофсет, радиометка, радиочастотная идентификация*

Введение

Печатная электроника на гибких подложках может удовлетворять требованиям высокой гибкости и обеспечивает широкий спектр функциональных возможностей в зависимости от характеристик подложек и чернил: защитные, тензодатчики, радиометки [1, 2].

Для изготовления электроники могут использоваться различные способы печати, такие как трафаретная печать, струйная печать, глубокая печать, флексографская печать, типоофсетная печать [3].

Типоофсетная печать позволяет получать рисунки с высоким разрешением, поскольку существует меньшее ограничение на размер чернил, частиц краски или формы (сетки), а также потому что пригодна для печати тонкопленочной электроники (например, транзисторов и печатных плат). Ранее типоофсетная печать не оценивалась на изготовление электроники на тканях, что сопряжено с проблемами, связанными с шероховатостью поверхности, пористостью и гибкостью материала. По сравнению с альтернативными методами печати, типоофсетная печать сталкивается с проблемами краскопереноса [4].

В этом исследовании представлены начальные результаты исследований типоофсетной печати на текстиле. Исследование призвано внести вклад в текущие достижения в области печати токопроводящими составами и их применения при разработке электронного текстиля.

Объекты и методы

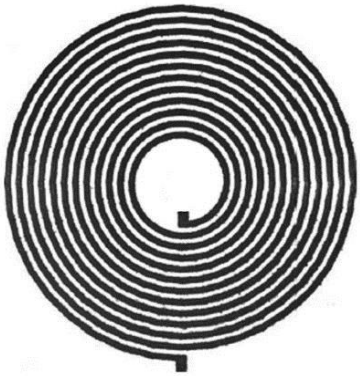
Для работы модернизировали пробопечатное устройство RK-Print Flexiproof 100/UV с формами сухой проявки и возгонки мастер-слоя по технологии DuPont.

Печатная система включает портальную платформу цилиндра с офсетным полотном и базовую секцию, которая удерживает форму и подложку. Система управляется с помощью микроконтроллера Arduino и контекстного меню, что обеспечивает точную синхронизацию движения линейной платформы и вращения цилиндра.

В качестве краски использовали УФ печатный лак Saphira OPV UV (ХД Рус) с добавлением нанотрубок в количестве 60 % [5].

Поверхностная энергия измерена с помощью тензометра Kruss DSA30 по ГОСТ Р 50003-92.

Вязкость определялась прибором VROC по ГОСТ 33768-2015.



Общий вид антенны

Результаты и обсуждение

В процессе изготовления были успешно получены рисунки с впечатляющим разрешением до 30 микрон на пленке из полиэтилентерефталата (ПЭТ), которая была прикреплена к съемной силиконовой бумаге (Policrom Screens, Carvico, Италия). Примечательно, что достигнутое разрешение было ограничено особенностями используемого в процессе изготовления клише. Затем ПЭТ-пленки с рисунком были подвергнуты термическому ламинированию при температуре 190° С на текстиль.

Тестовые штрихи и метки отражают различные размеры, в частности 30 мкм, 60 мкм и 100 мкм, что подчеркивает универсальность процесса печати.

В процессе печати вязкость чернил составляла приблизительно 7500 сантипуаз. Для достижения оптимального уровня вязкости был добавлен мономер. Благодаря этой модификации чернила сохраняли необходимую текучесть для непрерывной и точной печати на подложках, что способствовало общему успеху процесса изготовления.

Поверхностная энергия подложки является критическим фактором, влияющим на процесс печати. Было замечено, что успешная печать происходила при увеличении поверхностной энергии.

Заключение

Эта работа продемонстрировала применение типоофсетной печати для создания токопроводящих рисунков с высоким разрешением на тканях. Разрешение электронных устройств, напечатанных на тканях с помощью этого метода, было улучшено как минимум в три раза по сравнению с обычной трафаретной и струйной печатью. Предполагается, что использование клише с более высоким разрешением позволит улучшить качество печати. Установлен принцип работы типоофсетной печати для радиометок.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Lozitskaya A.V. Application of strain-sensitive graphite layers on fabric / A.V. Lozitskaya, A.P. Kondratov // Journal of Physics: Conference Series: III International Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT-III-2022), Krasnoyarsk, 03-05 марта 2022 года. Vol. 2373. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 92002. – DOI 10.1088/1742-6596/2373/9/092002.

2. Лозицкая А.В. Проводящие полимерные композиты на основе тканей / А.В. Лозицкая, А.П. Кондратов, С.Ю. Ямилинец // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2022. – Т. 84, № 4 (94). – С. 206-213. – DOI 10.20914/2310-1202-2022-4-206-213.

3. Мартынова А.Н. Обзор возможностей цифровой печати для создания изделий электроники и «умной» упаковки / А.Н. Мартынова, А.М. Михаилиди // Метрология, стандартизация и управление качеством: Материалы V Всероссийской научно-технической конференции, Омск, 21-22 мая 2020 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2020. – С. 119-129.

4. Панфилова Н.Э. виды печати в современной полиграфии / Н.Э. Панфилова // XLV итоговая студенческая научная конференция УдГУ, Ижевск, 10-16 апреля 2017 года / ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет». – Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет», 2017. – С. 389-391.

5. Модификация форм трафаретных секций печатных машин и состава электропроводящей краски для производства гибких резисторов / А.В. Лозицкая, А.П. Кондратов, Л.Ю. Комарова, И.Г. Рекус // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2019. – № 1. – С. 25-31.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ЗУБНОГО ИМПЛАНТАТА

Дьяченко Л.А.
Научный руководитель: д.т.н., с.н.с. Пичхидзе С.Я.

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

Аннотация. *В ходе работы проведено исследование модернизированной конструкции зубного имплантата. Показано, что условие прочности модернизированного зубного имплантата соблюдается, что позволяет судить о прочности разработанной конструкции.*

Ключевые слова: *зубной имплантат, титан, протезирование, модернизация, напряжение*

Зубные имплантаты являются одним из наиболее востребованных методов восстановления зубного ряда в современной стоматологии. Они представляют собой искусственные корни зубов, которые устанавливаются в костную ткань челюсти и служат основой для крепления зубных протезов.

Системы зубных имплантатов состоят из корпуса зубного имплантата и абатмента для зубного имплантата, а также могут включать винт для фиксации абатмента. Корпус зубного имплантата хирургическим путем вводится в челюстную

кость вместо корня зуба. Абатмент зубного имплантата обычно крепится к корпусу имплантата фиксирующим винтом и проходит через десны в рот для поддержки прикрепленных искусственных зубов [1].

Существует несколько видов зубных имплантатов, которые различаются по материалу, способу установки и стоимости:

– титановые имплантаты: наиболее распространенный тип зубных имплантатов, так как титан обладает высокой биосовместимостью и прочностью,

– керамические имплантаты: изготавливаются из диоксида циркония или оксида алюминия и отличаются высокой прочностью и устойчивостью к коррозии. Используются для пациентов с аллергией на металл,

– композитные имплантаты: сочетают в себе прочность титана и биосовместимость керамики или циркония, что обеспечивает высокую надежность и долговечность,

– биоактивные имплантаты: имеют специальное покрытие, стимулирующее рост костной ткани и улучшающее остеоинтеграцию.

Выбор вида зубного имплантата зависит от индивидуальных особенностей пациента, таких как состояние костной ткани, возраст, общее состояние здоровья и финансовые возможности [2].

Титан и его сплавы являются основными материалами для изготовления имплантатов в мировой стоматологической практике. Он совместим с другими инертными металлами, когда находится в организме, не вызывая гальванизма

Титан сочетает в себе оптимальные физико-химические и биомеханические свойства, биологическую инертность и широкое распространение благодаря своей относительно низкой стоимости.

Основным критерием выбора марки металла является отсутствие токсичных примесей. Титановый сплав с алюминием и ванадием Ti6A4V ELI (класс 5) по международной классификации, ВТ6 по ГОСТ 19807 РФ (технические стандарты, поддерживаемые Евро-Азиатским советом по стандартизации, метрологии и сертификации, повышают прочность материала почти в 2 раза по сравнению с чистым титаном и снижают его удельный вес [3-5]).

Преимущество биомеханического положения заключается в том, что титан обладает более высокой твердостью, чем костная ткань, и модулем упругости, аналогичным по величине кортикальной кости. Это способствует однородной передаче напряжения в области сопряжения во время загрузки имплантата.

Основными проблемами современных зубных имплантатов являются:

– недостаточная прочность и надежность соединения имплантата с костью,

– проблемы с остеоинтеграцией, связанные с недостаточным контактом имплантата с костной тканью,

– сложность в установке и удалении зубных имплантатов,

– необходимость дополнительных хирургических процедур для установки зубных имплантатов (например, для наращивания костной ткани),

– ограниченный срок службы зубных имплантатов из-за износа и коррозии материалов [6-7].

Цель работы: анализ конструкции зубного имплантата, улучшение его конструкции путем изменения формы.

На рис. 1 представлен чертеж прототипа зубного имплантата.

Основной недостаток прототипа – это заостренный наконечник, который может повредить альвеолу при имплантации. Предлагается изменить этот недостаток, а именно: скруглить конец детали имплантата.

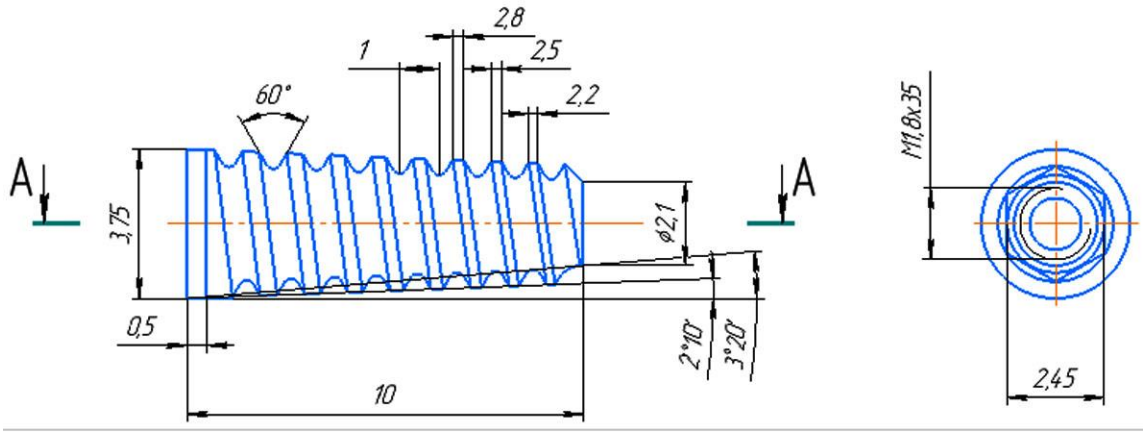


Рис. 1. Чертеж зубного имплантата

На рис. 2 показана модернизированная конструкция зубного имплантата.

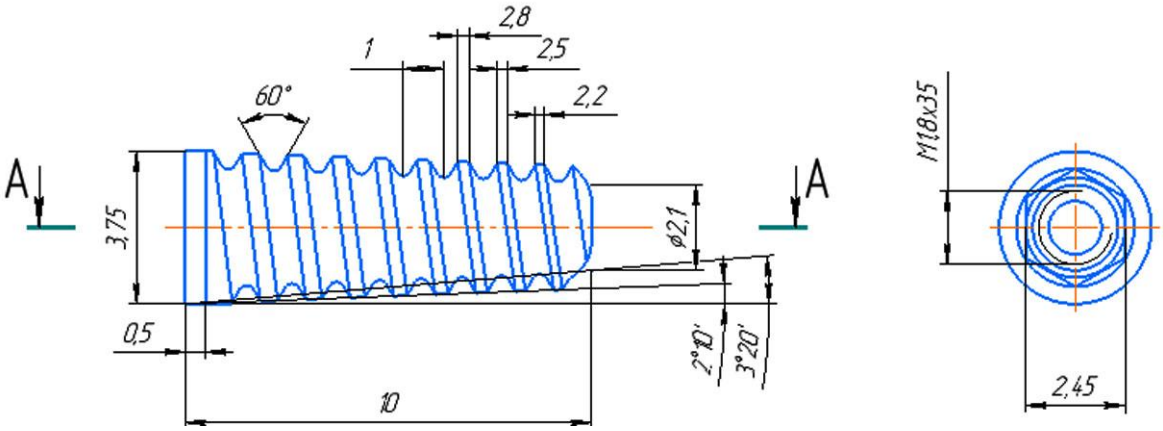


Рис. 2. Модернизированный имплантат

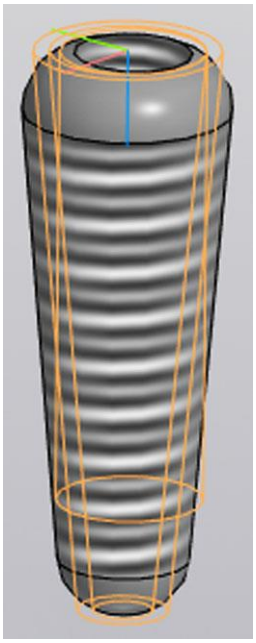


Рис. 3. Общий вид модернизированного имплантата

Модернизация заключается в том, что конец детали имплантата был скруглён. Это позволяет имплантату быть менее травмоопасным, обеспечивает высокую первичную стабилизацию, позволит легче фиксироваться в кортикальной пластине и базальном отделе, а также будет способствовать ранней остеоинтеграции и обеспечит устойчивость на долгий срок.

Для расчета прочностных характеристик была использована программа КОМПАС-3D. Нагрузки, приложенные к модели зубного имплантата, соответствовали средним жевательным нагрузкам на зубы от разной пищи: это 150, 250 и 350 Н. Условный предел текучести составлял 800 МПа. FOS (сила безопасности) примерно равен 5,5; 3,5; 2,2.

Полученные эпюры напряжений и график запаса прочности имплантата представлены на рис. 4-7.

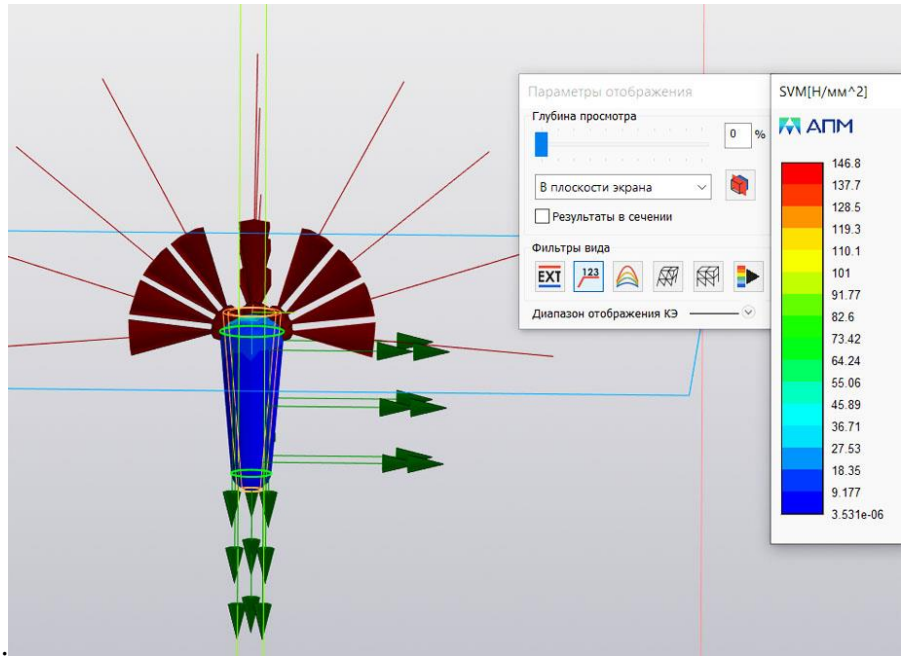


Рис. 4. Эпюра напряжений при нагрузке 150 Н

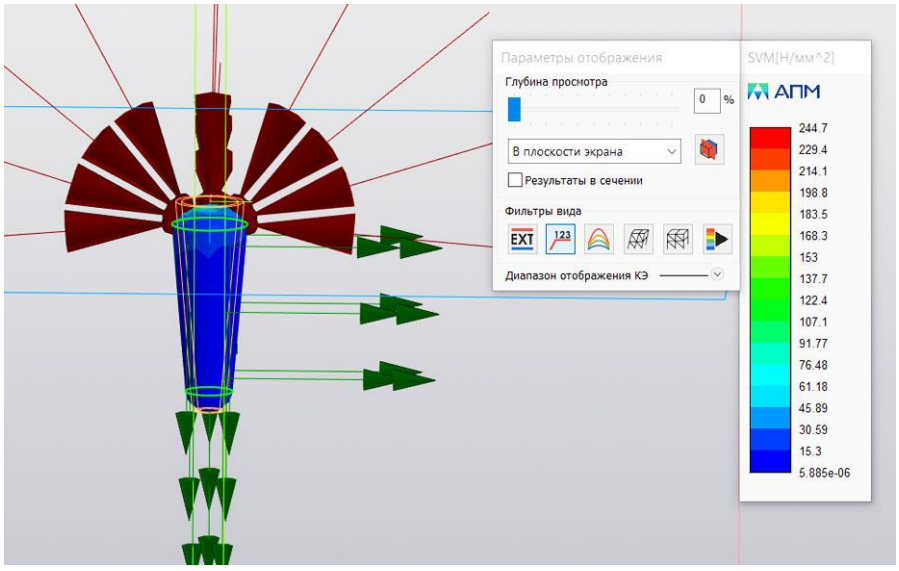


Рис. 5. Эпюра напряжений при нагрузке 250 Н

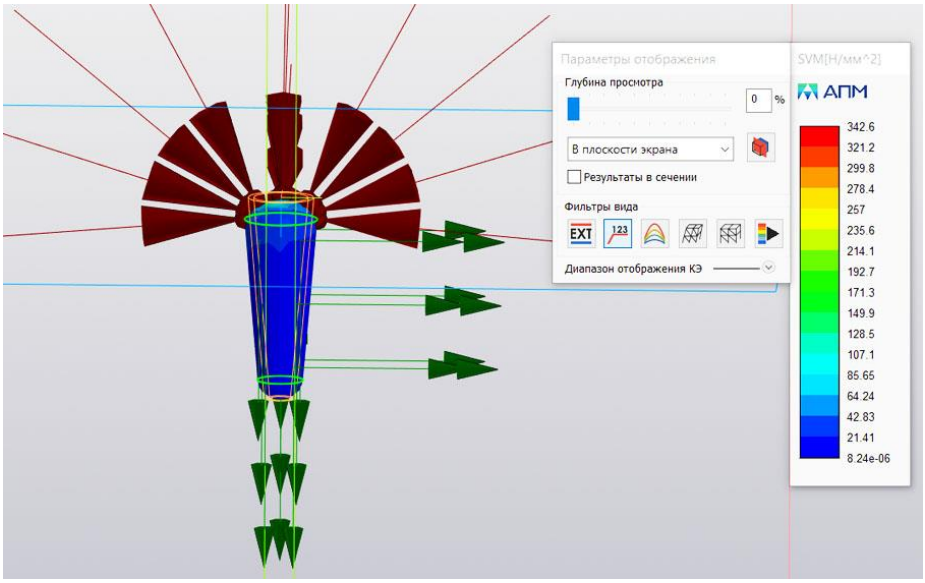


Рис. 6. Эпюра напряжений при нагрузке 350 Н

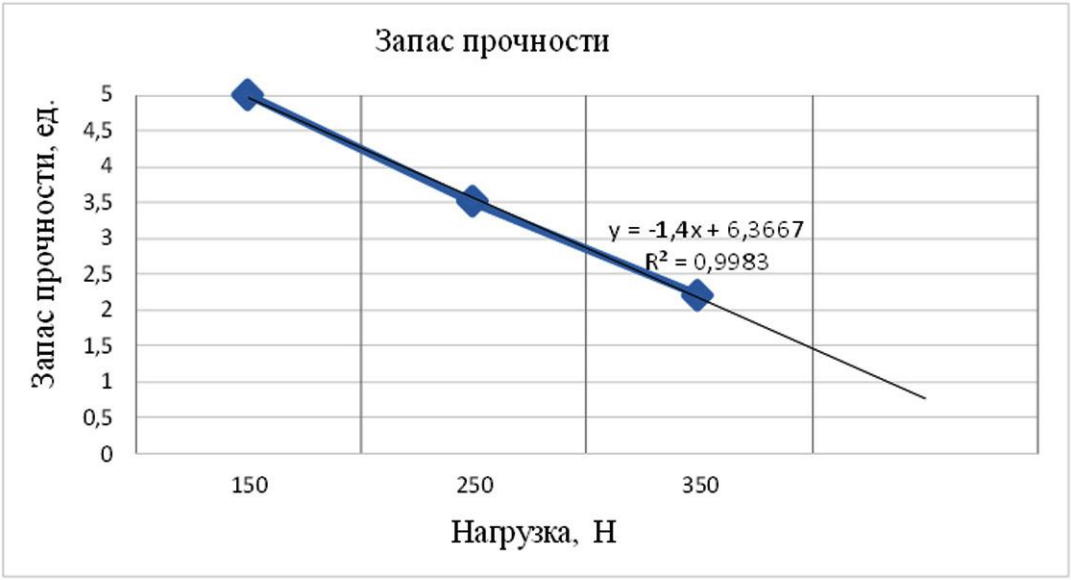


Рис. 7. График запаса прочности зубного имплантата при жевательных нагрузках

Исходя из данных эпюр напряжений при разных нагрузках, а также графика с данными запаса прочности, можно заключить, что имплантат способен выдерживать нагрузки величиной 150, 250 и 350 Н (рис. 7). Это свидетельствует о прочности и надежности данного имплантата, который способен успешно функционировать при повышенных нагрузках.

Вывод: проведён анализ конструкции зубного имплантата. Предложено улучшение. Новая конструкция зубного имплантата способна выдерживать необходимые жевательные нагрузки. Это указывает на то, что данная модель пригодна для применения в имплантологии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хобкек Джон А. Руководство по дентальной имплантологии / Джон А. Хобкек, Роджер М. Уотсон, Ллойд Дж. Дж. Сизн.; под общ. ред. М.З. Миргазизова [пер. с англ. М.К. Макеева]. – 2-е изд. – М.: МЕДпресс-информ, 2010. – 222 с.

2. Мураев А.А., Иванов С.Ю. Конечно-элементарный математический анализ распределения нагрузки в системе абатмент-имплантат-кость. – М.: Стоматология, 2016. – 18 с.

3. Никольский В.Ю., Слободчиков Ю.В. Винтовые цилиндрические самонарезающие дентальные имплантаты с полированной шейкой и внутренним шестигранником. – М.: Стоматология, 2012. – 36 с.

4. Рожнов С.М., Ломакин М.В. Состоятельность зубов и имплантатов. М.: Стоматология, 2015. – 57 с.

5. Ибрагимов Т.И., Бычков А.И., Алешин Н.А., Тибилов В.Ф. Использование нового вида супраструктуры с микроамортизатором на дентальных имплантатах при протезировании больных с полным отсутствием зубов // Клиническая стоматология. – М.: МГМСУ, 2010. – 58 с.

6. Матвеева А.И., Фролов В.А., Гветадзе Р.Ш., Борисов А.Г., Кушхабиев З.З. Влияние параметров имплантата на напряжённо-деформированное состояние костной ткани зоны имплантации // Стоматология. – М.: Центральный НИИ стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, 2010. – 168 с.

ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА РАЗНОРОДНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТИТАНА И АЛЮМИНИЯ

Евлампьев А.В.
Научный руководитель: к.э.н, доцент Курынцев С.В.

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань

Аннотация. *В данной работе проведено исследование образцов нахлесточного сварного соединения Д16 и ВТ1-0, выполненных лазерной сваркой после испытания на растяжение. Выявлены интерметаллидные соединения в зоне основного материала алюминия, исследована трещина, образовавшаяся в результате испытаний на растяжение.*

Ключевые слова: *лазерная сварка, титан, алюминий, микроструктура*

Лазерная сварка, благодаря своей прецизионности воздействия, высоким скоростям сварки и охлаждения, может положительно воздействовать на металлургические и термодеформационные процессы при сварке сплавов на основе титана и алюминия, теплофизические свойства, которых отличаются значительно. Для сварки титана и алюминия наибольшее распространение получили нахлёсточные и стыковые соединения [1-3].

Титан и алюминий имеют ограниченную растворимость друг в друге по причине различия типов и параметров кристаллических решеток, различия размеров атомов и величин электроотрицательности [2]. По этим причинам при сварке титана и алюминия образуются интерметаллидные соединения (ИМС), являющиеся частным случаем химических соединений. Толщина и состав ИМС является проблемной областью сварного соединения разнородных металлов [1, 4].

В работе проведено исследование микроструктуры сварного соединения Д16 и ВТ1-0, с помощью инвертированного микроскопа ZEISS Axiovert 200 MAT. На рис. 1 представлена макроструктура алюминия. Данный образец подвергался травлению реактивом 18 % и 30 % ортофосфорной кислоты. Образец погружался в 18 % травильный

раствор на 20 минут и затем в 30 % раствор еще на 40 минут. Каждые 10 минут образец промывался водой.

На данном макрошлифе наблюдаются ИМС, предположительно системы Al-Cu (указаны стрелками). Также была обнаружена трещина, идущая по ИМС через ЗТВ в основной металл алюминия, образовавшаяся при испытании на сдвиг (рис. 2).

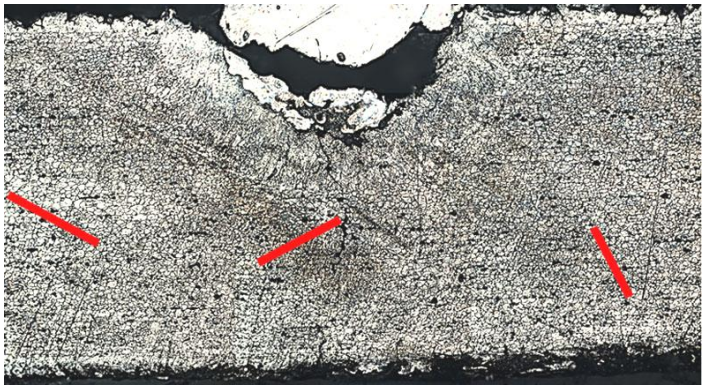


Рис. 1. Макроструктура алюминия

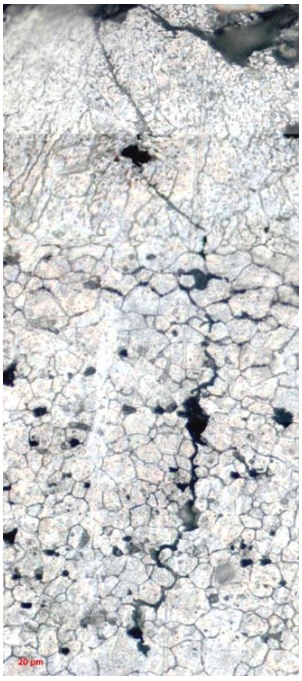


Рис. 2. Трещина в ЗТВ алюминия

Длина представленной трещины достигает 170 мкм, максимальное раскрытие – 18 мкм.

Выводы

В ходе исследования было выявлено, что прецизионность воздействия лазерной сварки, а также ее высокие скорости сварки и охлаждения, способны положительно влиять на металлургические и термодеформационные процессы. Особое внимание уделялось сварке титана и алюминия, которые из-за различий в кристаллических решетках, размерах атомов и электроотрицательности образуют интерметаллидные соединения (ИМС).

Наиболее распространенными типами соединений для этих металлов являются нахлесточные и стыковые соединения. В ходе исследования микроструктуры сварных соединений Д16 и ВТ1-0 была выявлена макроструктура алюминия. Травление образца ортофосфорной кислотой позволило выявить ИМС, предположительно системы Al-Cu, а также обнаружить трещину, протекающую через зону термического воздействия в основной металл алюминия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Курынцев С.В., Шиганов И.Н., Морушкин А.Е. Сварка разнородных сплавов на основе титана и алюминия лазерным излучением. Сварочное производство. 2019. № 2. С. 16-21.

2. Евлампьев А.В. Область применения разнородных сварных соединений титана и алюминия // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы международной научно-технической конференции молодых ученых. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2023. – С. 81.

3. Kuryntsev S.V. Microstructure, mechanical and electrical properties of laser-welded overlap joint of CP Ti and AA2024. Optics and Lasers in Engineering. 2019; 112:77-86. DOI: 10.1016/j.optlaseng.2016.10.008.

4. Рябов В.Р., Рабкин Д.М., Курочко Р.С., Стрижевская Л.Г. Сварка разнородных металлов и сплавов. – М.: Машиностроение. 1984. 239 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО ИНТЕРВАЛА ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СПЛАВЕ Ni-Ti

Жуков О.М.
Научный руководитель: к.т.н., профессор Жуков А.А.

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск

Аннотация. *В статье представлена оригинальная установка лабораторного типа, на которой выполнены исследования по эффекту памяти формы сплава Ni-Ti.*

Ключевые слова: *эффект памяти формы, интеллектуальный материал, мартенсит, аустенит, канцелярская скрепка*

Известно [1], что сплавы системы Ni-Ti относятся к классу интеллектуальных материалов, так как обладают одним из принципов интеллекта – памятью, а для реальных изделий эффектом памяти формы (эффектом восстановления заданной, исходной геометрии изделия) – ЭПФ.

Согласно работе [2]: «Память – сохранение субъектом результатов физического взаимодействия с окружающим миром, дающее возможность воспроизводить и использовать эти результаты в дальнейшей деятельности».

Металлофизическая сущность и механизм эффекта памяти формы основаны на обратимом термоупругом мартенситном превращении «мартенсит ↔ аустенит», который был открыт в 1948 г. Г.В. Курдюмовым в сплаве Cu-Al-Ni. В 1962 г. в США был разработан сплав состава (49...57)%Ni – (51...43)%Ti, который получил название «нитинол» или «никелид титана».

В настоящее время разработано более 20 сплавов с ЭПФ с использованием двойных и тройных систем следующих химических элементов: Ti, Ni, Cu, Fe, Mn, Si, Al, Zn, Sn, Cd, Pt, Au, Ag, Pd, которые широко применяются в хирургии, стоматологии, а также в различных отраслях машиностроения и космонавтики [3, 4].

Обладая высокими механическими свойствами, коррозионной стойкостью, высоким коэффициентом восстановления формы до 10 % и высокой восстановительной силой (до 800 МПа), никелид титана нашел наиболее широкое применение в различных машиностроительных узлах и конструкциях технического назначения. Необходимо отметить существенную зависимость температур начала и конца мартенсито-аустенитных превращений от соотношения содержания Ni и Ti в сплаве, поэтому определение температурных показателей сплавов Ni-Ti в зависимости от химического состава имеет определенное научно-практическое значение.

Для определения температур начала и конца фазовых превращений в сплаве никелид титана на кафедре «Материаловедение, литье и сварка» РГАТУ имени П.А. Соловьева была разработана лабораторная установка, представленная на рис. 1.

Установка состоит из источника нагрева – электрической плиты, емкости с нагреваемой жидкостью (водой), в которой установлена рабочая емкость с отверстиями. На дне рабочей емкости располагается объект исследования – канцелярская скрепка, изготовленная из никелида титана. Средство измерения температуры представляют собой ртутный и электронный термометры, закрепленные на штативе.

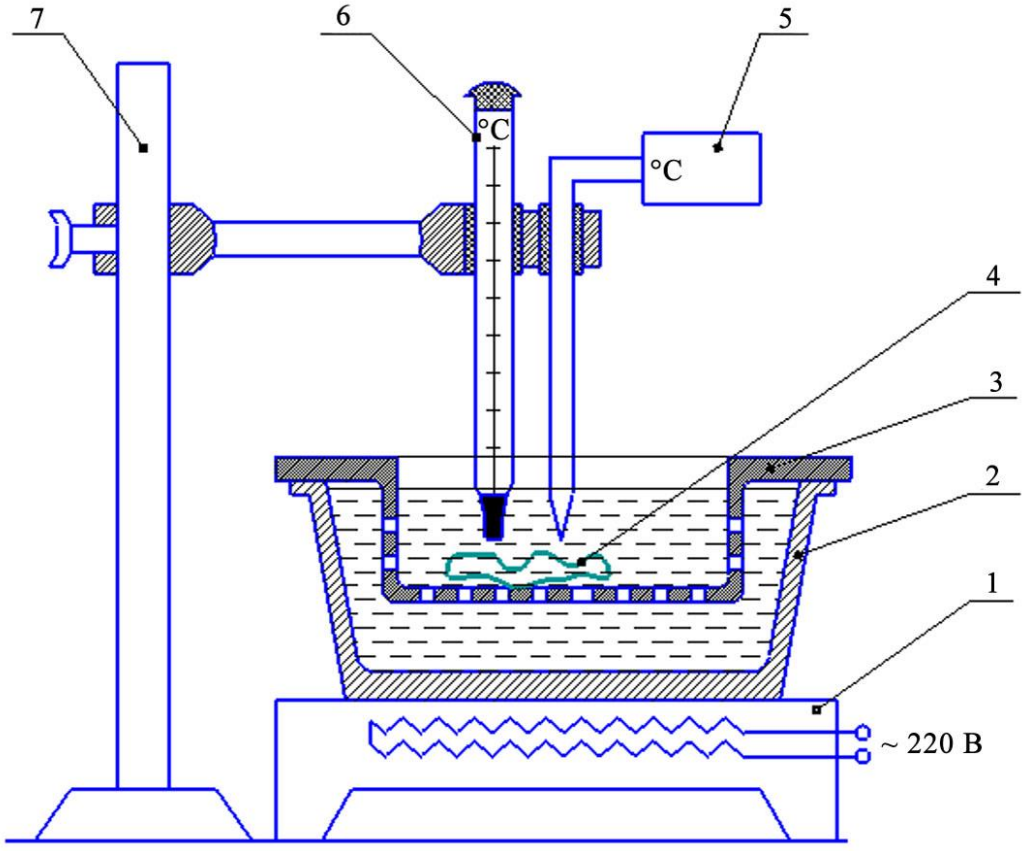
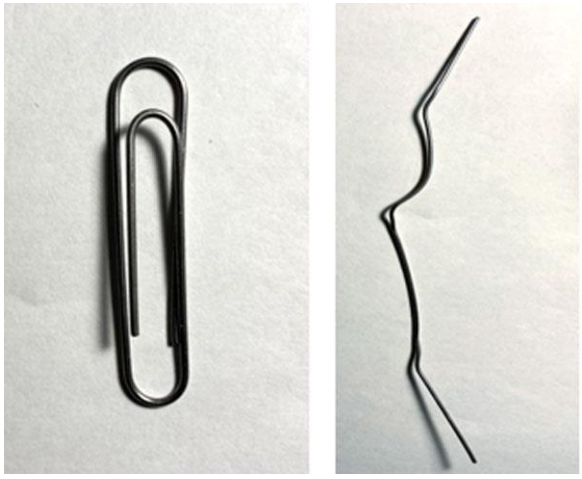


Рис. 1. Схема лабораторной установки: 1 – источник нагрева (электрическая пита); 2 – емкость с нагреваемой водой; 3 – рабочая емкость с отверстиями; 4 – объект исследования (скрепка из нитинола); 5 – электронный термометр; 6 – ртутный термометр; 7 – штатив

На рис. 2 представлен объект исследования – канцелярская скрепка, изготовленная из никелида титана. Скрепка представлена в двух состояниях:

а) исходное, обеспечивающее ее функциональное назначение с мартенситной структурой и состояние после нагрева;

б) после технологической деформации в промежуточное состояние более простой формы (для обеспечения транспортировки) с аустенитной структурой.



а б

Рис. 2. Канцелярская скрепка из никелида титана

В таблице 1 приведены температуры начала и окончания аустенитного и мартенситного превращений сплавов Ni-Ti [5].

Таблица 1

Характеристические температуры сплавов Ni-Ti

Состав, %		t, °C			
Ti	Ni	Мн	Мк	Ан	Ак
52,8	47,2	90	60	100	130
50	50,0	50	20	55	75
49,5	50,5	25	5	35	60
49,3	50,7	0	-20	10	30
49,0	51,0	-55	-90	-50	-25

Из таблицы видно, что температурный диапазон фазового превращения составляет 20-35° С, поэтому для обеспечения точности измерения не менее 5 % цена деления шкалы средств измерения температуры должна быть не менее 2° С. Ртутный термометр имеет цену деления 1° С, а электронный термометр измеряет с точность до 0,1° С.

В результате проведенного эксперимента температура начала аустенитного превращения (Ан) составила 58° С, а температура окончания превращения (Ак) – 73° С, что соответствует сплаву, состоящему из 50 % Ti и 50 % Ni.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анищик В.М., Канцевич В.М., Толочко Н.К. Интеллектуальные материалы: учебное пособие. Минск: БГТУ, 2014. – 316 с.

2. Философский словарь / под ред. М.М. Розенталя и П.Ф. Юдина. – Москва: Политиздат, 1963. – 554 с.

3. Тихонов А.С., Герасимов А.П., Прохорова И.И. Применение эффекта памяти формы в современном машиностроении. – М.: Машиностроение, 1981. – 81 с.

4. Сплавы с памятью формы в медицине / В.Э. Гюнтер [и др.]; – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1986. – 208 с.

5. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И., Пирайнен В.Ю. Специальные материалы в машиностроении: учебник для вузов. – СПб.: Химиздат, 2004. – 640 с.

ДИАГНОСТИКА ЗАБОЛЕВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Закриева М.С.
Научный руководитель: Ибрагимова З.М.

Чеченский государственный университет имени А.А. Кадырова, г. Грозный

Аннотация. *В данной статье рассматривается применение нанотехнологий в медицинская диагностике для обеспечивая высокой точности и раннего выявления заболеваний. Использование наночастиц и наносенсоров, чтобы обнаруживать раковые клетки и патогены с большей эффективностью. Интеграция с искусственным интеллектом ускоряет анализ данных, улучшая диагностику и лечение.*

Ключевые слова: *нанотехнологии, наносенсоры, диагностика, ИИ в медицине*

В последние десятилетия нанотехнологии стали одним из самых перспективных направлений в медицине, открывая новые горизонты для диагностики и лечения заболеваний. Диагностика на основе нанотехнологий представляет собой инновационный подход, который позволяет обнаруживать заболевания на ранних стадиях, повышая шансы на успешное лечение и улучшение качества жизни пациентов.

Нанодиагностика использует наночастицы и наноматериалы, которые обладают уникальными свойствами, такими как высокая механическая прочность, устойчивость к химическим воздействиям, поверхностная активность, обусловленными особенностями их структуры, позволяющими создавать на их основе новые материалы и устройств [1]. Эти наночастицы могут взаимодействовать с биомолекулами и клетками на молекулярном уровне, обеспечивая высокую точность и чувствительность диагностических тестов.

Также нанотехнологии очень важны в обнаружении раковых клеток. Традиционные методы, такие как биопсия и визуализация, часто имеют ограничения, связанные с чувствительностью и специфичностью. Нанотехнологии позволяют преодолеть эти препятствия, предлагая более точные и менее инвазивные методы.

Очевидным и основным элементом в нанодиагностике являются наночастицы. Частно применяются золото, серебро и оксид железа. Например, наночастицы золота могут быть использованы для обнаружения раковых клеток в крови. Эти наночастицы функционализируются антителами, которые специфически связываются с белками, экспрессируемыми на поверхности раковых клеток. После введения в кровь пациента, наночастицы связываются с раковыми клетками, что позволяет их обнаружить с помощью различных методов, таких как плазмонный резонанс или флуоресцентная спектроскопия [2].

Перспективным в плане визуализации различных клеток, а также опухолевых тканей, является использование полупроводников quantum dots (QDs) – нанокристаллов размером от 1 до 10 нм, обладающих уникальными фотохимическими и фотофизическими свойствами, в отличие от обычных красителей и флюоресцентных белков [3].

Наносенсоры это одно из направлений нанодтагностики. Эти устройства могут обнаруживать наличие патогенов, таких как вирусы и бактерии, в биологических образцах с высокой точностью и в реальном времени. Наносенсоры могут быть основаны на различных принципах, включая электрические, оптические и механические методы. Использование углеродных нанотрубок, которые могут быть функционализированы для специфического связывания с вирусными частицами. При контакте с вирусом наносенсор изменяет свои электрические свойства, что позволяет быстро и точно определить наличие инфекции. Такие сенсоры могут быть использованы для диагностики широкого спектра инфекционных заболеваний, включая COVID-19, грипп и ВИЧ.

В нынешнее время в ряду с применением нанотехнологий в медицине идёт применение и искусственного интеллекта. Для улучшения эффективности рассматривается интеграция нанотехнологий с цифровыми технологиями и искусственным интеллектом. Это позволит создавать умные диагностические системы, которые смогут анализировать большие объемы данных и предоставлять точные результаты в короткие сроки. Кроме того, продолжаются исследования по созданию многофункциональных наночастиц, которые смогут одновременно выполнять диагностику и терапию. Такие «терапевтические агенты» позволят не только обнаруживать заболевания на ранних стадиях, но и сразу начинать лечение, что значительно повысит эффективность медицинской помощи.

Диагностика заболеваний с помощью нанотехнологий открывает новые возможности для медицины, предлагая более точные, чувствительные и быстрые методы выявления различных патологий. Нанотехнологии могут стать ключевым инструментом в борьбе с такими серьезными заболеваниями, как рак и инфекции, обеспечивая раннее обнаружение и своевременное лечение. В будущем развитие нанодиагностики будет продолжаться, интегрируясь с цифровыми технологиями и расширяя свои возможности для улучшения здоровья и качества жизни людей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Смит А.М., Гао Х., Ни С. Нанокристаллы с квантовыми точками для молекулярной и клеточной визуализации in vivo // Фотохимия и фотобиология. – 2004. – № 6. – С. 127-132.

2. Курапов П.Б., Бахтенко Е.Ю. Наночастицы золота для диагностики и терапии онкологических заболеваний // Журнал наномедицины. – 2018. – № 3. – С. 45-51.

3. Самсонова М.В. Наномедицина: современные подходы к диагностике и лечению заболеваний, вопросы безопасности. – М.: Медицинское издательство, 2008. – 300 с.

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СЛОИСТОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА 12Х18Н10Т-М1-12Х18Н10Т

Захарова П.И., Веревкин Д.А., Федяшов А.С.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Хорин А.В.

Пензенский государственный университет, г. Пенза

Аннотация. *В статье предложена термическая обработка для коррозионностойкого композиционного материала системы 12Х18Н10Т-М1.*

Ключевые слова: *многослойный материал, нержавеющая сталь, медный сплав, термическая обработка*

Традиционные металлические и неметаллические материалы достигли предела своей прочности, но развивающиеся технологии требуют создания новых материалов, способных выдерживать сложные условия работы. Эти материалы должны быть устойчивы к различным силовым и температурным воздействиям, агрессивным средам, радиации, вакууму и высоким давлениям. Часто требования к материалам противоречивы, но использование композиционных материалов позволяет удовлетворить все эти потребности [1].

Существуют различные способы получения композиционных материалов: газотермическое нанесение покрытий, пропитка, диффузионная сварка, сварка взрывом и другие. После их применения зачастую необходимо провести термическую обработку.

Многослойный металлический композиционный материал системы 12Х18Н10Т-М1 – разрабатываемый в настоящее время материал, используемый для защиты объектов, работающих в условиях агрессивных сред.

Способом получения данного материала является метод ударно-волнового нагружения (сварка взрывом). Сварка взрывом как способ соединения металлов в твердой фазе является востребованной технологией [2].

Особенности формирования структуры на границе раздела слоев и околошовной зоне при создании неразъемных соединений разнородных металлов и сплавов с помощью сварки взрывом в основном изучены на примере биметаллических материалов, но могут быть применены и к многослойным композитам.

Для повышения деформируемости после сварки взрывом необходимо провести термическую обработку композиционного материала. Этот процесс включает в себя отжиг (рекристализационный), который помогает устранить наклеп и укрепить материал [3]. Важно правильно выбрать температуру нагрева композита, чтобы обеспечить полную рекристаллизацию всех слоев материала.

Благодаря оптимальным условиям отжига, зерно материала возвращает свою первоначальную структуру, а композит восстанавливает свои исходные свойства (увеличивается пластичность, уменьшается твердость – происходит рекристаллизация и устранение наклепа).

Для получения оптимальной структуры стали аустенитного класса 12Х18Н10Т необходимо провести рекристализационный отжиг при температуре от 1000 до 1250° С с выдержкой от 30 минут до нескольких часов и быстрым охлаждением. Рекомендуется использовать воздух, масло или другие мягкоохлаждающие; охлаждение в воде может привести к термическим трещинам.

Для снятия нагартовки или наклепа и восстановления пластических свойств меди необходимо провести рекристаллизационный отжиг при нагреве до температуры от 450 до 500° С со скоростью 220° С/час, выдержке от 0,5 до 1,5 часов в зависимости от конфигурации изделия и охлаждении на спокойном воздухе. После отжига структура металла состоит из равноосных кристаллов.

В связи с большим различием температур плавления меди и нержавеющей стали [1], рекристализационный отжиг будет проводиться по меди. Время нагрева составит 2,5 часа. Время выдержки при температуре отжига определяется из расчета 2,5 минуты на 1 миллиметр толщины, но не менее 30 минут. Учитывая толщину композита в 6 мм, общее время выдержки составит 30 минут. Охлаждение будет производиться на спокойном воздухе.

Главное требование при термообработке – соблюдение рекомендуемого температурного режима и времени выдержки. Даже незначительные отклонения могут привести к необратимым изменениям свойств материала.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хорин А.В., Захарова П.И., Куликов К.Д. Перспективный материал для защиты от коррозионного воздействия: сб.науч.тр. Пенза: Изд-во Вестник Пензенского государственного университета. 2022. № 4 (40). С. 125-132.

2. Лось И.С., Крюков Д.Б., Хорин А.В. Медно-алюминиевые материалы, полученные сваркой взрывом: межвуз. сб. науч. тр. Волгоград: Изд-во Волгоград. гос. техн. ун-та, 2010. Вып. № 4. 68 с.

3. Розен А.Е., Лось И.С., Перелыгин Ю.П., Усатый С.Г., Хорин А.В. Новый коррозионностойкий материал и технология его получения: сб.науч.тр. Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». 2010. С. 465-468.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. МЕТОД МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Зюзин Д.И.[1]
Научный руководитель: д.ф.-м.н., доцент Маркидонов А.В.[2]

[1]Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова, г. Барнаул
[2]Кузбасский гуманитарно-педагогический институт Кемеровского государственного университета, г. Новокузнецк

Аннотация. *Любые гипотезы, обычно формулируемые на основе экспериментальных данных, могут быть исследованы и проверены с помощью моделирования на атомном уровне. Сочетание экспериментов и моделирования для получения информации является золотым стандартом современных исследований. Так как точность моделирования и вычислительная мощность с каждым годом повышаются, моделирование все чаще используется в качестве инструмента прогнозирования при проведении и планировании экспериментов, повышая вероятность успеха исследовательских изысканий.*

Ключевые слова: *компьютерное моделирование, методы компьютерного моделирования, метод молекулярной динамики*

Компьютерное моделирование является отличным инструментом для реализации с помощью математического моделирования на компьютере любых теорий, идей [1].

Целями моделирования могут являться:

1) прогнозирование будущего состояния или поведения системы;

2) постановка экспериментов над моделью с последующей интерпретацией их результатов применительно к моделирующей системе.

По сравнению с настоящим экспериментом математическое моделирование имеет следующие преимущества:

1) экономичность;

2) возможность моделирования гипотетических, т. е. нереализованных в природе объектов;

3) возможность реализации опасных или трудновоспроизводимых в природе режимов;

4) возможность изменения масштаба времени;

5) большая прогностическая сила вследствие возможности выявления общих закономерностей;

6) универсальность технического и программного обеспечения производимой работы.

В настоящий момент наравне с реальным экспериментом в физике конденсировано состояния стал использоваться метод компьютерного моделирования.

Не зависимо от того, что в настоящий момент существуют методы электронной и атомно-силовой микроскопии, благодаря которой возможно исследовать атомную структуру веществ, ее динамику.

Область применения метода молекулярной динамики обширна и обычно выделяют следующие позиции:

– жидкости – разработаны модели межатомных взаимодействий, с помощью которых есть возможность изучать явления переноса.

– дефекты – изучение влияния дефектов на свойства кристаллов.

– разрушение – изучение процессов разрушения материалов, вызванные различными способами и разными уровнями скоростей, которая зависит от многих параметров.

Поверхности – изучение процессов и явлений таких как, поверхностные реконструкции, поверхностное плавление, образование граней, поверхностная диффузия.

Кластеры – изучение кластеров, группы атомов, отличающихся по своим физико-химическим свойствам от макроскопического образца.

Ударные волны – благодаря методу молекулярной динамики получается изучать структуры ударных волн в конденсированных средах, проходящие в них процессы пространственно-временного масштаба в ударном скачке.

Электронные свойства и динамика – благодаря данного метода возможно изучать электронные свойства материалов, а также их динамику.

В настоящий момент весомая часть производимых исследований с применением методов компьютерного моделирования происходит с применением метода молекулярной динамики. В этом методе эволюция системы взаимодействующих атомов или частиц отслеживается интегрированием их уравнений движения. Большая часть молекулярно-динамических расчетов выполнены с использованием классической механики Ньютона. Впрочем, существуют работы, в которых этот метод комбинируется с решением уравнений квантовой механики Шредингера [2, 3].

Неплохо проявил себя метод в проверке выводов разнообразных теорий. Например – теорий жидкостей и аморфных фаз [4]. Метод молекулярной динамики может рассчитывать любые свойства системы:

1. Термодинамические – энергию, давление и энтропию.

2. Кинетические – коэффициенты диффузии, частоты колебаний атомов.

Метод молекулярной динамики считается одним из мощных вычислительных и расчетных методов компьютерного моделирования, позволяющий эффективно применять его для моделирования большого количества процессов и систем [5, 6].

Данный метод способен проводить вычисления траектории отдельных атомов или скоплений атомов, динамику взаимодействия различных частиц в том числе в конденсированных средах на молекулярном уровне [6]. Это возможно благодаря высокому пространственному разрешению и возможностью получать информацию о процессах, происходящих на молекулярно-атомном масштабе и на временных отрезках в несколько наносекунд.

Идея, лежащая в основе любого подхода к молекулярному моделированию, проста: подготовить реалистичную молекулярную модель интересующей системы и дать ей развиваться с течением времени.

Если описать кратко суть метода молекулярной динамики, то он сводится к следующему:

1. Задаются исходные координаты частиц в соответствии с кристаллической структурой исследуемого вещества, его плотностью и температурой.

2. Рассчитывается движение некоторого числа частиц исследуемого вещества под действием прикладываемых сил.

3. Определяются макроскопические характеристики состояния вещества.

Для определения уровня разрушения и последствий для твердых тел под действием механических воздействий. С помощью метода молекулярной динамики возможно изучение микроскопических механизмов процесса разрушения твердых тел [1, 7].

Метод молекулярной динамики отлично подходит и для изучения поверхностей, в особенности для изучения поверхностной реконструкции, плавления, образования граней и поверхностной диффузии. Эти исследования возможно совмещать с практическими, экспериментальными данными, полученными с помощью сканирующей микроскопии или электронной микроскопии.

Метод молекулярной динамики также хорошо применим для изучения структуры ударных волн в конденсированных средах или изучение характеристик кластеров, их свойств, по своей структуре отличающихся от твердых тел.

Можно сделать выводы о нескольких преимуществах компьютерного моделирования над реальным экспериментом:

1. Проведение исследований и рассмотрения вопроса о возможном существовании новых материалов, которые в настоящем эксперименте сложно или невозможно получить. Благодаря компьютерному моделированию возможно безопасно исследовать некоторые опасные физические процессы (к примеру, связанные с высокими температурами и/или давлением [8, 9]).

2. Упрощает объяснение экспериментальных результатов. Благодаря моделированию возможно проводить оценку разных факторов и их сочетаний, после чего соотнести с теоретическими или экспериментальными данными. Благодаря моделированию возможно проводить оценку гипотез до проведения реального эксперимента.

3. Моделирование материалов с необходимыми для эксперимента свойствами. Расчеты с помощью компьютерного моделирования снижают временные, материальные и финансовые затраты на поиск и создание «идеальной» модели, подходящей под необходимый эксперимент.

Поэтому, возможно сделать вывод, что компьютерное моделирование помогает проводить исследования существующих гипотез и разрабатывать новые теории.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Itoh G. Guidebook for Effective Utilization of Hydrogen. 2008. pp. 86-88.

2. Pressouyre G.M. A classification of hydrogen traps in steel // Metall. Mater. Trans. A. 1979. V. 10A. P. 1571-1573.

3. Krom A., Bakker A. Hydrogen trapping models in steel // Metall. Mater. Trans. B. 2000. V. 31B. P. 1475-1482.

4. Пигузова Ю.В. Метод внутреннего трения в металловедческих исследованиях, Под ред. М.С. Блантера, М.: Металлургия. – 1991. – 248 с.

5. Сергеев Н.Н., Кутепов С.Н. О взаимодействии водорода с дефектами кристаллической решетки в металлах и сплавах. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. Вып. № 4. С. 131-141.

6. Сергеев Н.Н., Чуканов А.Н., Баранов В.П., Яковенко А.А. Развитие повреждаемости и обезуглероживание высокопрочных низколегированных сталей в условиях

водородного охрупчивания // Металловедение и термическая обработка металлов. 2015. № 2. С. 4-9.

7. Itoh G. Behavior of Hydrogen in Aluminum // Proceedings of the 12th International Conference on Aluminium Alloys, 2010, pp. 1347-1352.

8. Martin M.L., Somerday B.P., R.O. Ritchie, Sofronis P., Robertson I.M, Hydrogen-induced intergranular failure in nickel revisited // Acta Mater. 60. 2012.

9. The effect of nanosized (Ti,Mo)C precipitates on hydrogen embrittlement of tempered lath martensitic steel / A. Nagao, M.L. Martin, M. Dadfarnia, P. Sofronis, I.M. Robertson // Acta Mater. 74. 2014.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ КРАХМАЛА, КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

Игнатьева М.В.
Научный руководитель: д.х.н., профессор Гороховский А.В.

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

Аннотация. *В статье предлагается метод синтеза композиционных биоразлагаемых материалов на основе поливинилового спирта, крахмала и карбоксиметилцеллюлозы и анализ полученных материалов методами РФА и ИК-спектроскопии.*

Ключевые слова: *биоразлагаемые композиты, поливиниловый спирт, крахмал, карбоксиметилцеллюлоза, ПТК-Fe*

Понимание, что использование синтетического пластика наносит ущерб окружающей среде, провоцирует рост интереса к биоразлагаемым материалам, которые можно безопасно и эффективно интегрировать в экосистему [1].

Поливиниловый спирт (ПВС) является наиболее широко производимым биоразлагаемым синтетическим полимером в мировом масштабе благодаря своим превосходным физическим характеристикам, химической стойкости и полной биоразлагаемости. В сочетании с природными полимерами, например, крахмалом и карбоксиметилцеллюлозой (КМЦ), можно получить перспективный материал, использование которого поможет сократить количество отходов и создать более устойчивую экосистему.

Композит на основе ПВС/крахмал/КМЦ был получен методом полива на подложку при сушке в течение 3-4 суток на воздухе [2]. В качестве подложки использовалась стеклянная чашка Петри. Соотношения компонентов в исходном растворе приведены в таблице 1.

Таблица 1

Соотношение компонентов в исходном растворе композита ПВС/крахмал/КМЦ

Компоненты	Соотношение, масс.%		
	ПВС/крахмал	ПВС/крахмал/КМЦ	ПВС/КМЦ
ПВС	1,8	1,8	1,8
Крахмал	0,9	0,45	0
КМЦ	0	0,45	0,9
Глицерин	3,5	3,5	3,5
Вода	61,1	61,1	61,1

Для ускорения процесса биоразложения в качестве добавки к исходному раствору был добавлен модифицированный полититанат калия (ПТК-Fe, pH = 2,2) в количестве 11-15 % от исходной массы композита.

Полученные образцы были изучены методами РФА и ИК-спектроскопии.

На рис. 1 представлены дифрактограммы полученных образцов ПВС/крахмал/КМЦ.

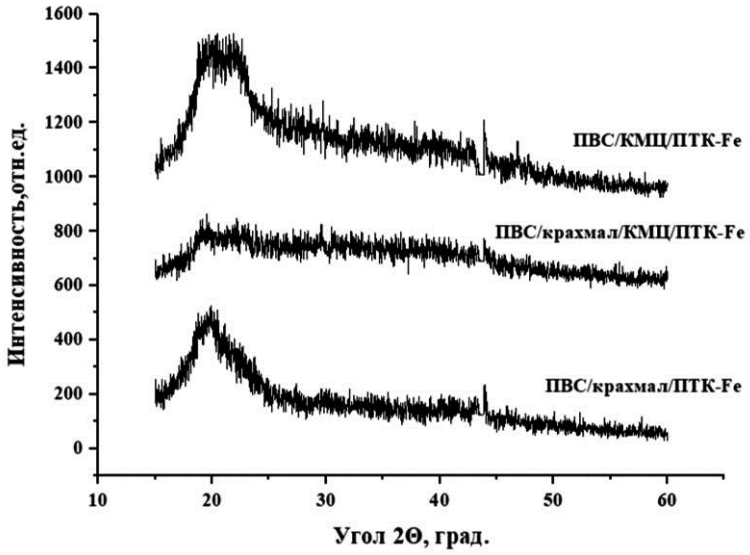


Рис. 1. Дифрактограммы синтезированных композиционных образцов

Видно, что все образцы имеют аморфную структуру, небольшой пик в пределах 20 градусов указывает на полукристаллическую природу полимеров (крахмала и КМЦ), входящих в состав синтезированных композитов.

На рис. 2 – ИК-спектры композитов ПВС/крахмал/КМЦ.

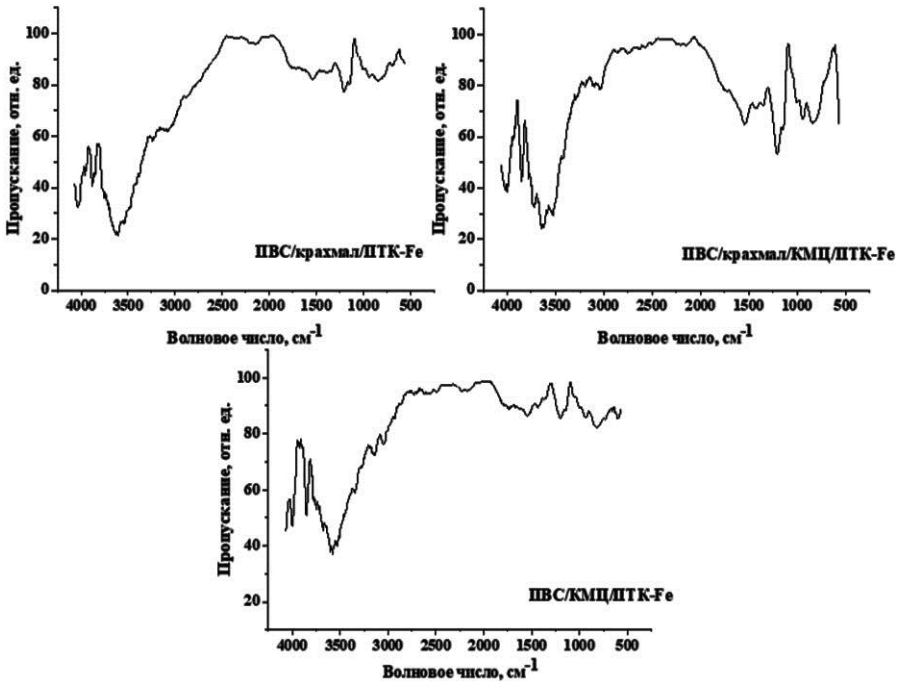


Рис. 2. ИК-спектры синтезированных композиционных образцов

На представленных ИК-спектрах наблюдаются полосы, относящиеся к валентным колебаниям –ОН групп (~3500 $см^{-1}$), -СН- (~2900 $см^{-1}$), -СО (~1200 $см^{-1}$), входящих в состав исходных соединений синтезированных материалов.

При введении КМЦ в композицию наблюдается уширение области от ~2000 $см^{-1}$ до ~3000 $см^{-1}$.

Таким образом, были синтезированы композиционные материалы на основе ПВС/крахмал/КМЦ и исследованы методами РФА и ИК-спектроскопии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. BOONTHOD C. et al. Development of Polyvinyl Alcohol/Carboxymethyl Cellulose/Starch Biodegradable Film for Active Packaging: дис. – Silpakorn University, 2022.

2. Фото- и биоразлагаемые композиционные материалы на основе крахмала и поливинилового спирта / Э.Л. Сысоева, А.В. Гороховский // Современные материалы и технологии: Сборник материалов II Международной молодежной конференции, Саратов, 19-20 мая 2021 г. / под. общ. ред. д-ра. техн. наук А.А. Фомина – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2021. – С. 180-183.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ

Безбородов Д.О., Борзов М.С., Индюхин А.Ф., Соколова А.С.
Научный руководитель: к.б.н. Индюхин А.Ф.

Тульский государственный университет, г. Тула

Аннотация. *В статье рассмотрено программное обеспечение математического моделирования систем управления подвижными объектами разных конструкций и уровней сложности.*

Ключевые слова: *подвижный объект, прибор управления, математическая модель, программирование*

С самого момента появления (изобретения) искусственных подвижных объектов (ПО) их разработка, исследование и эксплуатация неразрывно связаны с моделированием. Особенно это касается летательных аппаратов.

Модели – физические, полуфизические и математические нисколько не утратили своей актуальности до сегодняшнего дня, по понятным причинам она только возрастает. Отдельной дисциплиной выступает математическое моделирование систем управления (СУ), в задачи которых входит обеспечение точности выполнения поставленной перед ПО задачи.

При динамическом проектировании СУ необходимо определить параметры прибора, формирующего управляющие команды, в соответствии с характеристиками ПО и подтвердить положительный результат прежде всего математическим моделированием.

Математические модели ПО могут иметь самый разнообразный уровень сложности и отражать зависимости характеристик от таких параметров, как скорость, температура, особенности конструкции и т. д., вплоть до геофизических факторов [1, 2].

По плану исследований было разработано программное обеспечение, позволяющее комбинировать модели ПО с моделями приборов управления. В качестве моделей ПО рассматривались:

– осесимметричный ПО с двумя исполнительными устройствами (ИУ) органов управления;

– осесимметричный ПО с одним ИУ;

– несимметричный ПО с двумя элеронами.

Приборы управления соответственно имели один, два или три канала с регулированием по координатам, углам, угловым скоростям, с подачей пропорциональных или релейных команд.

На рис. 1 представлена блок-схема математической модели беспилотного ПО самолетного типа, имеющего в качестве органов управления два раздельно управляемых элерона.

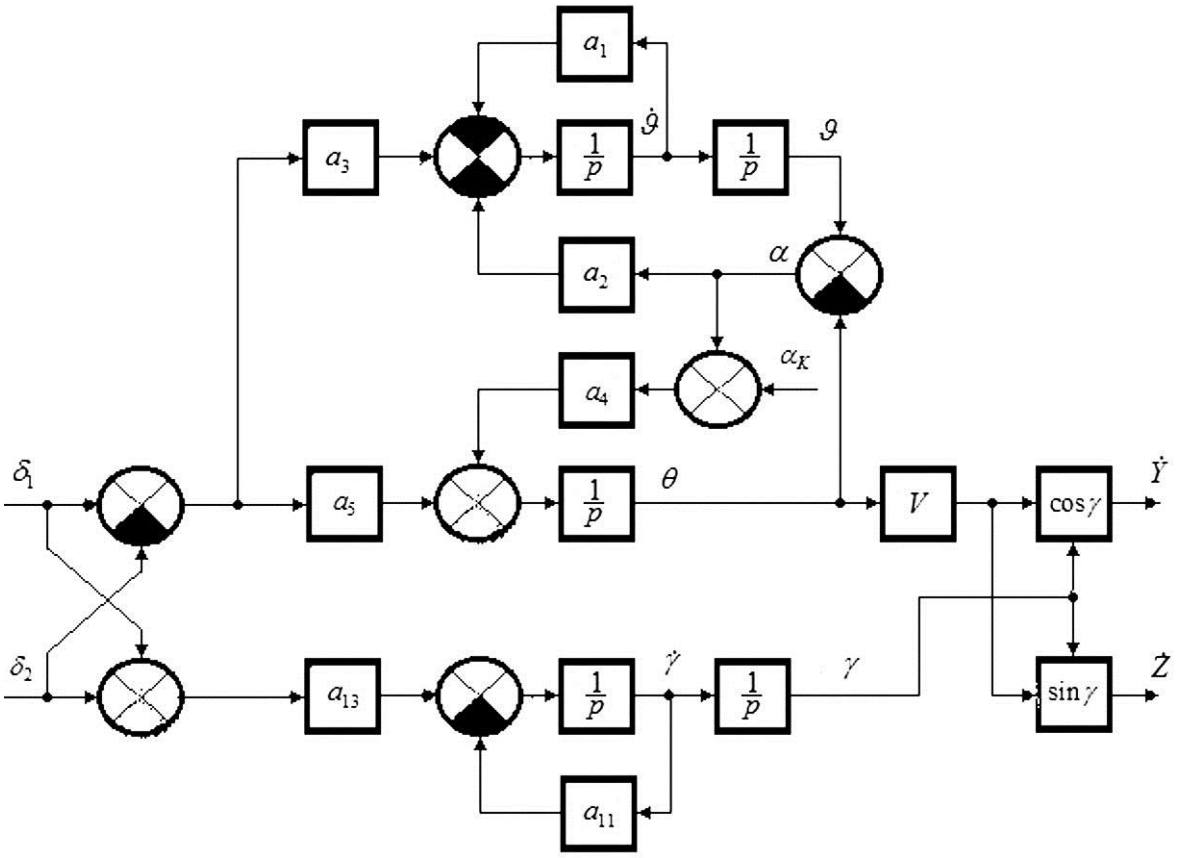


Рис. 1. Блок-схема модели ПО: δ_1, δ_2 – углы отклонения элеронов; ϑ – угол продольной оси ПО в вертикальной плоскости; θ – угол вектора скорости в вертикальной плоскости; α – угол атаки; α_K – угол атаки крыла; a_i – динамические коэффициенты ПО; p – оператор Лапласа; Y, Z – положение центра масс ПО

На рис. 2 изображена схема прибора релейного управления двухканальным ПО. Для принудительной линеаризации нелинейности используется пилообразный сигнал.

При разработке программного обеспечения использовалось эффективное средство объектного программирования – современный язык C++ и графический интерфейс Qt Creator. В числовых данных программа учитывает разнообразные входные воздействия и характеристики ПО. Обеспечивается расчёт данных для трехосевого акселерометра и гироскопа.

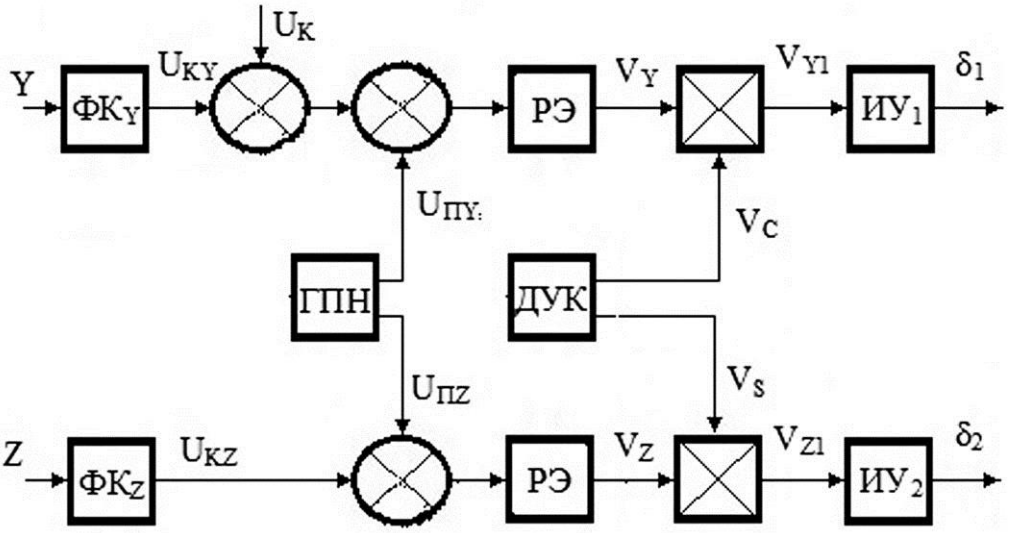


Рис. 2. Блок-схема формирования релейной команды управления: Y, Z – координаты ПО в земной системе координат в вертикальном и горизонтальном канале соответственно; $ФК_Y$, $ФК_Z$ – формирующие фильтры; ГПН – генератор пилообразного напряжения; РЭ – релейный элемент; ДУК – датчик угла крена; $ИУ_1$, $ИУ_2$ – исполнительные устройства; U_{KY}, U_{KZ} – команды управления в земной системе координат; U_K – команда компенсации веса; $U_{ПУ}$, $U_{ПZ}$ – сигналы пилообразного напряжения; V_Y, V_Z – релейные команды в земной системе; V_C, V_S – модулирующие сигналы; V_{Y1}, V_{Z1} – релейные команды в связанной с вращающимся ПО системе координат; δ_1, δ_2 – выходные сигналы ИУ

На рис. 3 приведены фрагменты интерфейса программы в различных режимах работы.

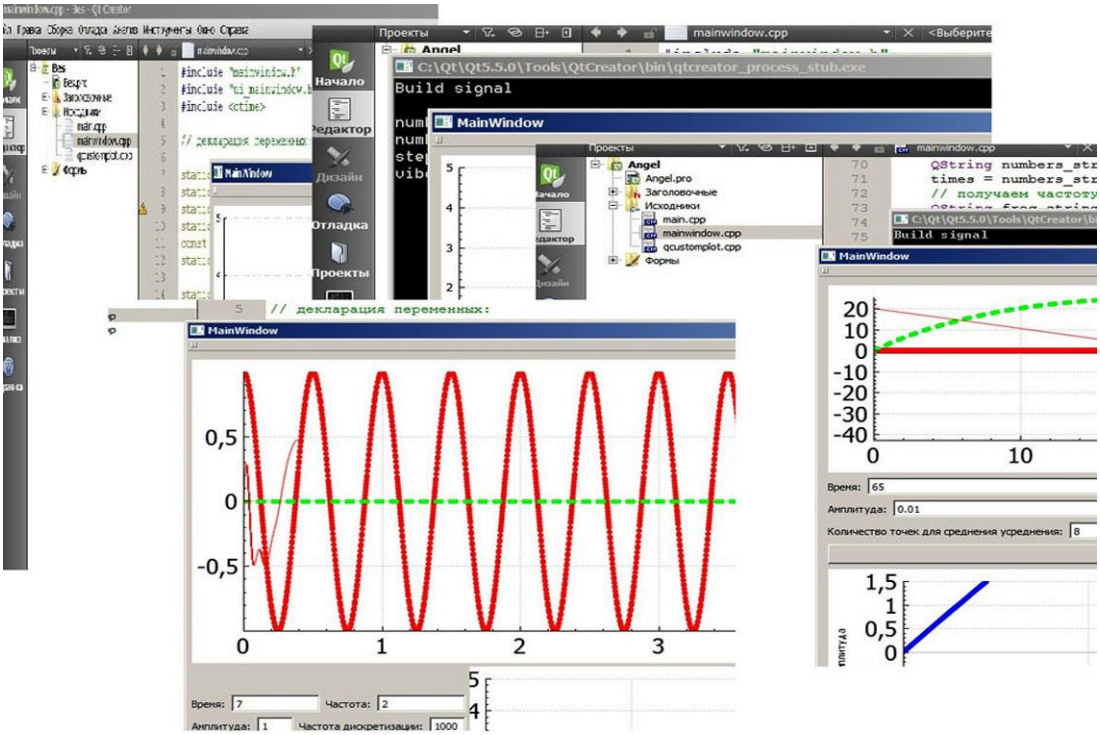


Рис. 3. Фрагменты интерфейса программы при задании исходных данных, выводе на экран числовых результатов и графиков, моделировании движения ПО и расчете сигналов в приборе управления

Данная программа моделирования управляемого движения высокоманевренных ПО предоставляет в руки пользователя мощный инструмент в различных областях: от конструкторских разработок до научных исследований и образования. Достаточная гибкость и точность модели позволяют решать задачи разного уровня сложности с наглядным представлением результатов.

Работа с программой развивает навыки алгоритмического программирования, цифровой фильтрации и статистической обработки, математического моделирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Романова И.К. Математические модели управляемого движения летательных аппаратов. – М.: Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2014. – 112 с.

2. Беспилотные летательные аппараты / П.М. Афонин [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1967. – 440 с.

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ ПСЕВДО-α-СПЛАВОВ КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ПОТОКАМИ ЭНЕРГИИ

Ионина А.В.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Будовских Е.А.

Филиал Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачёва в г. Новокузнецке, г. Новокузнецк

Аннотация. *В данной статье показано, что обработка поверхности титанового сплава с использованием концентрированных потоков энергии приводит к упрочнению. Влияние силы тока на этот процесс оказывается неоднозначным, и максимальное значение функции «микротвердость – сила тока» достигается в диапазоне температур 800-900° С. Исследование микроструктуры, соответствующей наиболее эффективному методу упрочнения, показало значительные структурные изменения, такие как измельчение структуры и формирование слоистой ориентации элементов структуры. Полученные результаты подтверждают, что электронно-лучевая обработка может быть эффективным способом обработки поверхностного слоя титановых сплавов.*

Ключевые слова: *упрочнение, титановые сплавы, микротвёрдость, структура, поверхностный слой, зёрна и субзёрна*

В статье обсуждается важность поверхностного слоя в формировании свойств конструкционных материалов. Это привело к разработке различных методов упрочняющих обработок поверхности. Некоторые из них основаны на изменении микроструктуры поверхностного слоя путём воздействия высокими температурами, газонасыщением и скоростями нагрева и охлаждения.

Другие методы включают создание покрытий на основном материале. Наконец, разные виды химико-термических обработок. В последние годы получили широкое распространение комбинированные методы, объединяющие несколько видов обработок, включая высокоэнергетические термосиловые воздействия [1, 2]. Примером таких технологий является электромеханическая обработка (ЭМО), которая заключается

в импульсном интенсивном контактном электронагреве до температур фазовых превращений и высокоскоростном охлаждении поверхностного слоя металла с одновременным его горячим пластическим деформированием [3].

В данном исследовании рассматривается влияние параметров термомеханической обработки на структуру и механические свойства поверхностного слоя титанового сплава 5В, который благоприятствует оптимизации его служебных характеристик. Из прутков (α+β) делали образцы диаметром 20 мм. Для ЭМО использовали ролик, вращающийся вокруг своей оси и передающий ток. Параметры: I = 200 – 1200 А, U = 4 – 5 В, V = 0,6 м/мин, S = 0,4 мм/об, p = 450 МПа. В зону обработки для ускорения охлаждения и дополнительной защиты от кислорода окружающего воздуха подавали охлаждающую жидкость эмульсол.

Для анализа упрочнённого титанового сплава использовали шлифы и оптический микроскоп. Микроструктуры выявляли с помощью травителя, содержащего кислоты и глицерин. Микротвердость измеряли на микротвердомере с нагрузкой 0,2 Н по ГОСТ 9450-76.

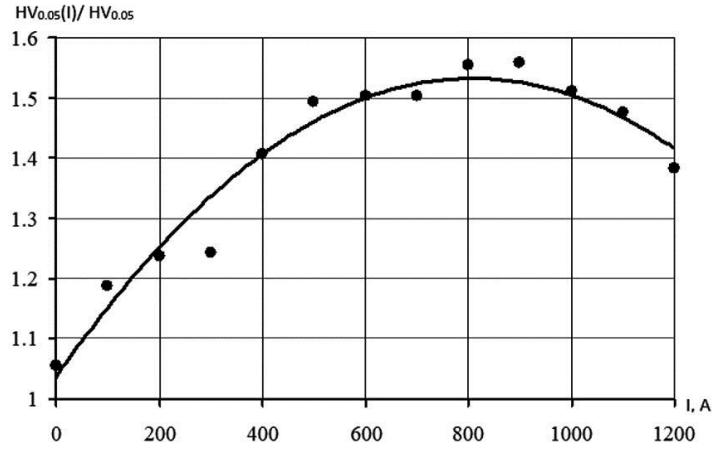


Рис. 1. Влияние величины тока на микротвёрдость поверхностного слоя

При нагреве титановых сплавов на воздухе образуется хрупкий газонасыщенный слой на поверхности, что может привести к микротрещинам и микроразрушениям. Электромеханическая обработка упрочняет поверхностный слой и защищает его от окисления, обеспечивая структурные изменения в безвоздушной среде. Эффект упрочнения зависит от силы тока: при 800-900 А достигается наибольший эффект упрочнения, после чего микротвёрдость начинает уменьшаться, но остаётся выше исходных значений. Изменение микротвёрдости аппроксимируется зависимостью

$$HV = -0{,}003I2 + 4{,}78I + 4032 \text{ (МПа)},$$

где I – сила тока, А.

Структура упрочнённого слоя титанового сплава 5В после обработки методом ЭМО была изучена с помощью оптической микроскопии. Обнаружено формирование слоистой структуры в поверхностном слое, состоящей из пластинчатых элементов размером не более 3 мкм при токе 900 А (рис. 2, а). Микрофотография структуры в поперечном направлении, перпендикулярном оси образца (рис. 2, б), показывает, что структура упрочнённого слоя практически не меняется при переходе от продольного к поперечному сечению. Анализируя в целом структурные изменения, происходящие в поверхностном слое можно сделать вывод, что увеличение силы тока приводит к росту

температуры, снижению прочности и улучшению пластичности сплава, что способствует формированию развитой субзёренной структуры и увеличению эксплуатационных характеристик [4].

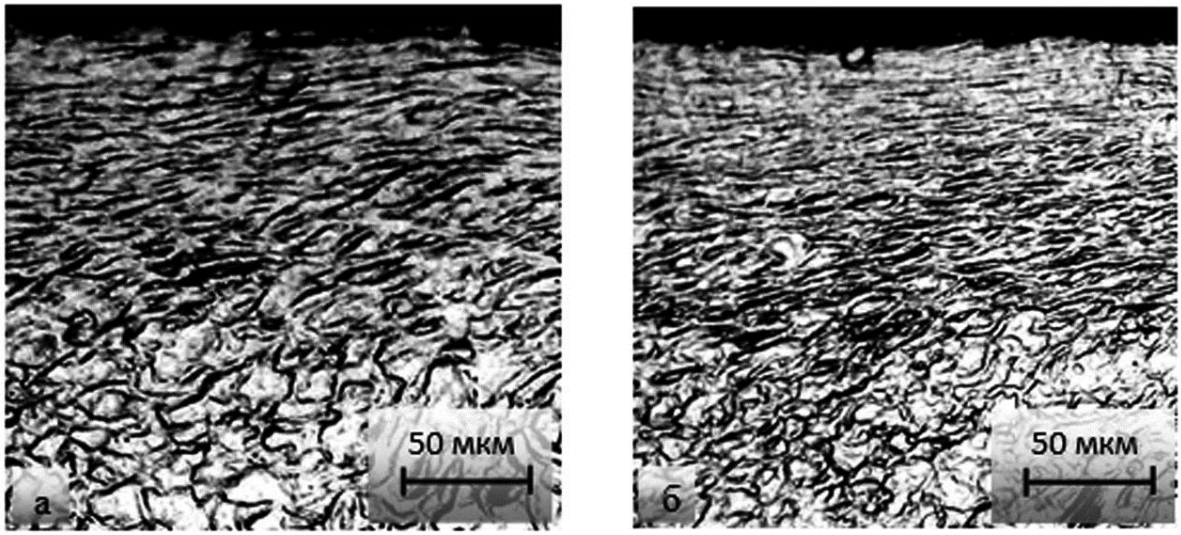


Рис. 2. Микрофотография поперечного шлифа с упрочнённым поверхностным слоем: а – в продольном направлении, б – в поперечном направлении

Важным фактором влияния на структурно-фазовые превращения является величина температуры – в процессе её повышения динамические процессы преобразования структуры могут происходить в α, α+β, и β – областях, а резкое высокоскоростное охлаждение может фиксировать метастабильную структуру, которая будет оказывать влияние на последующие механические свойства. Из предоставленных данных не выявлено наличии трещин, микротрещин или дефектов в поверхностном упрочненном слое титанового сплава после применения метода электромагнитного ограничения при измерении микротвердости или подготовке шлифов, в отличие от процесса азотирования. Результаты проведенных экспериментов демонстрируют принципиальную осуществимость создания упрочненного поверхностного слоя на изделиях из титановых псевдо-α-сплавов с использованием механо-термической обработки, при этом сохраняя исходную структуру основного металла.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ионина А.В. Электронно-пучковая модификация поверхности углеродистой стали / А.В. Ионина // Инженерная физика. – 2022. – № 12. – С. 17-27.

2. Особенности структуры поверхностных слоев титана после электровзрывного науглероживания / Л.П. Бащенко, И.Т. Ефименко, Е.А. Будовских [и др.] // Вторые московские чтения по проблемам прочности материалов, посвященные 80-летию со дня рождения академика РАН Ю.А. Осипьяна 2011 года. – Черноголовка: Издательство Черноголовка, 2011. – С. 25.

3. Багмутов В.П., Паршев С.Н., Дудкина Н.Г., Захаров И.Н. Электромеханическая обработка: технологические и физические основы, свойства, реализация. Новосибирск: Наука, 2003. 318 с.

4. Особенности модифицирования поверхностных слоев титана при электровзрывном науглероживании / Л.П. Бащенко, И.Т. Ефименко, Е.А. Будовских [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2012. – № 2. – С. 65-69.

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ АЛЮМОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ В ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Исаев А.Е.
Научный руководитель: д.х.н., профессор Кособудский И.Д.

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

Аннотация. *В статье рассмотрены физико-химические основы кинетики процессов, происходящих при механической активации алюмосиликатов кальция.*

Ключевые слова: *механическая активация, кинетика, алюмосиликаты кальция*

В настоящее время строительная отрасль, в том числе производство цемента играет важную роль в развитии экономики страны [1]. В процессе производства строительных материалов формируется материальный базис функционирования всех остальных отраслей экономики – капитальные сооружения и дороги.

Технология помола цемента является определяющей при производстве цемента. Известно, что на измельчение 1 тонны портландцементного клинкера необходимо 30-40 кВт·ч/т [2]. Расход электроэнергии определяется химическим и минералогическим составом клинкера и особенностями процесса его измельчения. Помол клинкера – это процесс, при котором размер гранул клинкера уменьшается и достигает диапазона среднего размера частиц 15-20 мкм [3]. Процесс помола сопровождает создание структурных дефектов в твердом теле. Для определения кинетических закономерностей механической активации при измельчении алюмината кальция, являющегося одним из компонентов клинкера портландцемента, было проведено исследование с использованием вибрационной мельницы Retsh PM100. Для этого навеску алюмината кальция массой 5 г измельчали в течение 1, 5, 10 минут с добавлением поверхностно-активного вещества (ПАВ) в концентрации 50 и 100 г/т алюмината кальция. В качестве ПАВ использовался 70 % водный раствор глицерина. Результаты эксперимента представлены на рис. 1.

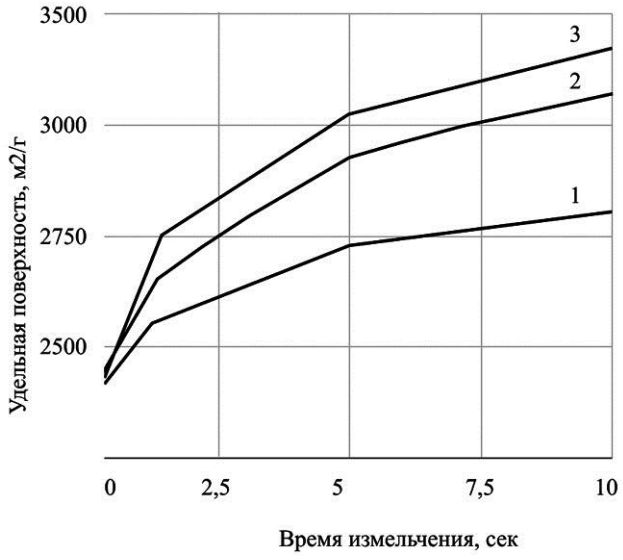


Рис. 1. Удельная поверхность частиц алюмината кальция: 1 – без добавления ПАВ, 2 – концентрация ПАВ – 50 г/т материала, 3 – концентрация ПАВ – 100 г/т материала

Определено, что процесс измельчения и механической активации протекает нелинейно, что объясняется следующим. На первых этапах происходит разрушение агломератов до микрокристаллов, после процесс протекает по механизму истирания, сопровождающееся, как предполагается, накоплением дефектов в решетке микрокристаллов. Дефекты твердого тела обладают электрическим зарядом, вследствие чего активнее проявляется процесс агломерации, который является обратным процессу измельчения. Вследствие этого скорость процесса измельчения уменьшается с увеличением времени измельчения: скорость процесса агломерации возрастает. Для более точного определения кинетических закономерностей измельчения алюмосиликатов кальция необходимо проведение дополнительных исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хатджиева О.К., Гылычдурдыева Г., Гандымов Б. Роль строительной отрасли в развитии экономики // Символ науки, 2023. – № 12. – Р. 1-10.

2. Сиваченко Л.А. Проблемные вопросы помольного комплекса // Разработки ученых и специалистов, 2010. – С. 21-26.

3. Осокин А.П., Потапова Е.Н. Современные представления о процессах клинкерообразования // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова, 2008. – № 2. – С. 54-60.

СРАВНЕНИЕ ВЕРХНИХ ПОГЛОЩАЮЩИХ СЛОЕВ ИЗ АЛЮМИНИЯ И ОЛОВА ПРИ ЛАЗЕР-СТИМУЛИРОВАННОЙ МЕТАЛЛ-ИНДУЦИРОВАННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ КРЕМНИЯ

Карташова А.М., Волковойнова Л.Д.
Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Сердобинцев А.А.

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов

Аннотация. *В статье приведены результаты по лазер-стимулированной металл-индуцированной кристаллизации кремния на нетканых нановолокнистых подложках при использовании двух типов верхних поглощающих лазерное излучение слоев. Проведено сравнение эффективности использования таких металлов, как алюминий и олово.*

Ключевые слова: *лазер-стимулированная кристаллизация кремния, металл-индуцированная кристаллизация кремния, нетканые нановолокнистые подложки, магнетронное распыление*

Поликристаллический кремний обладает значительным потенциалом для целого ряда применений, включая различные датчики [1] и солнечные элементы [2]. Лазерная кристаллизация аморфного кремния считается одним из наиболее эффективных методов получения поликристаллического кремния на легкоплавких подложках. Однако традиционно используемая эксимерная лазерная кристаллизация имеет много недостатков, например, очень высокое поглощение ультрафиолета в аморфном кремнии и дорогостоящее техническое обслуживание [3]. Поэтому поиск новых методов лазер-стимулированной кристаллизации кремния не теряет своей актуальности. В работе [4]

для кристаллизации кремния используется метод металл-индуцированной лазер-стимулированной (МИЛС) кристаллизации кремния, который приводит к значительному снижению температуры кристаллизации и позволяет использовать в качестве подложек для кристаллизуемых структур легкоплавкие материалы. В данной работе для кристаллизации также применялся метод МИЛС, так как в качестве подложек использовался нетканый материал из полиакрилонитрила (ПАН).

Для создания нетканых нановолокнистых подложек использовался метод электроформования. Для этого изготавливался раствор ПАН в диметилформамиде. Электроформование осуществлялось с помощью шприцевого насоса «SPLab02» и высоковольтного источника питания FUG HCP 140-65000. Длительность процесса составляла 15 минут, а напряжение на источнике было равно 53 кВ.

Затем на полученные подложки методом магнетронного распыления при помощи установки Angstrom Nexdep были последовательно нанесены тонкие пленки кремния и металла. Было получено два образца, отличающихся верхним металлическим слоем (таблица 1).

Таблица 1

Описание полученных образцов

Образец	Металл	Время напыления, с	Толщина слоя, нм
I	Алюминий	80	31
II	Олово	60	49

Время напыления кремния не изменялось (300 с), толщина слоя составила 190 нм. Разное время напыления металлов связано с отличием их скоростей распыления и необходимостью получения примерно одинаковых по толщине слоев [5]. На рис. 1 показаны СЭМ изображения поверхности чистой подложки из ПАН и подложки уже после напыления слоев кремния и металла.

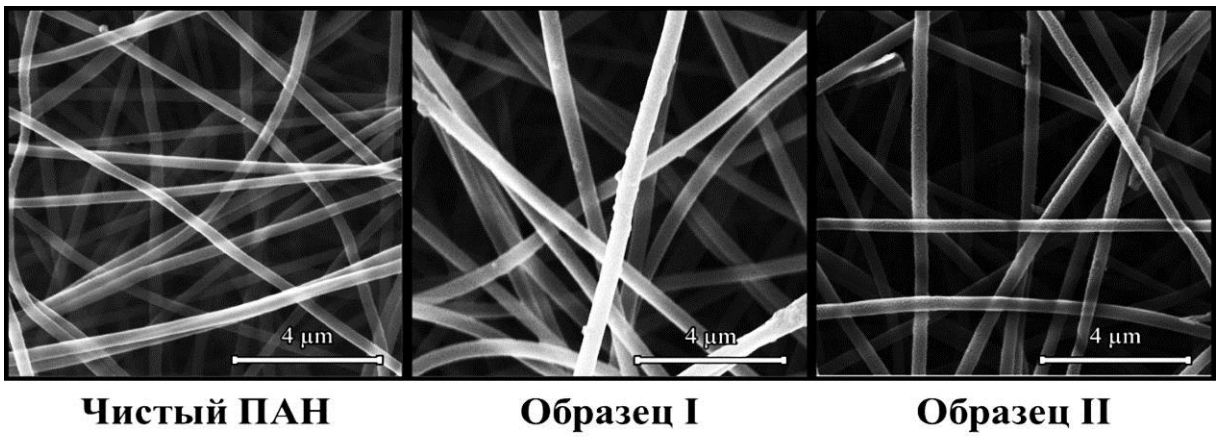


Рис. 1. СЭМ изображения образцов до лазерной обработки

На полученных образцах импульсным лазером с длиной волны 1064 нм отжигались квадраты 2 х 2 мм^2. Параметры режима лазерной обработки: мощность лазерного излучения 0,2 Вт; длительность импульса 4 нс; скорость перемещения лазерного луча 2200 мм/с; частота 99 кГц для образца I и 70 кГц для образца II.

Проверка кристаллизации осуществлялась при помощи спектроскопии комбинационного рассеяния (КРС). При этом использовался лазер с длиной волны 532 нм. Усредненные спектры, а также СЭМ изображения поверхности образцов после лазерной обработки показаны на рис. 2.

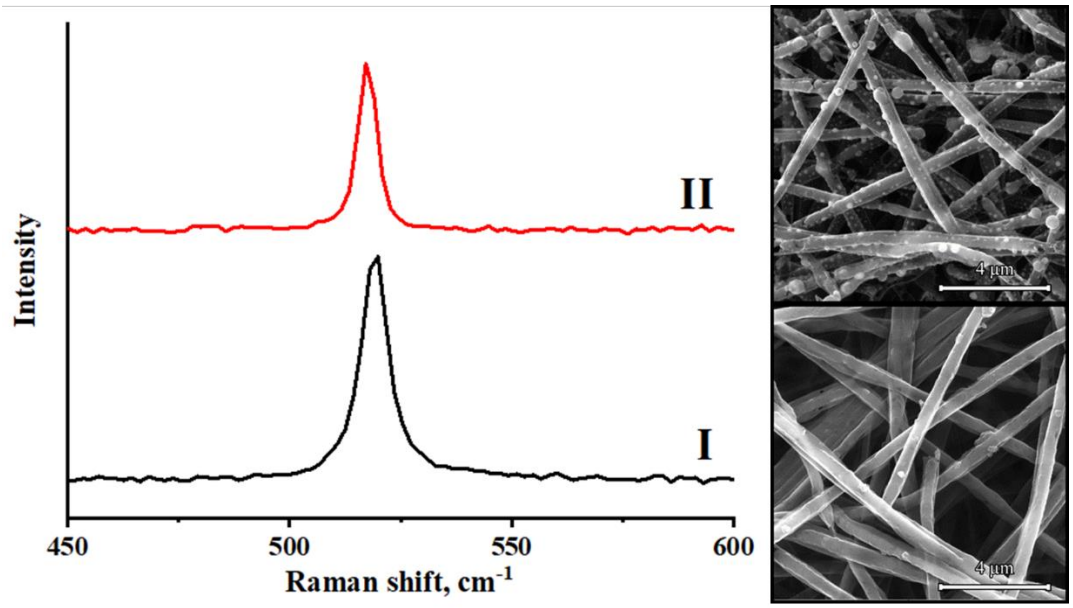


Рис. 2. Спектры КРС и СЭМ изображения образцов после лазерной обработки

По рисунку видно, что в спектрах имеется хорошо различимый пик, приближенный к пику монокристаллического кремния (520 $см^{-1}$), что свидетельствует о наличии кристаллической фазы в обоих образцах. Однако интенсивность пика для образца II, где в качестве верхнего слоя использовалось олово, меньше, чем интенсивность пика для образца I, что свидетельствует о меньшем содержании поликристаллического кремния. Из СЭМ снимков видно, что после лазерной обработки металл собирается на волокнах в частицы. Причем частиц олова значительно больше, чем частиц алюминия. Из этого можно сделать вывод, что алюминий легче подвергается лазерной абляции и значительная его часть испаряется с поверхности образца. Это подтверждают исследования образцов методом EDX: начальное содержание алюминия 28,5 %, конечное – 15,9 %. Для олова эти значения равны 15,7 % и 13,2 %, соответственно.

Проведенный анализ результатов исследования позволяет утверждать, что верхний поглощающий слой из алюминия является более предпочтительным при МИЛС кристаллизации кремния, чем слой из олова.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-22-00047, https://rscf.ru/project/23-22-00047/.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Othayq M.M. (2020). Development of capacitive temperature sensors with high sensitivity using a multiuser polycrystalline silicon process / M.M. Othayq, N. Giganti, M. Shavezipur // Microelectronic Engineering. – 2020. – V. 226. – P. 111287.

2. Хорошко В.В. Прогнозирование электрических характеристик фотоэлектрических преобразователей на основе поликристаллического кремния по моделям их деградации / В.В. Хорошко, В.Ф. Гременок, Е.Н. Шнейдеров, А.С. Терешкова, О.А. Аксенов, Н.М. Бруй // Проблемы физики, математики и техники. – 2020. – Т. 42, № 1. – С. 61-64.

3. Yuan Z. Numerical and experimental analysis on green laser crystallization of amorphous silicon thin films / Zhijun Yuan, Qihong Lou, Jun Zhou, Jingxing Dong, Yunrong Wei, Zhijiang Wang, Hongming Zhao, Guohua Wu // Optics & Laser Technology. – 2009. – V. 41. – P. 380-383.

4. Сердобинцев А.А. Лазер-стимулированная металл-индуцированная кристаллизация кремниевых покрытий на пленочных и нановолокнистых полимерных подложках / А.А. Сердобинцев, А.М. Карташова, П.А. Демина, Л.Д. Волковойнова, И.О. Кожевников, В.В. Галушка // Журнал технической физики. – 2024. – Т. 94, № 3. – С. 497-506.

5. Чичерская А.Л. Скорость распыления металлов в тлеющем разряде постоянного тока, используемом в атомно-эмиссионной спектрометрии / А.Л. Чичерская, А.А. Пупышев // Аналитика и контроль. – 2015. – Т. 19, № 3. – С. 230-241.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ РЕДОКС-ПОЛИМЕРОВ

Каратышова Т.Я., Миронюк В.Н., Хассун О.А., Глуховской Е.Г.
Научный руководитель: к.ф.-м.н. Глуховской Е.Г.

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов

Аннотация. *В статье предложена технология получения пленок Ленгмюра на основе редокс-полимеров. В качестве такого полимера использовали полианилин (ПАНИ). Данный полимер известен своими уникальными свойствами, зависящими от степени окисления, что может быть использовано при создании перспективных элементов в различных отраслях. Существует ряд сложностей использования данного типа полимеров, в числе их выбор растворителей и допирующих добавок. Предложены растворители различной природы и поверхностно-активное вещество в качестве добавки для полианилина, позволяющие использовать полимер в получении тонких пленок.*

Ключевые слова: *редокс-полимеры, проводящие полимеры, полианилин, технология Ленгмюра, пленки Ленгмюра, изотермы сжатия, модуль сжатия, морфология поверхности*

Тонкие слои полимерных полупроводников, в частности ПАНИ, привлекают особое внимание исследователей из-за возможностей их использования в различных оптических и электрических устройствах, проводящих покрытиях и т. п. Тренды в гибкой электронике, сенсорах и датчиках на основе пленок из редокс-полимеров включают в себя увеличение интереса к разработке гибких и легких электронных устройств, способных адаптироваться к различным поверхностям и формам [1]. Одной из важных технологических проблем при получении многослойных структур является формирование высокоупорядоченных мономолекулярных слоев на твердых подложках. Существует множество технологий получения пленок и покрытий, но именно технология Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ) сочетает в себе возможность формирования мономолекулярных слоев и простоту реализации [2, 3].

В зависимости от намерений использования получаемых пленок можно определить оптимальные для формирования плавающих слоев ПАНИ растворители и смеси на их основе, а так же условия переноса на твердые подложки, т. е. поверхностное давление. Последнее определяется по фазовым превращениям на изотермах сжатия. Более предпочтительным участком для переноса монослоев считается участок плотной упаковки (S).

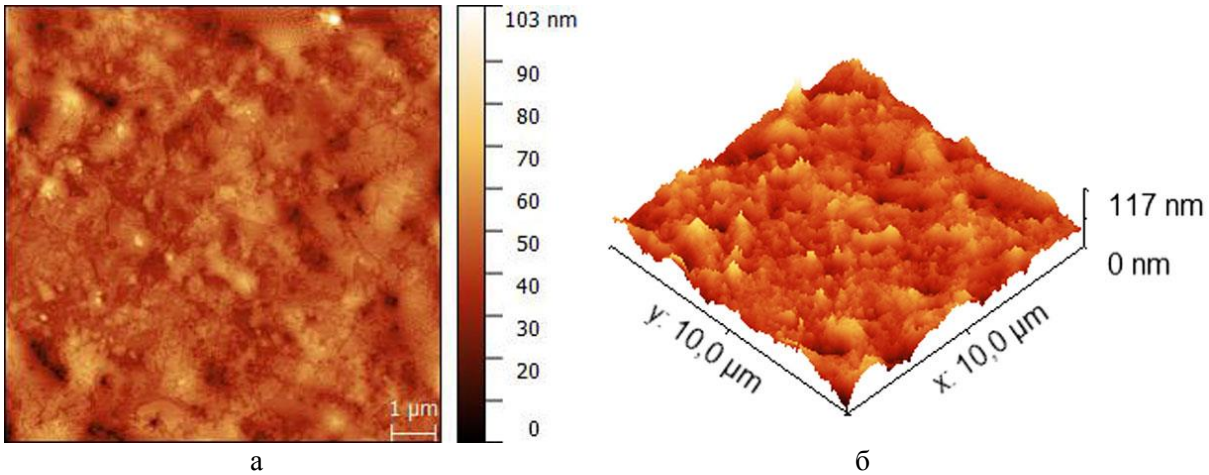
Тонкие пленки полианилина были получены с помощью технологии Ленгмюра на установке KSV NIMA 2002 KN LB при температуре 24° С. В качестве водной субфазы использовали деионизированную воду. Для формирования монослоев подготавливали смеси ПАНИ в концентрации 10^{-2} М в различных растворителях, таких как хлороформ (марки Victon, Россия), н-метилпирролидон (марки РЕАХИМ, Россия), толуол (марки РЕАХИМ, Россия), диметилсульфоксид (марки РЕАХИМ, Россия) и арахиновой кислоты (от Sigma-Aldrich, содержание основного вещества >99,9 %) в концентрации $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ М в хлороформе.

Полианилиновая смесь изготавливалась путем взвешивания порошка полианилина и смешивания его с растворителями в стеклянных виалах объемом 2,5 мл. Виалы с содержимым помещалась в ультразвуковую ванну на 10 минут для лучшего смешивания компонентов смеси.

Смесь арахиновой кислоты и хлороформа изготавливалась аналогичным способом. Данные смеси использовались для изготовления растворов со следующими мольными соотношениями ПАНИ:АК – 1:9, 3:7, 1:1, 7:3 и 9:1 для построения изотерм сжатия на жидкой субфазе.

Для формирования плавающих слоев растворы вносились на поверхность воды в количестве (V), равном 100 мкл. Время полного испарения растворителя составляло в каждом случае 10 мин, после чего монослой сжимали двумя барьерами с постоянной скоростью 15 мм/мин. После достижения заданного давления и релаксации монослоя его переносили методом Ленгмюра–Шеффера с горизонтально ориентированной подложкой. Перед сканированием образцы высушивали при комнатной температуре. Затем морфологию поверхности образцов исследовали с помощью сканирующего зондового микроскопа SOLVER NANO (АСМ НТ-МДТ) и автоэмиссионного сканирующего (растрового) электронного микроскопа Mira II LMU в комплектации с интегрированной системой определения элементного состава (AztecLive Advanced Ultim Max 40 Inca Wave 500 TESCAN, Чехия) при разрешении в режиме высокого вакуума (SE, InBeam): 1,0 нм при 30 кВ.

Полученные АСМ-изображения обрабатывали с помощью программы визуализации и анализа данных Gwyddion. На примере структуры, полученной из смеси растворов полианилина в хлороформе и арахиновой кислоты в хлороформе в мольном соотношении ПАНИ:АК 1:1, были получены АСМ-изображения (рис. 1) и СЭМ-изображения (рис. 2).



а б

Рис. 1. АСМ-изображение полученной структуры на кремниевой подложке
а – 2D-профиль и б – 3D-профиль

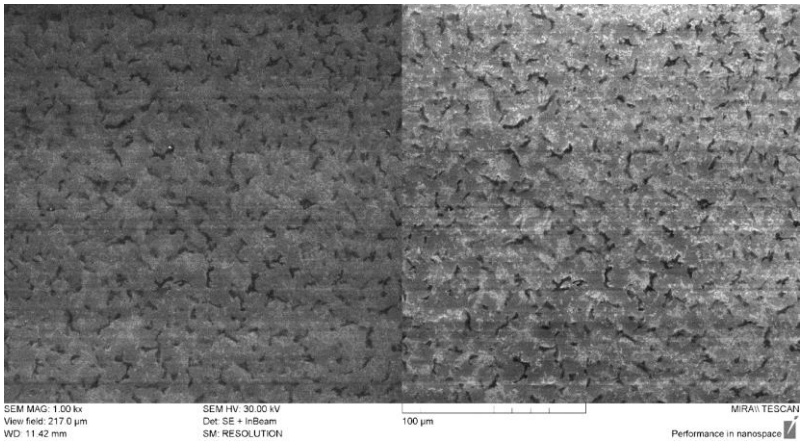


Рис. 2. СЭМ-изображение полученной структуры
на кремниевой подложке в приближении x1000

Таким образом, в данной работе была отработана технология получения тонких пленок на основе редокс-полимеров на примере полианилина, а так же изучена морфология полученных структур. В результате были получены структуры с развитой гомогенной морфологией.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Skotheim T.A., Reynolds J.R., London N.Y. Handbook of Conducting Polymers. Conjugated Polymers. Processing and Applications. – Taylor & Francis Group, 2007. – P. 1.

2. Blodgett K.B. Films built by depositing successive monomolecular layers on a solid surface / K.B. Blodgett // J. Amer. Chem. Soc. – 1935. – V. 57. – P. 1007-1022.

3. Mironyuk V.N., Al-Alwani A.J.K., Begletsova N.N. [et al.] Modeling of the interaction of porphyrin molecules in a nonpolar solvent // J. Phys.: Conf. Ser. 2086 (1), 2021. – P. 1-5.

СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ CDSE МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ДЛЯ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЛОЕВ

Хассун О.А.Х.[1,2], Салман О.Н.С.[3], Каратышова Т.Я.[2], Гавриков М.В.[2],
Миронюк В.Н.[2], Захаревич А.М.[2], Глуховской Е.Г.[2]

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Глуховской Е.Г.[2]

[1]Министерство электроэнергии Ирака, г. Багдад, Ирак
[2] Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов
[3]Технологический университет, г. Багдад, Ирак

Аннотация. *В статье апробирована технология получения наночастиц CdSe методом лазерной абляции. В качестве мишени была использована таблетка из прессованного микроразмерного порошка CdSe. В качестве растворителя использовался хлороформ без добавления поверхностно-активного вещества в качестве стабилизатора. На основе полученных суспензий формировались тонкие пленки на стеклянных подложках. На стеклянных и кремниевых подложках создавали многослойные структуры, в которых на пленку CdSe в качестве контактного слоя наносился слой углерод-*

ных нанотрубок. Были получены данные о спектральных и электропроводящих свойствах, а также о фоточувствительности слоев и структур.

Ключевые слова: *наночастицы CdSe, лазерная абляция, солнечные батареи, фоточувствительность, проводящие свойства, технология Ленгмюра-Блоджетт, тонкие пленки*

Солнечные элементы на основе неорганических и органических материалов интересны благодаря сочетанию простоты их изготовления (следовательно, низкой стоимости), достаточно высокой эффективности фотопреобразования и новых возможностей [1]. Так, слои квантовых точек с неорганическими красителями дают возможность использование гибких подложек в устройствах фотовольтаики. Существуют различные методики получения квантовых точек. Наиболее распространенная – методика прямого химического синтеза в растворах, требует высокой чистоты исходных реагентов и строго соблюдения условий синтеза. В этом отношении метод лазерной абляции является менее чувствительным к исходным реагентам, хотя и возникает необходимость контроля излучения, стимулирующего рост наночастиц в жидкой среде [2].

В настоящей работе для получения наночастиц, использовалась мишень в виде таблетки, полученной из порошка CdSe с чистотой не менее 99 % (M-CdSe (grade – medium), purity 99 % – 99,99 %, Partcile Size – 44-150 μm, Hunan Fushel Technology Limited, China), с размером частиц 44-150 μm. Таблетку получали прессованием исходного порошка давлением 5 т. Мишень облучали Nd:YAG лазером с длиной волны 1064 нм, мощность излучения 700 мДж, которое фокусировалось в точку диаметром – 1,2 мм, длительность обработки лазером составляла 2 минуты, облучения импульсное с шириной импульса – 10 нс, частотой следования серии импульсов – 2 Гц.

Во время облучения таблетка находилась в хлороформе высокой чистоты с содержанием основного компонента не менее 99,95 %. В процессе лазерного облучения получалась суспензия, содержащая наночастицы CdSe. Надосадочная часть объема (более прозрачная) и осадочная (которая образовывалась непосредственно в зоне облучения и имела характерный серый цвет) сливались в отдельные виалы. Каждый цикл завершался трехкратной промывкой хлороформом мишени и емкости, в которой проводился синтез. Процесс повторялся до наработки необходимого количества суспензий для следующих этапов (характеризации наночастиц и формирования пленок на их основе).

Для суспензий наночастиц CdSe регистрировались спектры поглощения (VS-UV). Из полученных суспензий на поверхности воды в ленгмюровской ванне формировали слои, после чего их переносили методом Ленгмюра-Шеффера на поверхности твердых подложек.

Полученные пленки, содержащие 20, 40, и 60 слоев наночастиц CdSe, исследовали методами сканирующей микроскопии (SEM) и атомно-силовой микроскопии (AFM), методами поглощательной и фотолюминесцентной спектрокопии (PL), также исследовалась проводимость и фоточувствительность пленок на стеклянных подложках с проводящим ITO-покрытием исследовали на сканирующем туннельном микроскопе и установке Solar Simulator LSS 9000 IV Characterization System (Fytronix, Turkey).

В результате исследований были определены типичные размеры наночастиц (от 70 до 200 нм), энергия активации электронов (около 2.2 эВ), сопротивление слоев наночастиц CdSe, спектры плотности электронных состояний, обнаружена фоточувствительность полученных структур. Таким образом, была отработана методика синтеза наночастиц CdSe и проведено исследование их оптических и электрических свойств.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского Научного Фонда (проект № 21-73-20057) и Саратовского государственного университета.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Recent advancement in quantum dot-based materials for energy storage applications: a review / Anil Kumar Y., Koyyada G., Ramachandran T., Kim JH., Hegazy HH., Singh S., Moniruzzaman M. // Dalton Trans. – 2023. – V. 52, № 25. – P. 8580-8600.
2. Generation of fluorescent CdSe nanocrystals by short-pulse laser fragmentation / Zholudov Y., Sajti C., Slipchenko N., Chichkov B. // Journal of Nanoparticle Research. – 2015. – V. 17, № 12. – P. 10.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Ким В.С., Сажаев А.А.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Михеев Р.С.

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

Аннотация. *В статье предложена и проведена валидация математической модели процесса дуговой сварки порошковой проволокой, разработанной в программном комплексе ANSYS. Применение модели позволяет оценивать температурно-временные условия процесса дуговой сварки, определяющие структурно-фазовый состав и свойства наплавленного металла, а также зоны термического влияния.*

Ключевые слова: *ANSYS, плоская модель сварочного шва, сварочно-термический цикл, валидация*

Моделирование сварочных процессов является ключевым элементом в современном производстве, позволяя инженерам заблаговременно определять и оптимизировать технологические параметры для достижения наилучших требуемых результатов. Это крайне сложная и многофакторная задача, которая включает в себя анализ тепловых процессов, механических свойств материалов, а также влияния различных факторов на качество сварного соединения [1].

Исследование температурно-временных условий является основой моделирования сварочных процессов, поскольку помогает определить распределение температур нагрева в зоне сварки, что важно для контроля структурных изменений материала и предотвращения образования дефектов, таких как трещины или поры. Аналитические расчеты тепловых процессов обычно выполняют методом конечных элементов (МКЭ), который позволяет учитывать при моделировании сложные геометрические формы и изменения основных свойств материалов в зависимости от температуры нагрева.

Валидация разработанных математических моделей – критически важный этап, который требует сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными, например результатами испытаний сварных образцов на статическое растяжение, анализ их микроструктуры и т. д. Только после проведения валидации математическую модель можно считать надежной и использовать для оценки поведения сварных соединений в реальных производственных условиях.

Наибольший интерес для разработки математических моделей, позволяющих оценивать температурно-временные условия процесса дуговой сварки порошковой проволокой, представляет инженерный пакет ANSYS, поскольку обеспечивает высокую точность результатов, а также характеризуется разнообразием функциональности и простотой использования.

В настоящей работе рассматривали плоскую модель дуговой сварки порошковой проволокой в защитном газе в инженерном пакете ANSYS Workbench в модуле Transient Thermal. Использование плоской модели теплового анализа в ANSYS для сварного шва имеет несколько преимуществ. Во-первых, позволяет сократить количество узлов и элементов в модели, что упрощает процесс анализа и уменьшает время расчета при моделировании. Во-вторых, плоская модель является достаточно точной для анализа тепловых процессов в сварном шве.

Исходными данными являлись: состав основного материала – сталь марки 09Г2С по ГОСТ 19281 (выбирали стандартную сталь из библиотеки ANSYS), толщина заготовки – 12 мм, диаметр сварочной проволоки – 1,2 мм, ток сварки – 205А, напряжение на дуге – 25В.

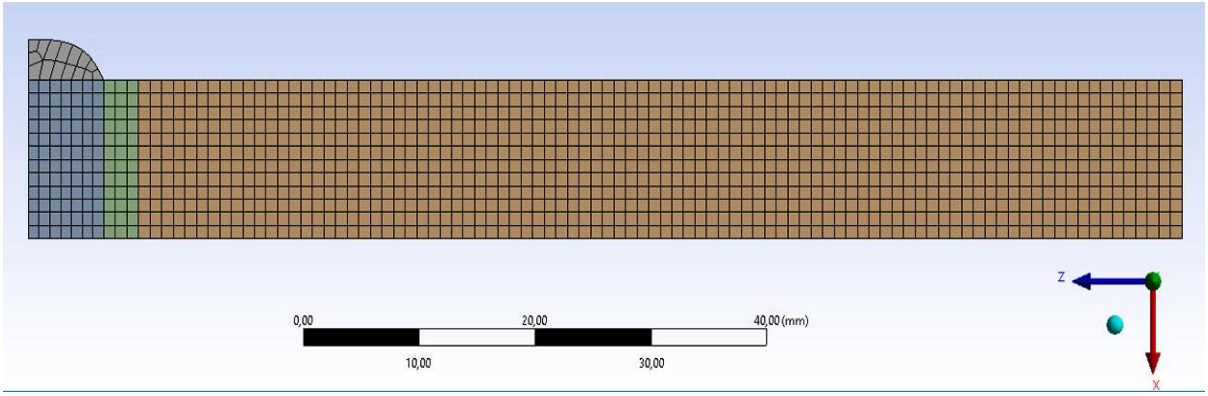


Рис. 1. Геометрическая модель сварного шва

Для того, чтобы задать граничные условия потребовалось определить тепловую мощность, скорость и время сварки, а также площадь сечения наплавленного металла. Тепловую мощность сварочной дуги рассчитывали по следующему выражению [2]:

$$q = \eta \cdot I_{св} \cdot U_{д},$$

где η – эффективный коэффициент полезного действия (КПД) нагрева изделия сварочной дугой; $U_д$ – напряжение на дуге, В; $I_{св}$ – сила сварочного тока, А.

Скорость сварки и площадь сечения наплавленного металла определяли по результатам экспериментальных исследований, описанных ранее [3]. Толщина геометрической модели при моделировании была равна 1 мм с целью упрощения расчетов и облегчения определения необходимого значения объёмного тепловложения. Время прохождения источника через слой толщиной 1 мм определяется выражением:

$$t = T \div V_{св},$$

где Т – толщина слоя; $V_{св}$ – скорость сварки.

Сопоставление температурно-временных условий процесса дуговой сварки порошковой проволокой, полученных при обработке параметров экспериментально построенных сварочных термических циклов и аналитически рассчитанных с применением разработанной математической модели приведены в таблице.

Температурно-временные характеристики процесса дуговой сварки порошковой проволокой, полученные экспериментально и с помощью разработанной математической модели

Характеристика процесса сварки	Время охлаждения, $t_{8/5}$, с		Скорость охлаждения, $\omega_{6/5}$, °С/с	
	эксперимент	расчёт	эксперимент	расчёт
Без теплоотвода	5,8	5,5	37,4	34,3
С активным теплоотводом	4,4	4,5	57,1	43,3

Видно, что разработанная в инженерном пакете ANSYS математическая модель характеризуется удовлетворительной сходимостью при оценке времени охлаждения (погрешность не превышает 5 %) и скорости охлаждения (погрешность составляет не более 8 % без теплоотвода) в разных условиях теплоотвода. Однако при определении скорости охлаждения в условиях активного теплоотвода погрешность достигает 24 %, что требует проведения корректировки модели.

Таким образом, разработанная в программном комплексе ANSYS математическая модель может быть использована для определения температурно-временных условий процесса дуговой сварки порошковой проволокой как в условиях естественного теплоотвода, так и при активном теплоотводе, характерном для установки ремонтных конструкций на магистральные трубопроводы при проведении текущих и внеплановых работ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Моделирование напряжённо-деформированного состояния сварных соединений в ANSYS Mechanical / А.В. Фролов, М.В. Воронов, А.А. Медельцев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 11. – С. 61-76. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-11-61-76.

2. Теория сварочных процессов / В.М. Неровный, А.В. Коновалов, Б.Ф. Якушин [и др.]. 2-е изд. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2016. – 704 с. – ISBN 978-5-7038-4543-1.

3. Ким В.С. Исследование влияния активного теплоотвода на свойства наплавленного металла при установке ремонтных конструкций магистральных трубопроводов // Перспективные материалы и высокоэффективные процессы обработки: сборник материалов II Всероссийской молодежной конференции. Саратов, 23-24 мая 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2023. – С. 91-94.

МОДИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОДНОГО КАМЕННОУГОЛЬНОГО ПЕКА

Ковалев Р.Ю.
Научный руководитель: к.ф.-м.н. Никитин А.П.

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово

Аннотация. *В статье показаны результаты по модификации электродного каменноугольного пека с помощью добавки углеродного материала – Таунита. Для по-*

лученных пеков измерялись температура размягчения и зольность. Для полученных продуктов наблюдался рост температуры размягчения и зольности.

Ключевые слова: *электродный пек, температура размягчения, Таунит, зольность*

Введение. Из анализа литературных данных, проведенного в работе [1], каменноугольный пек может являться уникальным сырьем для получения функциональных и промышленных материалов, в том числе и наноматериалов. Основное применение каменноугольных пеков – связующее для получения электродов [2, 3].

Существуют различные методы модификации электродных пеков. Например, термоокисление позволяет повысить температуру размягчения $T_р$ в электродном пеке [4, 5]. Также модификацию электродного пека, проводят путем добавления в него углеродных наноматериалов [6, 7]. Добавка углеродного наноструктурного материала Таунита массовой доли 0,5 % в пек увеличивала выход коксового остатка с 40,2 % до 45,2 % при Т = 800° С [6].

Аналогичный результат наблюдался и в работах [7, 8], где добавка Таунита (0,3 %) помимо увеличения коксового остатка, уменьшала выход летучих веществ. Добавки углеродных материалов, изменяли значение $T_р$, например, при добавлении к пеку с $T_р$ = 69° С материала Таунита (0,2 %), происходило увеличение $T_р$ до 71° С, а добавление -0,3 % увеличивало $T_р$ до 69,5 % [9]. Также добавки Таунита, приводили к увеличению краевого угла смачивания пеков [9]. Добавление в пек Таунита приводило к увеличению зольности пеков [6, 9].

В данной работе будет проведена серия экспериментов по модификации электродного каменноугольного пека добавками таунита. Будут определены $T_р$ для полученных пеков и зольность.

Материалы и методы эксперимента. В качестве материала использовался промышленный электродный пек категории Б (полученный на АО Евраз ЗСМК) с $T_р$ = 71,5° С. Основные характеристики данного пека, такие как фракционный состав, отображены в работе [10].

В качестве модифицирующей углеродной добавки использовался Таунит. Каменноугольный пек измельчался до размеров 200 мкм и помещался в керамический тигель. К измельченному пеку добавлялся Таунит мелкими порциями, при добавлении смесь размешивалась механическим путем. Далее тигель с притертой крышкой помещался в сушильный шкаф, где тигель нагревался в течение 25 минут до температуры 240° С и выдерживался при этой температуре в течение 30 минут. Для полученных пеков измерялась $T_р$ методом «Кольцо и стержень» по ГОСТ 9950-2020 и зольность согласно ГОСТ 7846-73.

Результаты экспериментов. Данные полученных пеков представлены в таблице.

Основные характеристики модифицированных пеков

№	Название	$T_р$, °С	Зольность, %
1	Электродный пек Б (исх)	71,5	0,1
2	Б+Т (0,8 %)	71	0,1
3	Б+Т (1,3 %)	100	0,14
4	Б+Т (2,8 %)	130	0,27
5	Б+Т (3,17 %)	125	0,35
где пек Б+Т (Х %) – пек с добавлением – Х % Таунита			

Из таблицы видно, что при увеличении содержания добавки Таунита происходил рост $T_р$. При увеличении содержания добавок наблюдалась немонотонность роста

$T_р$. Например, из данных таблицы значение $T_р$ = 130° С для пека Б+Т (2,8 %), выше чем $T_р$ = 125° С для пека Б+Т (3,17 %), аналогичный результат, но с другими процентными содержаниями Таунита наблюдался в работе [6, 9, 11]. Зольность возрастала по мере увеличения добавок Таунита в пек.

Повышение $T_р$ до 130° С, дает перспективы получения высокотемпературного пека, при низких температурах термообработки и сокращением времени по сравнению с экспериментами по получению высокотемпературного пека методом термоокисления [12, 13].

Эксперименты выполнены на оборудовании Лаборатории термических превращений угля ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН. Выражаем благодарность ведущему инженеру Наймушиной Т.М. за измерение температуры размягчения пеков.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ковалев Р.Ю. Пеки как сырье для получения новых функциональных материалов в том числе и наноматериалов (обзор) // Физико-химия и технология неорганических материалов: Сборник материалов XX российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов, – Москва: Буки Веди, 2023. – С. 314-316.

2. Технологические особенности производства каменноугольного пека из смеси каменноугольных смол разных производителей / Ю.А. Тарасюк, Д.Т. Серик, А.А. Букка, Е.Ю. Иващенко, Ф.Ф. Чешко // Углехимический журнал. – 2012. – № 5-6. – С. 55-63.

3. Привалов В.Е., Степаненко М.А. Каменноугольный пек. – М.: Металлургия, 1981. – 208 с.

4. Термоокислительная обработка электродных пеков / Р.Ю. Ковалев, Т.М. Наймушина, О.М. Гаврилюк, А.П. Никитин // Инновационный конвент «Кузбасс: образование, наука, инновации»: Материалы XII Инновационного конвента, – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2024. – С. 364-365.

5. Исследование термооксилительной обработки электродного каменноугольного пека / Р.Ю. Ковалев, О.М. Гаврилюк, А.П. Никитин, З.Р. Исмагилов // Кокс и химия. – 2023. – № 7. – С. 14-18.

6. Влияние различных типов наноструктурных добавок и механического воздействия на свойства пековой матрицы для производства искусственных графитов / А.В. Насибулин, Н.А. Макаров, А.А. Швецов, Н.В. Бардин, Н.Ю. Бейлина, А.В. Петров // Новые огнеупоры. – 2016. – № 9. – С. 44-49.

7. Хакимов Р.Р., Бервено В.П. Реологические свойства каменноугольных пеков, модифицированных углеродными нанотрубками // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56, № 7. – С. 130-132.

8. Хакимов Р.Р., Бервено В.П., Толмачева Т.В. Модификация каменноугольных пеков углеродными нанотрубками // Ползуновский вестник. – 2011. – № 4-1. – С. 229-231.

9. Влияние введения наноматериалов на реологические свойства пека / А.В. Насибулин, Е.А. Антипов, Н.Ю. Бейлина и др. // Новые огнеупоры. – 2017. – № 5. – С. 43-47.

10. Ковалев Р.Ю., Гаврилюк О.М., Никитин А.П. Сравнительный анализ промышленных образцов пеков и выделение из них А и В-фракций // Инновационный конвент «Кузбасс: образование, наука, инновации»: материалы XII Инновационного конвента, Кемерово. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2024. – С. 361-363.

11. Влияние модификации пека на плотность углерод-углеродных композиционных материалов / А.В. Насибулин, Е.А. Антипов, Н.Ю. Бейлина и др. // Новые огнеупоры. – 2017. – 1. – С. 63-66.

12. Ковалев Р.Ю., Гаврилюк О.М. Оптимизация технологии получения высокотемпературного пека // Инновационный конвент «Кузбасс: образование, наука, инновации»: Материалы XII Инновационного конвента, Кемерово. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2024. – С. 356-357.

13. Гаврилюк О.М., Ковалев Р.Ю., Исмагилов З.Р. Отработка технологии получения высокотемпературного пека // ХимРеактор-25: Сборник тезисов XXV международной конференции по химическим реакторам, Новосибирск: Институт катализа имени Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук, 2023. – С. 306-307.

УСТАНОВКА ПО ТЕРМИЧЕСКОМУ ОКИСЛЕНИЮ ПЕКОВ

Ковалев Р.Ю.
Научный руководитель: к.ф.-м.н. Никитин А.П.

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово

Аннотация. *В статье дается описание имеющейся установки по термоокислению электродных пеков. Установка состоит из реактора объемом 5,6 л., встроенным электронагревом. Подача к пеку воздуха осуществлялась через окислительный узел, состоящий из 6-ти трубок диаметром 3 мм каждая.*

Ключевые слова: *электродный пек, термоокисление, реактор, окислительный узел*

Согласно литературным данным [1-3], методом низкотемпературного термоокисления пека, можно снизить содержание бенз[а]пирена в пеке. В лаборатории Термических превращений угля ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН имеется установка по термическому окислению электродных пеков. На рисунке представлена схема данной установки.

Для получения пека связующего методом низкотемпературного термооикселения, используется схема, показанная на рисунке. Температуру в реакторе регулируется с помощью терморегулятора. Разница между показаниями температуры с образца (поз. рис. 3) и с нагревателя (поз. 8 рис. 1) может составлять величину в пределах 20-35° С. При достижении температуры 260° С, подается воздух с компрессора скорость расхода воздуха устанавливается и контролируется с помощью ротаметра (поз. 12 рис. 1) длительность процесса термоокисления регулируется изменением максимальной температуры нагрева на нагревателе с помощью терморегулятора (поз. 10 рис. 1). Дистилляты проходят через трубку верхнего штуцера и попадают в холодильник (поз. 6 рис. 1), охлаждение осуществляется с помощью воды, далее попадают в приемник в виде круглодонной колбы (поз. рис. 7). При достижении температуры 300° С, компрессор и нагрев выключаются. Полученный продукт сливается из реактора, после открытия вентиля (поз. рис. 14).

В [4, 5] получали продукты низкотемпературного термоокисления электродного пека категории В, на данной установки (скорость расхода воздуха 40 л/ч). Однако в работе [4], использовалась другая схема улавливания дистиллятов, представленная стек-

лянным сборником, который охлаждался обратным холодильником. На представленной в данной работе установке жидкие дистилляты охлаждались уже в холодильнике и представляли собой нафталин и мальтены, которые полностью растворялись в гексане. Газообразные продукты конденсировались в колбе в виде осадка белого цвета.

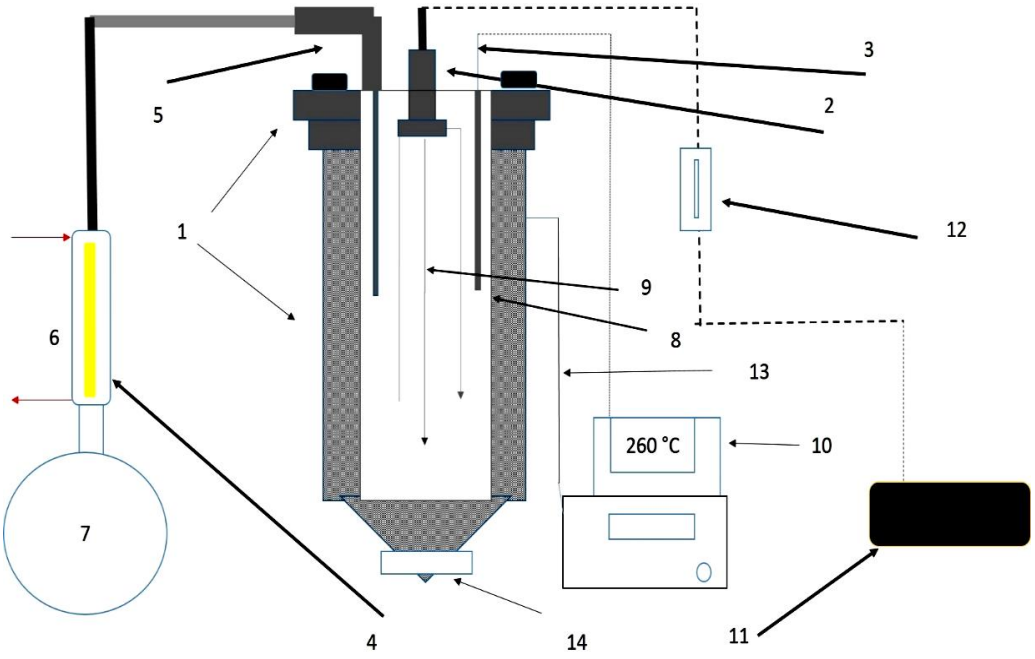


Схема установки получения пеков методом термоокисления: 1 – корпус реактора и его крышка; 2 – распылитель воздуха; 3 – термопара; 4 – холодильник; 5 – штуцер выхода, газообразных продуктов; 6 – вход и выход воды в холодильнике; 7 – приемник тяжелых дистиллятов; 8 – электронагрев; 9 – окислительные трубки; 10 – терморегулятор, 11 – компрессор; 12 – ротаметр; 13 – термопара для регуляции температуры нагрева; 14 – сливной вентиль

Были получены пеки, которые по температуре $T_р$, соответствуют ГОСТ 10200-2017 как электродные пеки категории В1 [4, 5].

Параметры получения электродного пека категории В1
путем термоокисления электродного пека категории В

№	Максимальная температура процесса термообработки, °С	Длительность термической обработки, мин	Температура размягчения $T_р$, °С
1	300	12	93
2	275	20	94

Заключение. Данная установка позволяет получать электродные пеки и пеки связующие более высокой категории. Максимальная температура нагрева данной установки 550° С позволит различными методами термообработки пека, получать высокотемпературные, высокоплавкие пеки в том числе и мезофазные пеки в различных средах, как методом термостатирования так и методом нагрева.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. О возможности снижения содержания 3,4-бензпирена в каменноугольных пеках / Б.А. Сухорукова, Г.Д. Харлампович, Т.В. Слышкина и др. // Кокс и химия. – 1984. – № 7. – С. 36-37.

2. Опытно-промышленные испытания окислительной обработки каменноугольного пека в тонком слое / Г.Д. Харлампович, О.А. Бондаренко, А.М. Беркутов, А.А. Керн // Кокс и химия. – 1985. – № 4. – С. 26-29.

3. Monitoring the synthesis of new pitches from coal tar and its fractions by chromatography and related techniques / J. Bermejo, A. Lfernández, V. Prada, M. Granda, R. Menéndez // Journal of Chromatography. – 1999. – V. 849, – I. 2. – P. 507-519.

4. Исследование термооксилительной обработки электродного каменноугольного пека / Р.Ю. Ковалев, О.М. Гаврилюк, А.П. Никитин, З.Р. Исмагилов // Кокс и химия. – 2023. – № 7. – С. 14-18.

5. Термоокислительная обработка электродных пеков / Р.Ю. Ковалев, Т.М. Наймушина, О.М. Гаврилюк, А.П. Никитин // Кузбасс: образование, наука, инновации: материалы XII Инновационного конвента. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2024. – С. 364-365.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕКОВ КАК МАТЕРИАЛОВ В ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ (ТЕХНОЛОГИЯ И ПОЛУЧЕНИЕ)

Ковалев Р.Ю.
Научный руководитель: к.ф.-м.н. Никитин А.П.

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово

Аннотация. *В данной статье проведен обзор и анализ литературных источников где приведены данные о различных технологиях получения пеков. Пеки по технологии получения могут делиться на каменноугольные – полученные из каменноугольной смолы; синтетические – полученные термообработкой фракций каменноугольной смолы; экстрагированные из угля (альтернативные пеки, продукты термического растворения углей) – полученные термическим растворением угля в каменноугольной смоле, антраценовой фракции или органических растворителях; нефтекаменноугольные – пеки, полученные при смешении каменноугольных и нефтяных пеков с термообработкой.*

Ключевые слова: *каменноугольный пек, смола каменноугольная, смола полукоксования, связующий пек, альтернативный пек, нефтекаменноугольный пек*

Пеки получали методом разгонки каменноугольной смолы и было установлено, что пеки соответствующие пекам связующим получались при температуре в реакторе выше 400° С [1]. Определены перспективы получения пеков из смолы полукоксования [2-4]. Среднетемпературный пек ($T_р$ = 75° С) получали методом термоокисления (20 мин, при Т = 230-348° С, со скоростью расхода воздуха 63 л/ч) смолы полукоксования [2]. Мягкий пек получали путем разгонки сланцевой смолы полукоксования [3]. Высокоплавкий пек получали термоокислением (при 300° С в течение 2 часов) мягкого пека ($T_р$ = 34° С) из смолы полукоксования бурого угля [4]. Методом термоокисления смолы полукоксования получен пек связующее со сниженным содержанием опасных канцерогенов [5]. В работах [6-9], получали пеки путем термического растворения углей. Установлено, что пек полученный растворением углей Г и ГЖ в антраценовой фракции в соотношении $^1/_2$ при температуре Т = 360-370° С соответствует по своим характеристикам как электродный пек.

Нефтекаменноугольные пеки как связующее со сниженным содержанием канцерогенов, получали смешением каменноугольного и нефтяного пека [10,11].

Особый интерес представляют компаундные каменноугольные пеки, полученные смешением пеков с различными органическими материалами. Был получен компаундный каменноугольный пек, путем добавления в пек 12 %-эпоксидной смолы в качестве добавки и дальнейшей термообработки в течении 1 часа при температуре 400° С [12]. Пек (температура размягчения $T_р$ = 92,6° С) смешивали с поливинилхлоридом (ПВХ), весовое соотношение ПВХ к каменноугольному пеку составляло 0, 5, 10, 15 и 20 мас.%, термообработку проводили при 300° С в течение 180 мин (скорость нагрева 3° С/мин), получены пеки с температурами размягчения $T_р$ = 181,3° С (5 %); 195° С (10 %); 228,5° С (15 %); 235,4° С (20 %) [13].

В работе [2] показаны перспективы получения пеков связующих путем модификации исходного сырья различными добавками с последующим термоокислением. Определены перспективы получения пеков связующих путем модификации смолы полукоксования антраценовой фракцией и талловым маслом с последующим термоокислением [14]. Перспективы имеет использование следующих материалов для получения пеков-отходы производств и альтернативного сырья.

Показана возможность получения пека связующего путем переработки фенольной воды, путем удаления из нее органической массы и фракционирования ее в интервале температур 90-260° С [15]. Получен пек на основе таллового масла, выбраны три режима термообработки при температуре выше 300° С в различных условиях: без доступа воздуха, без доступа воздуха с добавками бутилакрилата, как сшивающего агента, и термоокисление [16].

Из анализа литературных данных рассмотрены технологии получения электродных пеков как из каменноугольной смолы, так и путем терморастворения углей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Перспективы получения инновационных продуктов из каменноугольной смолы ПАО «Кокс» / А.П. Козлов, Т.Г. Черкасова, С.В. Фролов и др. // Кокс и химия. – 2020. – № 7. – С. 35-41.

2. Барнаков Ч.Н., Хохлова Г.П., Усов О.М. Возможности расширения сырьевой базы для получения связующего пека // Кокс и химия. – 2019. – № 10. – С. 25-29.

3. Исследование пека и кокса, полученных из смолы полукоксования высокосернистых горючих сланцев Волжского бассейна / А.Л. Лапидус, Н.Ю. Бейлина, Д.С. Худяков, Ф.Г. Жагфаров // Химия твердого топлива. – 2020. – № 1. – С. 26-29.

4. Буроугольный пек – продукт термообработки высококипящих фракций смолы полукоксования бурых углей Канско-Ачинского бассейна в реакторе с твердым теплоносителем и направления использования полукокса / Н.В. Лукьянов, А.М. Сыроежко, А.С. Лаврова и др. // Кокс и химия. – 2017. – № 6. – С. 19-24.

5. Патент № 2586135 С1 Российская Федерация. Способ получения связующего пека: № 2014152424/05: заявл. 23.12.2014: опубл. 10.06.2016 / В.К. Фризоргер, В.В. Пингин, Е.Н. Маракушина и др. Бюл. № 16.

6. Кузнецов П.Н. Термическое растворение угля ГЖ в среде различных пастообразователей / П.Н. Кузнецов, А.В. Обухова, Л.И. Кузнецова, и др. // Химия твердого топлива. – 2018. – № 5. – с. 20-26.

7. Кузнецов П.Н. Терморастворение углей ряда метаморфизма в среде тетралина и антраценовой фракции смолы коксования / П.Н. Кузнецов, Н.В. Перминов, Л.И. Кузнецова, и др. // Химия твердого топлива. – 2020. – № 2. – С. 3-11.

8. Маракушина Е.Н. Получение альтернативного связующего пека методом термохимической переработки углей / Е.Н. Маракушина, П.Н. Кузнецов, Ф.А. Бурюкин, и др. // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12-3. – С. 474-479.

9. Черкасова Т.П. Инновационные технологии переработки угля и техногенных отходов в рамках КНТП «ЧИСТЫЙ УГОЛЬ – ЗЕЛЕНЫЙ КУЗБАСС» / Т.П. Черкасова, С.П. Субботин, Е.В. Черкасова, и др. // Вестник КузГТУ. – 2020. – № 6. – С. 40-45.

10. Perez M. Petroleum derivatives as an alternative to binder coal-tar pitches / M. Perez, M. Granda, R. Garcia, et all // Light Metals. – 2000. – P. 531-536.

11. Perez M. Preparation of binder pitches by blending coal tar and petroleum pitches / M. Perez, R. Granda, R. Garcia. Menendez // Light Metals. – 2001. – P. 573-579.

12. Кабак А.С. Утилизация термореактивных полимеров на основе эпоксидной смолы путем термического сольволиза в среде каменноугольного пека с получением химического сырья / А.С. Кабак, Е.И. Андрейков, М.Г. Первова, и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2018. – Т. 26. – № 2. – С. 135-140.

13. Jeong Y. Improvement of the thermal properties of pitch by waste plastic (polyvinyl chloride) addition / Y. Jeong, C. Ji, H. Kimac, J.S. Im // Journal of Materials Research and Technology. – 2021. – Vol. 14. – P. 2845-2852.

14. Барнаков Ч.Н. Влияние таллового масла и ультразвуковой обработки на получение пека из смолы полукоксования или антраценовой фракции / Ч.Н. Барнаков, С.Н. Вершинин, Г.П. Хохлова, и др. // Кокс и химия. – 2015. – № 10. – С. 33-37.

14. Исобаев М.Д. Получение угольного пека на основе жидких отходов газификации угля / М.Д. Исобаев, Ш.А. Мингбоев, С.И. Рустамзода, и др. // Химия твердого топлива. – 2021. – № 1. – С. 40-43.

15. Семенычева Л.Л. Новый связующий пек для анодной массы на основе таллового пека / Л.Л. Семенычева, Е.А. Маврина, И.С. Ильичев и др. // Материаловедение. – 2017. – № 5. – С. 18-21.

ВЛИЯНИЕ ИНЕРТНОГО ГАЗА НА ПОВЕРХНОСТЬ РАЗДЕЛА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНОЙ ПЛАСТИНЫ Cu/Cu ПРИ СВАРКЕ ВЗРЫВОМ

Кочкалов А.Д., Ву Ван А.Н.
Научный руководитель: академик РАН, д.т.н., профессор Лысак В.И.

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград

Аннотация. *В этом исследовании сварка композитов Cu / Cu взрывом была защищена с использованием инертного газа для улучшения качества композита. Композитные пластины Cu / Cu были изготовлены в атмосфере гелия и сравнены с идентичными пластинами, изготовленными в воздушной среде с теми же параметрами. Были оценены механические свойства поверхности соединения. Морфология поверхности раздела композитов, сваренных под действием гелия, значительно отличается от поверхности раздела композитов, сваренных под действием воздуха, из-за различного давления ударных волн в газообразных средах. Следовательно, инертный газ играет важную роль в улучшении свойств композитных пластин. Защита от инертного газа может применяться в качестве эффективного производственного метода при сварке металла взрывом под напряжением.*

Ключевые слова: *сварка взрывом, защита от инертного газа, поверхность соединения*

1. Введение

Сварка взрывом – это хорошо известная технология получения композитных пластин, как из схожих, так и из разнородных металлов в больших масштабах [1-4], и существует множество исследований по сварке взрывом композитов Cu-Al, Cu-Ti. В этом исследовании для уменьшения дефектов, возникающих при обычной сварке взрывом композитов Cu-Cu, композитные пластины Cu-Cu изготавливались в атмосфере гелия с использованием сварки взрывом, и влияние на эксплуатационные характеристики изучалось путем сравнения микроструктуры и механических свойств с композитной пластиной, сваренной обычным способом аналогичным образом.

2. Материалы и методы

2.1. Материалы

Размеры (Cu-Cu) метаемой пластины и неподвижных: 600 × 200 × 2,5. Химический состав использованных материалов, представлен в таблице

Химический состав экспериментальных материалов (%)

Обозначение марок	Массовая доля элемента												Способ получения (справочный)
	Медь +серебро, не менее	Примеси, не более											
		Висмут	Железо	Никель	Цинк	Олово	Сурьма	Мышьяк	Свинец	Сера	Кислород	Фосфор	
М1	99,90	0,001	0,005	0,002	0,004	0,002	0,002	0,002	0,005	0,004	0,05	–	

2.2. Сварка взрывом композитных пластин

На рис. 1 показана схематическая иллюстрация сварки взрывом. В этом исследовании использовалось параллельное расположение слоев. Взрывчатое вещество Аммонит 6 ЖВ+ кв. песок было равномерно нанесено на листовую пластину толщиной 20 мм и плотностью 0,55 г/см^3, скорость детонации составляет 2300 м/с, приблизительно измеренная непрерывным датчиком скорости [3]. Нижний предел окна свариваемости для сварки взрывом Cu-Cu составляет V_{pmin} = 350 м / с, и скорость наклонного столкновения пластины с листом V_p должна быть выше. Наконец, был сконструирован контейнер, заполненный гелием, чтобы убедиться, что пространство между пластинами находится в атмосфере гелия, и композитная пластина Cu-Cu сваривалась в газовой защите. Другая композитная пластина была сварена с теми же параметрами, но в воздушной среде, чтобы распознать эффект защиты от газа.

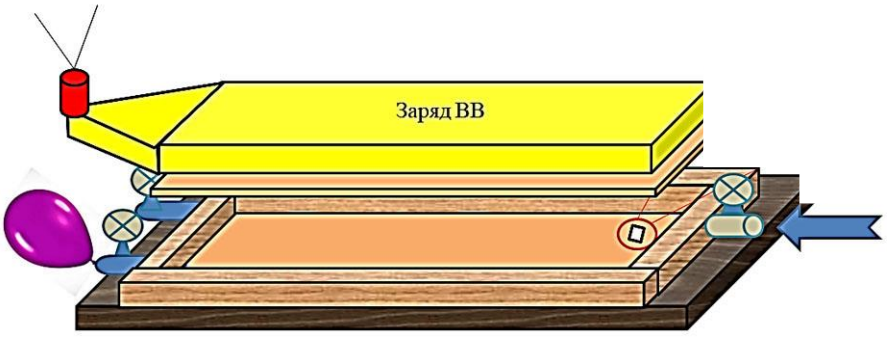


Рис. 1. Схематическая иллюстрация условий сварки взрывом медных пластин

3. Результаты и обсуждения

3.1. Морфология поверхности раздела

На рис. 2, рис. 3 показана морфология поверхности раздела образцов, сваренных в гелиевой и воздушных средах соответственно. В обоих образцах образовалась перио-

дическая волновая граница раздела. Механизм формирования волновой границы раздела изучался и детализировался многими учеными [4, 5]. В процессе сварки взрывом высокоскоростное косое столкновение и кинетическая энергия метаемой пластины приводят к сильной пластической деформации и выделению тепла на поверхности раздела. Струйный поток, образованный расплавленным металлом, удаляет загрязнения из области контакта. По мере накопления возмущения струйный поток периодически проникал через пластины и формировал волновую границу раздела [6, 7]. Длина волны и амплитуда образца, сваренного в воздушной среде, составили 1900 мкм и 570 мкм соответственно. Между тем, длина волны и амплитуда образца, сваренного в среде гелия, составляли 1370 мкм и 330 мкм соответственно. Морфология поверхности раздела существенно различалась из-за различного давления ударных волн в газовых средах. При сварке взрывом v совпадает со скоростью детонации. Следовательно, плотность газа является ключевым фактором, влияющим на давление ударной волны. Поскольку плотность воздуха намного выше, чем у гелия, что приводит к более высокому давлению воздуха, ударная волна даже привела к подъему метаемой пластины и, как следствие, к большему расстоянию отрыва, что привело к изменению угла столкновения β и скорости пластины V_p, что в конечном итоге повлияло на морфологию поверхности раздела.

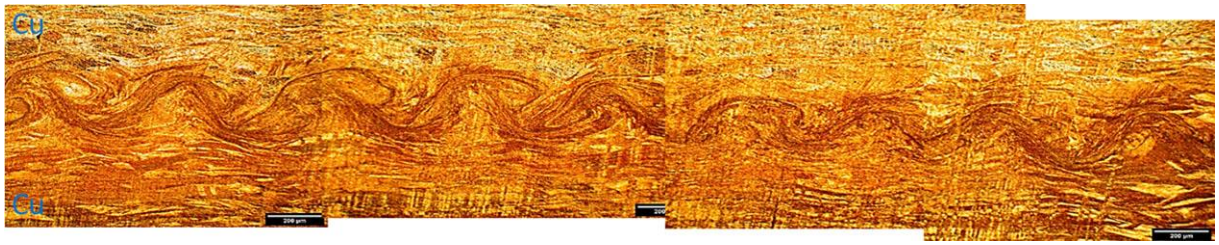


Рис. 2. Микроскопические изображения образца, сваренного под действием гелия

Рис. 3. Микроскопические изображения образца, сваренного под воздействием воздуха

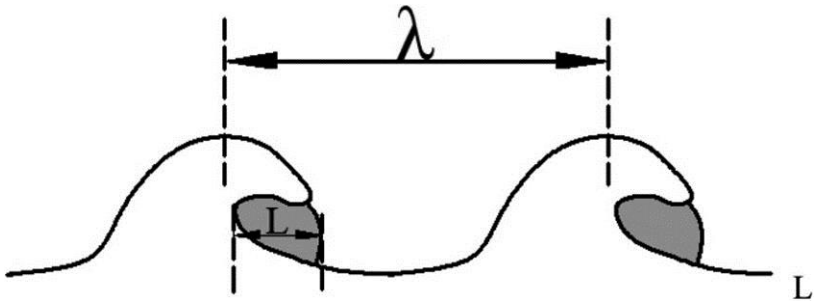


Рис. 4. Основные параметры соединения: λ – длина волны; L – длина области расплава

3.2. Свойства поверхности соединения

На рис. 5. показана твердость на границе раздела, существенной разницы в твердости поверхности раздела между образцами, сваренными под действием гелия и воздуха, нет.

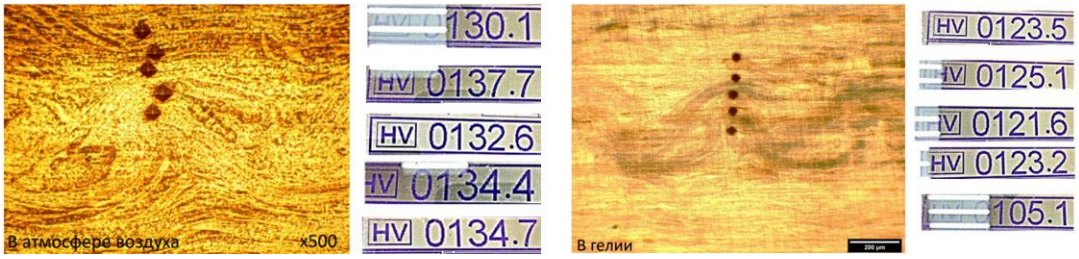


Рис. 5. Распределение микротвердости на поверхности раздела в каждом образце

Выводы

В этом исследовании композитные пластины Cu-Cu были изготовлены сваркой взрывом в атмосфере гелия. При сравнении с идентичными композитными пластинами, сваренными при тех же параметрах, но в воздушной среде, результаты показывают, что сварка взрывом в атмосфере инертного газа может эффективно улучшить качество сварного шва.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дерибас А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом / А.А. Дерибас. – 2-е изд. доп. перераб. – Новосибирск: Наука, 1980. – 222 с.

2. Ишуткин С.Н., Кирко В.И., Симонов В.А. Исследование теплового воздействия ударно-сжатого газа на поверхность соударяющихся пластин // Физика горения и взрыва. 1980. № 6. – С. 69-73.

3. Ишуткин С.Н., Кирко В.И., Пак Н.И. Численное исследование воздействия газового потока на поверхность сталкивающихся пластин // Физика горения и взрыва. 1981. № 1. С. 151-153.

4. Годунов С.К., Дерибас А.А., Мали В.И. О влиянии вязкости материала на процесс образования струй при соударениях металлических пластин // Физика горения и взрыва. 1975. № 1. С. 3-18.

5. Khaustov S.V., Pai V.V., Lysak V.I., Kuz'min S.V., Investigation of Thermal Processes in the Gap during Explosion Welding // International Journal of Heat and Mass Transfer, 209 (2023), 124166.

6. Методика определения теплового потока от ударно сжатого газа перед точкой контакта к поверхности пластин при сварке взрывом / С.В. Хаустов, В.В. Пай, С.В. Кузьмин, В.И. Лысак, А.Д. Кочкалов // Известия ВолгГТУ. Сер. Сварка взрывом и свойства сварных соединений. – Волгоград, 2022. – № 11 (270). – С. 11-16.

7. Орленко Л.П. Физика взрыва и удара. М.: Физматлит, 2019. – 400 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НИОБИЯ КАК МАТЕРИАЛА ЭНДОПРОТЕЗА ЛОКТЕВОГО СУСТАВА

Коцеруба Н.А., Власов К.А.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Пичхидзе С.Я.

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

Аннотация. *Данная статья представляет собой исследование, посвященное анализу эффективности использования ниобия в качестве материала для эндопроте-*

зов локтевого сустава. В работе проведено сравнение в программе КОМПАС-3D с помощью вспомогательного обеспечения APM FEM материала ниобия с широко используемым титаном для эндопротезирования.

Ключевые слова: *эндопротез, титан, ниобий, моделирование*

Суставы могут внезапно или постепенно разрушаться и терять свою естественную прочность, будь то из-за несчастных случаев, болезней или простого износа. В некоторых из этих случаев могут помочь имплантаты искусственных суставов – эндопротезы. Являясь заменой сустава, они предназначены для того, чтобы оставаться в теле столько, сколько необходимо, и, таким образом, улучшают качество жизни и подвижность пациента.

Люди могут выбрать частичное или полное эндопротезирование. Частичный эндопротез заменяет только определенную часть пораженного сустава, в то время как полный эндопротез восстанавливает сустав в целом.

Тип эндопротеза во многом зависит от пациента и его ранее существовавшего состояния, возраста, веса, физической активности, плотности или качества костной ткани и аллергии на металлы.

Основная задача эндопротезирования состоит в том, чтобы устанавливаемый протез был удобен в пользовании человеком и имел определенные физико-механические свойства, обеспечивающие долговечность и прочность протеза.

Эндопротез локтевого сустава является инновационной медицинской технологией, которая позволяет восстановить функциональность сустава и улучшить качество жизни пациента. Процедура имплантации эндопротеза проводится при различных патологиях локтевого сустава, таких как артрит, остеоартроз, травмы или дегенеративные заболевания [1].

Основной принцип работы эндопротеза локтевого сустава заключается в замене поврежденных или изношенных суставных поверхностей и восстановлении нормального движения. Процесс имплантации проводится при помощи хирургического вмешательства и включает в себя удаление поврежденных структур, подготовку кости и фиксацию искусственного сустава [2].

Современные эндопротезы локтевого сустава изготавливаются из высококачественных материалов, таких как титан, цирконий, нержавеющая сталь или сплавы кобальта и хрома. Это обеспечивает прочность и долговечность импланта. Дизайн эндопротеза также разработан с учетом анатомических особенностей локтевого сустава, что позволяет достичь наилучших результатов восстановления функциональности [3].

Титановые сплавы широко используются в медицинской протезировании благодаря своей высокой коррозионной стойкости и совместимости с телом. Они обладают легкостью и прочностью, что позволяет изготавливать эндопротезы, которые меньше нагружают сустав и обеспечивают максимальную подвижность. Важным преимуществом титановых сплавов является их биокомпатибельность, что снижает риск отторжения и инфекций.

Ниобий – это металл, который обладает высокой биосовместимостью, что позволяет ему хорошо сочетаться с тканями человеческого организма и не вызывать аллергических реакций. Кроме того, ниобий обладает высокой прочностью и стойкостью к износу, что делает его идеальным материалом для использования в медицинских имплантатах. Замена материала эндопротеза локтевого сустава с титана на ниобий может принести ряд преимуществ как для пациентов, так и для хирургов. Во-первых, использование ниобия может снизить риск развития воспалительных процессов и отторжения импланта организмом. Во-вторых, ниобий обладает отличными механическими свой-

ствами, что позволяет создавать более прочные и долговечные эндопротезы. Кроме того, замена титанового эндопротеза на ниобиевый может улучшить качество жизни пациентов после операции, уменьшив риск возникновения осложнений и улучшив функциональные возможности сустава.

В целом, использование ниобия в качестве материала для эндопротезов может значительно повысить эффективность и безопасность проведения операции на локтевом суставе.

Цель работы: исследовать эффективность ниобия как материала эндопротеза локтевого сустава и сравнить физико-механические характеристики с широко используемым титаном ВТ-6.

На первой стадии работы разработан чертеж модели и выполнена 3D-печать эндопротеза из ABS – пластика, рис. 1. Для наглядного сравнения прочностных характеристик материалов был произведен статический расчет в программе КОМПАС-3D с использованием дополнительного приложения АРМ FEM при распределяющей нагрузке 300 Н для ножки сустава из титана и ниобия, рис. 2. Также был вычислен коэффициент запаса прочности при таких же условиях нагрузки рис. 3.

При сравнении полученных результатов максимальные значения напряжений на эндопротез при использовании титана как основного материала достигают 13,29 Н/мм^2, а коэффициент запаса прочности 6,66 ед., в случае ниобия показатели не превышают 12,50 Н/мм^2 и 6,86 ед. Основываясь на этих данных, замена материала титана на ниобий является допустимой.

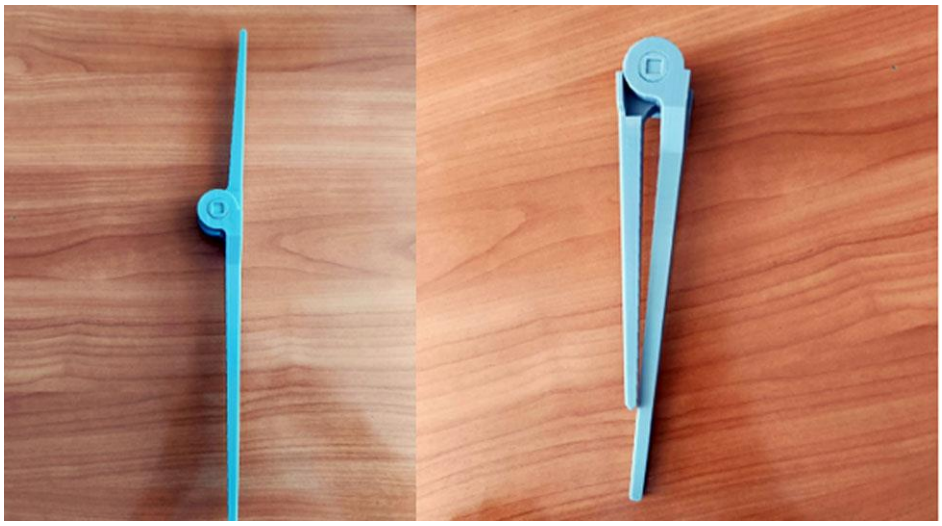


Рис. 1. 3D-модель эндопротеза локтевого сустава

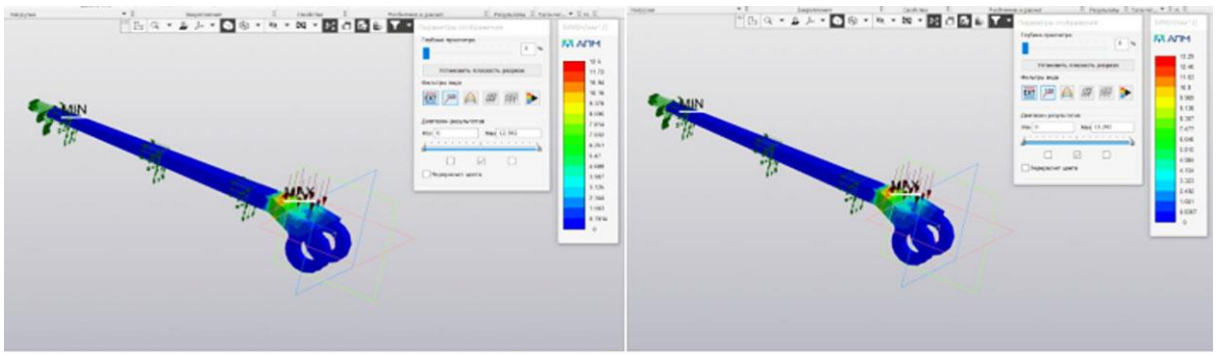


Рис. 2. Моделирование приложения нагрузки 300Н на ножку эндопротеза

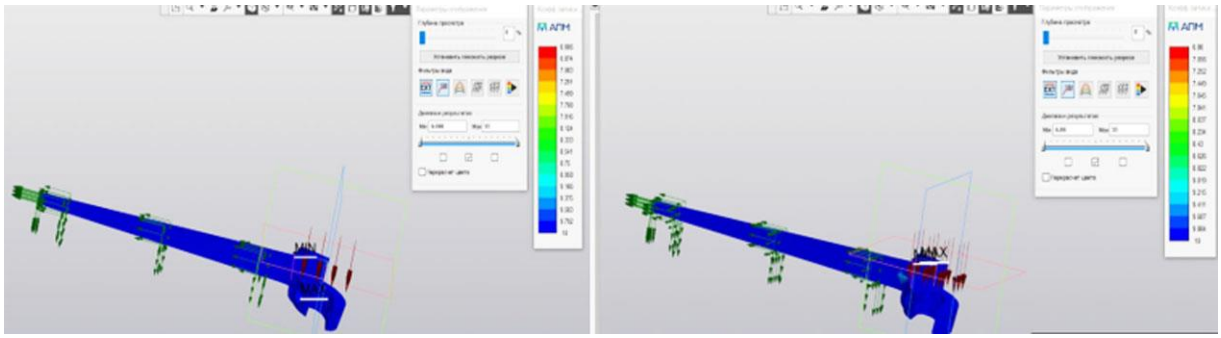


Рис. 3. Коэффициент запаса прочности ножки эндопротеза

Выводы: показана перспективность использования ниобия в качестве материала для создания биомедицинских имплантатов. Ниобий обладает высокими механическими свойствами, коррозионной стойкостью, биосовместимостью, которые делают его предпочтительным выбором для эндопротезов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Слободской А.Б., Прохоренко В.М., Дунаев А.Г., Бадак И.С., Воронин И.В., Быстряков П.А. Эндопротезирование локтевого сустава / А.Б. Слободской, В.М. Прохоренко, А.Г. Дунаев, И.С. Бадак, И.В. Воронин, П.А. Быстряков // Гений ортопедии, № 3, 2011. – с. 61-65.

2. Слободской А.Б., Прохоренко В.М., Воронин И.В. и др. Эндопротезирование локтевого сустава у молодых пациентов // Гений ортопедии, № 2, 2015. – с. 26-31.

3. Прохоренко В.М. Эндопротезирование локтевого сустава // Эндопротезирование крупных суставов: материалы Всероссийской конф. – М., 2009. – с. 112.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ КАВА-ФИЛЬТРА

Кривцунова А.В.
Научный руководитель: д.т.н., с.н.с. Пичхидзе С.Я.

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

Аннотация. *В работе построена модель кава-фильтра, изготовленная из нержавеющей стали 316LVM, определены прочностные характеристики конструкции.*

Ключевые слова: *кава-фильтр, моделирование*

Тромбоэмболия легочных артерий (ТЭЛА) – одна из наиболее частых причин смертности во всем мире. Ежегодно регистрируется около 70000 новых случаев ТЭЛА в России. В ближайшем послеоперационном периоде от тромбоэмболии погибает 60 тыс. человек.

На данный момент ВТЭО являются важной медико-социальной проблемой, так как частота их развития достигает 2-4 случаев на 1000 человек. ТЭЛА занимает третье место по уровню смертности после острого инфаркта миокарда и инсульта в высокоразвитых странах. Без оказания своевременной медицинской помощи риск смерти от эмболии легочных артерий увеличивается на 30 %.

Одна из главных причин тромбоэмболии легочных артерий – флотирующий тромбоз глубоких вен нижних конечностей. Локализация флотирующего тромба в большинстве случаев приходится на вены малого диаметра в системе глубоких вен, распространяясь на проксимальные отделы более крупных подколенной, бедренной, подвздошной и нижней полой вен.

В настоящее время в целях профилактики развития ТЭЛА определённым категориям пациентов устанавливаются кава-фильтры (КФ).

Кава-фильтр (ловушка для тромбов в венах) – это миниатюрное проволочное устройство, которое имеет вид зонтика, гнезда или песочных часов. Ловушка для тромба обязательно выполняется из материала, устойчивого к коррозии. Она надежно и эффективно улавливает тромбы, обеспечивает стабильность кровотока. Кава-фильтр для тромбов характеризуется простотой в установлении и имеет удовлетворительную фиксацию.

При необходимости он может быть извлечен из кровеносного сосуда. Нижняя полая вена – самая крупная вена, которая собирает кровь, поступающую от нижней части тела и возвращает к сердцу. Кава-фильтр устанавливается в просвет полой вены.

Цель работы: разработка модели и анализ конструкции кава-фильтра при определенном напряжении.

Для решения поставленной цели работы выбран вариант конструкции «Кава-фильтр Vena»рис. 1.

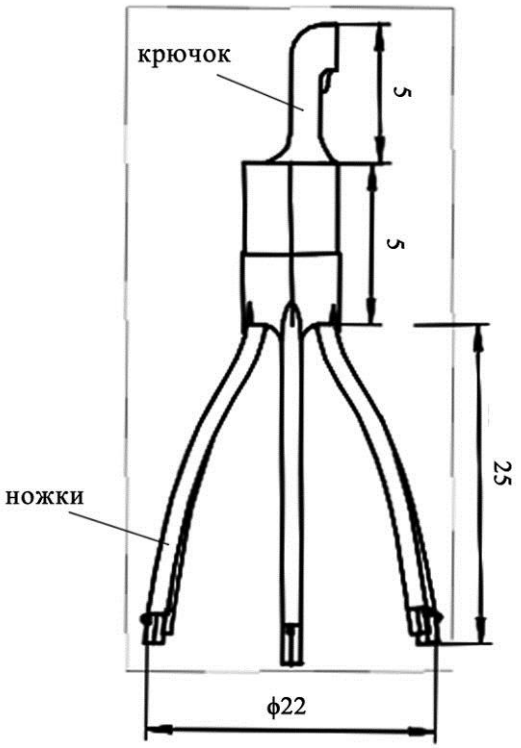


Рис. 1. Эскиз конструкции кава-фильтра

Платформой для проведения исследований была система АРМ FEM, интегрированная в КОМПАС-3D для подготовки и последующего конечно-элементного анализа трехмерной твердотельной модели. С помощью АРМ FEM можно приложить нагрузки различных типов, указать граничные условия, создать конечно-элементную сетку и выполнить расчет.

Кровяное давление, которое кровь оказывает на стенки кровеносных сосудов, превышает давление жидкости в кровеносной системе над атмосферным. Типичное значение артериального кровяного давления здорового человека (систолическое / диастолическое) – 120 и 80 мм рт. ст.

Была разработана 3D-модель конструкции кава-фильтра, изготовленного из нержавеющей стали 316LVM , включающая в себя крючок и «ножки», рис. 2.

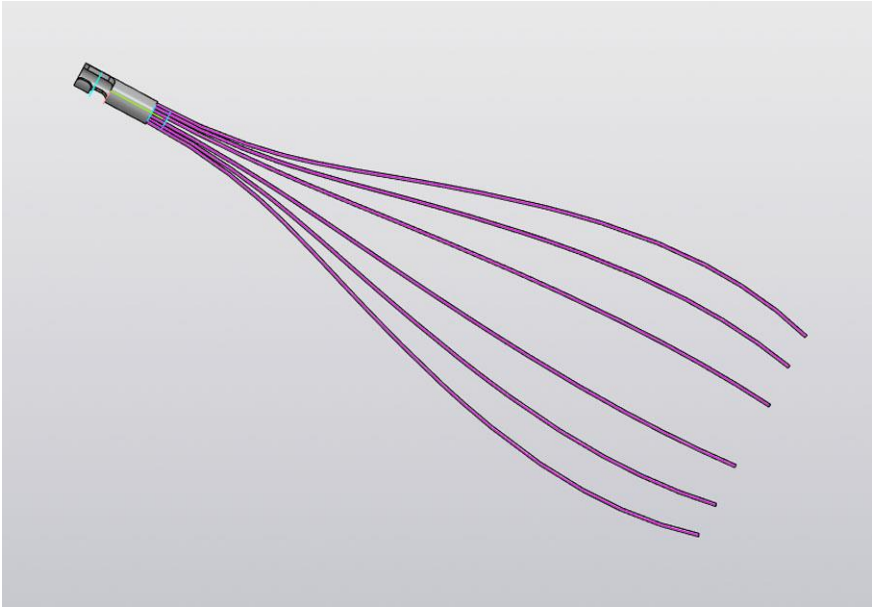


Рис. 2. 3D-модель кава-фильтра

Параметры материала кава-фильтра

№	Параметр	Значение
1	Материал *316LVM*	Состав: C < 0,031 % Ni 10,1 – 14,1 % Cr 16,1 – 18,2 % Mo 2-3 % Mn ≤ 2 % Si ≤ 1,0 % P ≤ 0,045 % Fe – остальное
1	Плотность	8,0 г/см³
2	Температура плавления	1500° C
3	Коэффициент теплового расширения	16,5 мкм/м °C (20-100° C)
4	Модуль жесткости	70,3 кН/мм²
5	Модуль упругости	187,5 ГПа
6	Предел текучести	171 МПа

Для нахождения решения поставленной задачи в КОМПАС-3D с помощью APM FEM приложено давление на кава-фильтр, превышающее атмосферное 760 мм рт. ст. на 120 мм рт. ст., в итоге составляющее примерно 0,11 МПа (рис. 3).

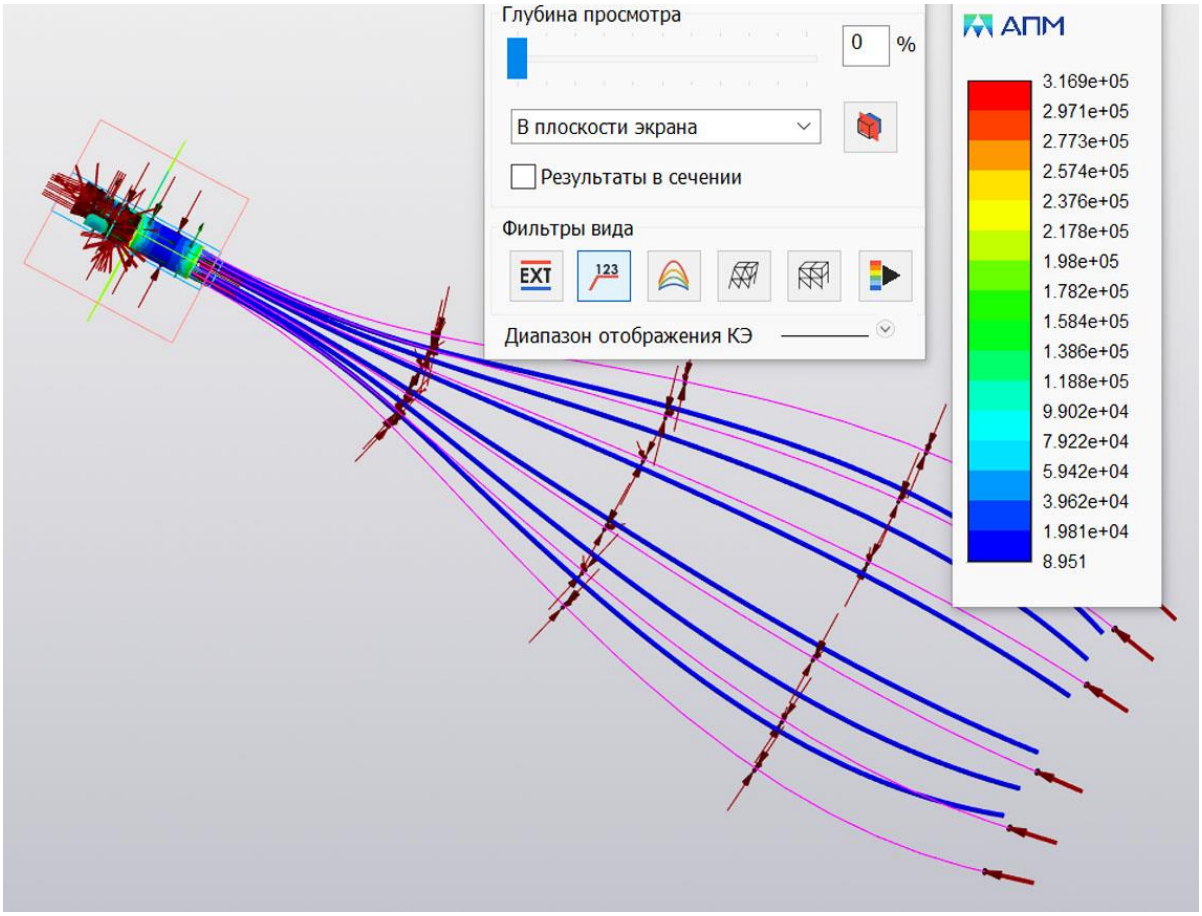


Рис. 3. Эпюра напряжений

Видно, что конструкция кава-фильтра выдерживает давление крови и не смещается по вене.

Выводы: проведен анализ конструкции кава-фильтра. Показано, что кава-фильтр способен выдерживать не обходимое давление.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Альбицкий А.В., Богачев В.Ю., Леонтьев С.Г. Ультразвуковое дуплексное ангиосканирование в диагностике ретромбозов глубоких вен нижних конечностей // Кремлевская медицина. – 2006. – № 1. – С. 60-67.

2. Василец В.А., Суханов С.Г., Лихачев В.В. Диагностика, лечение и профилактика тромбоэмболии легочной артерии // Тезисы докладов 1-й Северо-Западной конференции по проблемам внезапной смерти. – Санкт-Петербург, 2011. – С. 139-140.

3. Яковлев В.Б. Тромбоэмболия легочной артерии. Диагностика, лечение, профилактика // Русский медицинский журнал. – 1998. – Т. 6. – № 16. – С. 1036-1047.

4. Двинских И.В. Кава-фильтр в системе профилактики и комплексного лечения венозных тромбоэмболических осложнений: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.17 – хирургия, 14.01.26 – сердечно-сосудистая хирургия. – Москва, 2010.

5. Осмонов Т.А., Алексеев Д.Н. Лечение острых венозных тромбозов системы нижней полой вены и профилактика тромбоэмболии легочной артерии. Бишкек, 2010. – С. 135-137.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОТКЛОНЕНИЯ ИСТОЧНИКА ИОНОВ

Купцов А.Д.
Научный руководитель: к.т.н., доцент кафедры Сидорова С.В.

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

Аннотация. *В статье рассмотрена актуальность применения источника ионов для обработки наноразмерных покрытий в вакууме. Оценено влияние ионной обработки на механические напряжения покрытий. Предложена конструкция крепления источника ионов для возможности его отклонения и обработки ионным пучком подложек размером до 76 мм.*

Ключевые слова: *наноразмерные покрытия, источник ионов, механические напряжения*

Введение

Современные и передовые решения обработки поверхностей для полупроводниковой, электронной, материаловедческой, медицинской и других отраслей оказывают внушительное влияние на развитие материальной составляющей любой страны. Такими решениями является применение элионных технологий: ионная очистка поверхности подложек и покрытий, плазменное осаждение, ионное травление и ионная имплантация позволяют в широком спектре применений создавать многофункциональные и уникальные устройства (мощные транзисторы, микросхемы памяти, солнечные элементы, оптические модуляторы и фильтры) с характеристиками, которые недостижимы в условиях классической электроники. Свойства покрытий способствуют повышению производительности, надежности и миниатюризации устройств.

Заинтересованность в применении источников ионов различных типов и конструкций внутри научного сообщества наблюдается при эксплуатации в вакуумных установках лабораторного типа [1], обеспечивая возможность передовых научных исследований и применений. Источники ионизированных частиц охватывают широкий спектр методов воздействия и обработки поверхностей из различных материалов.

Ионная обработка подложек и тонкопленочных покрытий позволяет: очищать (удаляет поверхностные загрязнения – оксиды, углеводороды) [2]; увеличивать адгезию покрытий (способствует образованию границ зерен и увеличивает прочность связи пленки с подложкой, увеличивает энергию и реакционной способности осаждаемых частиц) [3]; проводить активацию поверхности (улучшает смачиваемость и прочность сцепления наносимых материалов) [4]; модифицировать поверхность (вводит примеси или изменяет состав поверхности, что влияет на электрические, оптические или механические свойства, а также повышает плотность пленки за счет уменьшения дефектов и пустот – улучшает кристаллографическую текстуру, что приведет к улучшению свойств электропроводности или оптической прозрачности) [5]; травить поверхностные или объемные слои (удаляет материал пленок с высокой направленностью и контролем) [6].

Эффект влияния ионной обработки на напряженное состояние в тонкопленочных покрытиях может варьироваться в зависимости от следующих факторов: виды ионов и энергия – тяжелые ионы (например, Xe, Ne, Er) при энергиях от десятков кэВ и более приводят к более высокому сжимающему напряжению [7], легкие ионы (например, He, N) и более низкие энергии могут вызывать растягивающее напряжение

или уменьшать сжимающее напряжение [8]; целевой материал – кристаллические материалы имеют тенденцию накапливать больше напряжений, чем аморфные материалы.

В зависимости от направленности напряженного состояния возможно разделить влияние ионной обработки: сжимающее напряжение – ионная бомбардировка создает вакансии и межузельные структуры в пленке, вызывая увеличение параметра решетки, этот тип напряжений может улучшить адгезию пленки и ее износостойкость [9]; растягивающее напряжение – ионная бомбардировка также может вызвать выброс атомов из пленки, что приведет к уменьшению объема, данный тип напряжения может улучшить прочность и пластичность пленки [10].

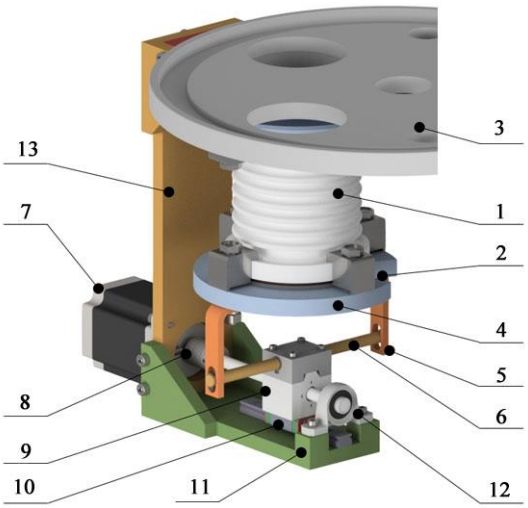
Тенденции развития современной технологии электронной техники заключаются в увеличении степени интеграции изделий на поверхности подложек, что связано в том числе с увеличением диаметра применяемых в производстве подложек.

В настоящее время широко распространены конструкции источников ионов, которые имеют стационарное расположение относительно крепежного фланца вакуумной камеры [11, 12]. Однако в таком случае невозможно обработать подложку, размер которой превышает размер зоны ионного пучка, даже при условии увеличения габаритного размера корпуса источника ионов, поскольку фокусирующая и направляющая система также должны размещается внутри корпуса прибора.

Целью данной работы является проектирование крепления источника ионов с возможностью изменения направления пучка ионов для обработки подложки размером 76 мм.

Крепление источника ионов для обеспечения его отклонения

Разработанная система крепления (рисунок) учитывает необходимость отклонения источника ионов от своей оси для возможности обработки подложек (в том числе и кремниевых пластин) диаметром до 76 мм.



Система крепления источника ионов для возможности отклонения: 1 – гибкий сильфон; 2 – струбцины; 3 – фланец KF63; 4 – прижимная пластина; 5 – пластины-уголки; 6 – ось; 7 – шаговый двигатель; 8 – передача винт-гайка скольжения; 9 – блок; 10 – линейная направляющая; 11 – горизонтальная пластина; 12 – подшипник в корпусе; 13 – вертикальная пластина

Кольцевой источник ионов диаметром 54 мм устанавливается в гибкий сильфон *1* ISO63 высотой 100 мм. Сильфон через восемь алюминиевых струбцин *2* и болтов M8 устанавливается на нижний фланец KF63 вакуумной камеры *3*. Вакуумную герметичность обеспечивают резиновые уплотнения. Наклон источника ионов происходит при отклонении нижнего фланца сильфона, потому что жесткость при изгибе меньше жесткости сильфона при работе на срез. Разрезная прижимная пластина *4*, прижатая к ниж-

нему фланцу сильфона, предназначена для монтажа двух пластинок *5* в форме уголка. Уголки имеют продольное отверстие, по которому происходит скольжение металлической оси *6*, диаметром 8 мм.

Перемещение оси обеспечивается шаговым двигателем *7* и передачей скольжения винт-гайка *8*, которая закреплена в прямоугольном блоке *9*. Бронзовая гайка скольжения закреплена в блоке *9* с помощью двух винтов М3. Металлическая ось *6* также закрепляется в блоке 9 с помощью двух установочных винтов М4. Продольное перемещение передачи винт-гайка происходит на линейной направляющей *10* MGN12C, длина которой 100 мм. Для снижения нагрузки на вал шагового двигателя и повышения устойчивости винта на горизонтальную пластину *11* устанавливается подшипник качения в корпусе *12*. Горизонтальная пластина жестко связана с вертикальной пластиной *13*, которая закреплена за нижний фланец вакуумной камеры.

Заключение

Ионная обработка подложек и тонкопленочных покрытий в вакууме является незаменимым методом создания высокопроизводительных устройств. Благодаря ионной обработке обеспечивается превосходная очистка и модификация поверхности, изменяются свойства пленки. Необходимость равномерной ионной обработки подложек бóльших размеров является актуальной задачей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kouptsov A., Maltsev V., Sidorova S. Reduction of Residual Stresses in Aluminum Oxide Films by Ion-Plasma Methods // 2024 6th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). – IEEE, 2024. – С. 1-4.

2. Ochs D. et al. Glass substrate cleaning using a low energy ion source // Surface and Coatings Technology. – 2001. – Т. 142. – С. 767-770.

3. ZHOU L. et al. Enhanced adhesion of Cu-W thin films by ion beam assisting bombardment implanting // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2008. – Т. 18. – № 2. – С. 372-377.

4. Dupuis R.D. et al. Activation of silicon ion-implanted gallium nitride by furnace annealing // Journal of electronic materials. – 1999. – Т. 28. – С. 319-324.

5. Conrad J.R. et al. Plasma source ion-implantation technique for surface modification of materials // Journal of Applied Physics. – 1987. – Т. 62. – № 11. – С. 4591-4596.

6. Scheer H.C. Ion sources for dry etching: Aspects of reactive ion beam etching for Si technology (invited) a // Review of scientific instruments. – 1992. – Т. 63. – № 5. – С. 3050-3057.

7. Snoeks E. et al. MeV ion irradiation-induced creation and relaxation of mechanical stress in silica // Journal of applied physics. – 1995. – Т. 78. – № 7. – С. 4723-4732.

8. Wang J. et al. Xe-ion-irradiation-induced structural transitions and elemental diffusion in high-entropy alloy and nitride thin-film multilayers // Materials & Design. – 2022. – Т. 219. – С. 110749.

9. Скобелев С.Б., Ковалевский В.Ф. Технологические методы повышения износостойкости деталей пар трения. – 2014.

10. Кабачков Е.Н., Шульга Ю.М. Физическая химия поверхностных явлений // Журнал физической химии. – 2019. – Т. 93. – № 3. – С. 1-4.

11. Литвинов П.А., Батурин В.А., Пустовойтов С.А. Разработка и исследование источника ионов металлов для технологических ускорительных установок // Журнал технической физики. – 2014. – Т. 84. – № 4. – С. 126-131.

12. Егорова С.И., Купцов А.Д. Источник ионов: применение, тестирование, моделирование // Будущее машиностроения России. – 2020. – С. 212-215.

ПРИМЕНЕНИЕ И ПРЕИМУЩЕСТВА БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В МЕДИЦИНЕ И ИНЖЕНЕРИИ

Курбанова В.А.
Научный руководитель: к.т.н. Багаутдинова Л.Н.

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань

Аннотация. *В данном докладе мы рассмотрим бактериальную целлюлозу в качестве материала, который обладает высоким уровнем биосовместимости, применяемого в клеточных технологиях, тканевой инженерии и хирургии для восстановления органов и тканей, повреждённых в результате травм или патологий.*

Ключевые слова: *бактериальная целлюлоза, биосовместимый материал, тканевая инженерия, 3D-биопечать*

Целлюлоза, один из наиболее обширно распространенных полимеров в природе, играет важную роль в биологических процессах и имеет огромный потенциал для различных промышленных приложений [1-4]. В последние десятилетия интерес к использованию целлюлозы значительно возрос в связи с поиском экологически чистых и устойчивых материалов, которые будут биосовместимыми для тканей и органов человека. Таким материалом является целлюлоза, которая имеет широкую область применения за счет своих свойств. Впоследствии, были разработаны различные методы ее обработки, результатом одного из которых является бактериальная целлюлоза, используемая в качестве частично биодеградируемого вещества, сохраняющие свою основную структуру.

Биосовместимые материалы обладают рядом уникальных свойств, делающих возможным для применения их в медицине. Они характеризуются высокой степенью биосовместимости, что означает их способность не вызывать иммунного ответа и воспаления при контакте с тканями организма, и хорошей биодеградируемостью, что позволяет им разлагаться в организме без образования токсичных продуктов.

Полимеры, полученные из растительных, животных или минеральных источников, представляют собой более экологически чистые и устойчивые к воздействию окружающей среды материалы, чем традиционные синтетические полимеры. Одним из наиболее популярных природных материалов, используемых для производства полимеров, является целлюлоза. Целлюлоза, получаемая из древесины, бамбука или хлопка, обладает высокой биоразлагаемостью и отличными механическими свойствами.

Полимеры на основе природных материалов представляют собой перспективное направление развития химической промышленности. Дальнейшее развитие данной области привело к разработке недорогой технологии получения универсальных биосовместимых матриц с уникальным уровнем влагоемкости, которые позволяют размножаться клеткам костной и мягких тканей, на базе Северо-Кавказского федерального университета [5].

Технология основывается на получении матриц на основе бактериальной целлюлозы модифицированной желатином. Она включает в себя все этапы, начиная с выращивания продуцента, очистки целлюлозы, её модификации и заканчивая конструированием матриц. В данном методе используются не отдельные штаммы, а симбиоз, в который входят как уксуснокислые бактерии, которые собственно продуцируют бактериальную целлюлозу, так и дрожжи. И в таком симбиозе одни микроорганизмы поддерживают рост других, поэтому он устойчив к действию различных инфекций и окру-

жающей среды и нет необходимости поддерживать определенные условия. Полученные биосовместимые матрицы приобрели уникальные свойства: высокий уровень влагоемкости (больше 5000 %) и размер пор, который позволяет размножаться и дифференцироваться клеткам как мягких тканей, так и костной ткани. Важно отметить, что продукты гидролиза желатина стимулируют развитие кровеносных сосудов в регенератах тканей, что также приводит к ускоренному их восстановлению.

Также стоит обратить внимание на то, что согласно исследованиям, проводимым при Алтайском государственном медицинском университете, применение раневого покрытия на основе бактериальной целлюлозы позволяет эффективно проводить лечение длительно незаживающих ран кожи и мягких тканей в закрытой влажной среде [6]. Пластичные свойства используемого материала способствует его хорошему моделированию на раневой поверхности.

Более того бактериальная целлюлоза также может найти применение в 3D-биопечати. Эта технология позволяет создавать трехмерные структуры из клеток и биологических материалов с помощью специальных принтеров. Материалы, используемые в настоящее время для 3D-биопечати, основаны на искусственных или природных полимерах. Природные полимеры подходят лучше для создания органов, так как обладают большей совместимостью, реже вызывают ответ иммунной системы.

Одно из главных преимуществ бактериальной целлюлозы в 3D-биопечати – это ее способность формировать сложные трехмерные структуры. Благодаря своей микроструктуре, она может быть использована для создания различных форм и конфигураций, что позволяет создавать более точные и функциональные ткани и органы.

Кроме того, бактериальная целлюлоза обладает высокой прочностью и может выдерживать значительные механические нагрузки, сохраняя свою форму даже после длительного времени. Также она обладает высокой биокомпатибельностью и отличными свойствами взаимодействия с клетками: способствует их росту и дифференциации.

Одним из основных вызовов при использовании бактериальной целлюлозы в 3D-биопечати является ее обработка и модификация для достижения оптимальных свойств. Некоторые исследования уже проводятся для улучшения механических свойств бактериальной целлюлозы путем добавления других материалов или изменения условий культивирования. Бактериальная целлюлоза способность формировать сложные трехмерные структуры, что открывает новые возможности для создания точных и функциональных тканей и органов и имеет огромное значение для развития медицины и биотехнологий.

Высокая прочность бактериальной целлюлозы позволяет использовать ее для создания поддерживающих структур, что особенно важно при создании биопринтов сложных органов.

Исследования по улучшению механических свойств бактериальной целлюлозы путем добавления других материалов или оптимизации условий культивирования открывают новые возможности для расширения ее применения и улучшения характеристик создаваемых на 3D-печати конструкций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gaysin F.M., Bagautdinova L.N., Gaisin A.F., Gaisin A.F., Mastyukov K.Sh., Zakirov D.U. Electroplasma Technologies for Cleaning, Polishing and Welding of Metals // Conference: 2023 Seminar on Microelectronics, Dielectrics and Plasmas (MDP), 2023.

2. Mardanov R.R., Kayumov R.R., Akhatov M.F., Gazizova A.I., Gaisin A.F. Modification of the surface of polyethylene by low-temperature plasma and liquid electrodes // Jour-

nal of Physics: Conference Series. XI Scientific Technical Conference on Low Temperature Plasma during the Deposition of Functional Coatings. Bristol, 2020. С. 012028.

3. Gaisin Al.F., Gaisin F.M., Basyrov R.Sh., Kayumov R.R., Mirkhanov D.N., Petryakov S.Yu. Electrophysical and thermal processes under discharge burning conditions with a liquid (nonmetallic) cathode // High Temperature. 2023. Т. 61. № 4. С. 445-452.

4. Царева А.М., Макаева Р.Х., Сафина Д.М., Галимова Р.К. Диагностика разрушения крыльчатки обдува генератора газотурбинного двигателя методом голографической интерферометрии // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2020. № 2. С. 172-175.

5. Рогова Е.А., Алашкевич Ю.Д., Кожухов В.А., Лапин И.Р., Киселев Е.Г. Состояние и перспективы совершенствования способов получения и использования бактериальной целлюлозы (обзор) // Химия растительного сырья, 2022. № 4. С. 27-46.

6. Жариков А.Н., Алиев А.Р. Хирургическое лечение длительно незаживающих ран кожи и мягких тканей с помощью раневого покрытия на основе бактериальной целлюлозы // Бюллетень медицинской науки. 2022; 3 (27): 91-97.

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ СУПЕРГИДРОФОБНОГО ПОКРЫТИЯ В АТМОСФЕРЕ СО 100 %-Й ВЛАЖНОСТЬЮ ВОЗДУХА

Курьято Н.А.[1], Брыксина В.А.[2], Дорохов А.В.[1]
Научный руководитель: д.х.н., доцент Князева Л.Г.[1]

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов
[2]Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г. Тамбов

Аннотация. *Результаты эксперимента с гидрофобным покрытием на меди, указывают на достаточную устойчивость покрытий. По результатам видно, что покрытие, полученное при ориентации каждой стороны катода к поверхности анода в течение 8 мин катодного тока и 2 мин анодного, в течение 40 суток наблюдается возрастание величины краевого угла смачивания, но в дальнейшем наблюдается снижение из-за некоторой деградации и залечивания мест покрытия.*

Ключевые слова: *коррозионная стойкость, супергидрофобное покрытие, медь*

Супергидрофобные покрытия представляют собой материалы, обладающие уникальным свойством (незначительное взаимодействие с водой). Благодаря этому они являются перспективными материалами для защиты металлов от коррозии, поскольку вода – является одним из основных факторов, провоцирующих коррозию [1]. Следствием из этого актуально получение данных покрытий несложными методами.

Целью работы является исследование коррозионной стойкости супергидрофобных покрытий на меди, полученных электроосаждением в атмосфере со 100 %-й влажностью.

Для получения покрытия использовали потенциостатическую методику на медной пластине с размерами 30 × 30 × 0,5 мм проводилось катодное осаждение никеля из этанольного раствора $NiCl_2$ $6H_2O$ (10,4 г/л) и миристиновой кислоты (18,3 г/л) при напряжении 30 В между медными пластинами при продолжительности эксперимента 10 мин. В течение равных промежутков времени катод был ориентирован к аноду разными сторонами пластины.

Морфология покрытия, полученного на медном электроде при осаждении никеля по способу, описанному ранее, показана на рис. 1.

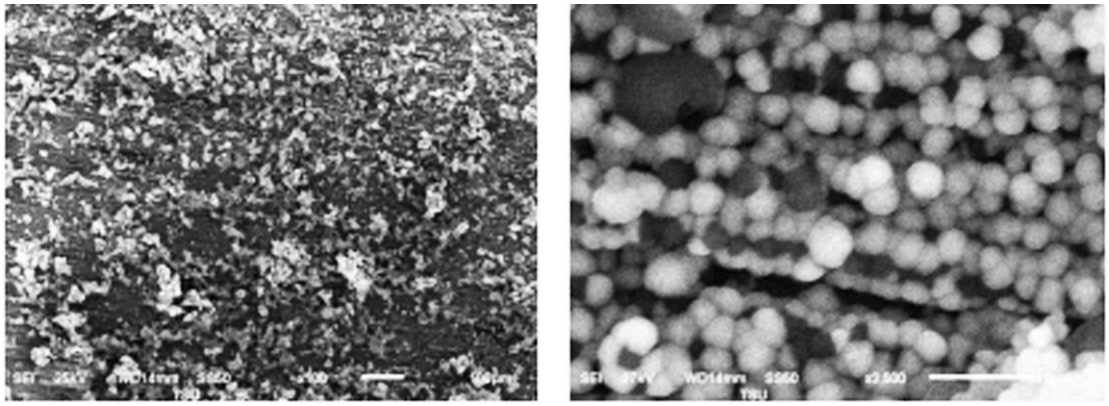
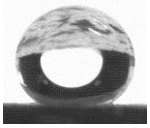
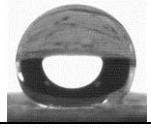
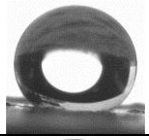
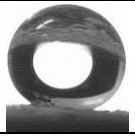
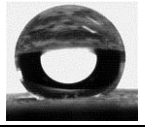


Рис. 1. Морфология супергидрофобного покрытия, полученного на медной пластине при катодном осаждении никеля из этанольного раствора хлорида никеля и миристиновой кислоты

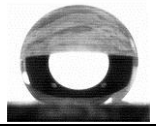
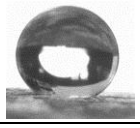
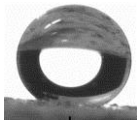
Характер покрытия определяется восстановлением ионов никеля и водорода на катоде, направленное движение которых способствуют покрытию катода миристатом никеля, образующимся в растворе, и созданию ажурной структуры, пустоты которой служат ловушками пузырьков воздуха, препятствующего проникновению жидкой среды к поверхности металла.

В течение трёх суток экспозиции при 100 %-й влажности величина краевого угла смачивания возрастает до 160°, а в последующие сутки то снижается, то несколько возрастает из-за некоторой деградации и залечивания слабых мест покрытия, оставаясь в пределах 150° в течение 100 суток (таблица).

Влияние продолжительности экспозиции при 100 %-ой влажности воздуха на краевой угол смачивания покрытия на меди, полученных на медной пластине при катодном осаждении никеля из этанольного раствора хлорида никеля и миристиновой кислоты

№ п/п	Отношение катодного тока к анодному, мин	Продолжительность эксперимента, дни	Изображение капель воды	Угол смачивания, °
1	9 мин катодного тока и 1 мин анодного	0		151
2		11		157
3		41		161
4		102		155
5	8 мин катодного тока и 2 мин анодного	0		151

Окончание таблицы

6		11		153
7		41		155
8		102		153

Начальное значение краевого угла смачивания составляет 151°. Лучший эффект наблюдается для длительности анодного тока, равной 1 мин, нежели 2 мин. Увеличение анодного периода до 2 мин при общей продолжительности электролиза 10 мин ухудшает показатели. Можно полагать, что анодный ток способствует возникновению пор в покрытии, служащих дополнительными ловушками для пузырьков воздуха, предотвращающих контакт жидкой среды с металлической подложкой. Значения углов смачивания, равных или выше 150°, свидетельствуют о том, что на поверхности меди в процессе электрохимической обработки сформировалась многомодальная шероховатость. При экспозиции во 100 %-ой влажности он возрастает и составляет значение, близкое к 155° (таблица).

Полученные результаты указывают на коррозионную устойчивость покрытий. По результатам видно, что покрытие, при экспозиции в течение 40 суток возрастают величины краевого угла смачивания, но в дальнейшем наблюдается снижение из-за некоторой деградации и залечивания мест покрытия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Антикоррозионные свойства супергидрофобных покрытий на меди, полученных электроосаждением / Князева Л.Г., Цыганкова Л.Е., Курьято Н.А., Дорохов А.В., Урядников А.А., Дорохова А.Н. // Коррозия: защита, материалы. Приложение к журналу «Технология металлов». – 2023. – № 13. – С. 4-12.

САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ ПОЛИМЕРЫ: НОВЫЙ УРОВЕНЬ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Лысова К.А., Идрисова Д.М, Антипова И.А.

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

Аннотация. *В данной статье рассматривается инновационное направление в строительной индустрии – самовосстанавливающиеся полимеры. Эти материалы обладают уникальной способностью «залечивать» микротрещины и повреждения, подобно живому организму, что открывает новые горизонты в области долговечности и надежности конструкций.*

Ключевые слова: *самовосстанавливающиеся материалы, долговечность, композитные материалы*

В современном строительстве долговечность и надежность конструкций являются ключевыми факторами. Традиционные материалы, такие как бетон и сталь, подвержены износу, коррозии и повреждениям, что требует регулярного обслуживания и ремонта. В связи с этим, научное сообщество активно исследует инновационные материалы с уникальными свойствами, способными революционизировать строительную индустрию. Одним из таких прорывов являются самовосстанавливающиеся полимеры [3].

Самовосстанавливающиеся полимеры обладают способностью «залечивать» микротрещины и повреждения без внешнего вмешательства. Этот эффект достигается благодаря различным механизмам, включая:

– Капсулирование: В полимерную матрицу внедряются микрокапсулы, содержащие восстанавливающий агент (мономер или катализатор). При возникновении трещины капсулы разрушаются, высвобождая агент, который заполняет повреждение и полимеризуется, восстанавливая целостность материала.

– Супрамолекулярные взаимодействия: Полимерные цепи связаны между собой слабыми, обратимыми связями (водородными, ионными), которые разрушаются при повреждении, а затем восстанавливаются, «склеивая» материал.

– Встроенные сосудистые сети: В полимер внедряются микроканалы, заполненные восстанавливающим агентом. При повреждении агент высвобождается из каналов и заполняет трещины [1].

Применение самовосстанавливающихся полимеров в строительстве открывает ряд преимуществ:

– Повышенная долговечность: Способность материалов «залечивать» микротрещины предотвращает их развитие в более серьезные повреждения, продлевая срок службы конструкций.

– Снижение затрат на обслуживание и ремонт: Самовосстановление материала минимизирует необходимость в регулярных инспекциях, ремонте и замене поврежденных элементов.

– Повышение безопасности: Самовосстанавливающиеся материалы могут применяться в конструкциях, подверженных высоким нагрузкам и экстремальным условиям, повышая их надежность и безопасность.

– Устойчивое развитие: Использование самовосстанавливающихся полимеров способствует сокращению потребления ресурсов и уменьшению количества строительных отходов.

Самовосстанавливающиеся полимеры уже находят применение в различных областях строительства:

– Защитные покрытия: Для защиты бетонных и металлических конструкций от коррозии и воздействия окружающей среды.

– Герметики и клеи: Для обеспечения герметичности швов и соединений, а также для склеивания различных материалов.

– Композитные материалы: Для создания легких и прочных конструкционных элементов с повышенной долговечностью.

– Дорожное покрытие: Для увеличения срока службы дорожного полотна и снижения затрат на ремонт.

Технологии самовосстанавливающихся полимеров находятся на стадии активного развития. Исследования направлены на:

– Повышение эффективности самовосстановления: Разработка новых восстанавливающих агентов и оптимизация механизмов самовосстановления.

– Расширение диапазона рабочих температур: Создание материалов, способных к самовосстановлению при различных температурных условиях.

– Улучшение механических свойств: Разработка материалов с высокой прочностью, жесткостью и эластичностью.

– Снижение стоимости производства: Поиск новых, более доступных материалов и методов синтеза.

Будущее самовосстанавливающихся полимеров связано с разработкой:

Интеллектуальных материалов: способных не только к самовосстановлению, но и к адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды, например, к изменению температуры или влажности.

Биомиметических материалов: вдохновленных природными механизмами самовосстановления, например, регенерацией тканей у животных [2].

Самовосстанавливающиеся полимеры – это инновационные материалы с огромным потенциалом для трансформации строительной индустрии. Их применение позволит создавать более долговечные, надежные и безопасные конструкции, открывая новые горизонты в области устойчивого развития.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. https://cyberleninka.ru/article/n/samovosstanavlivayuschiesya-materialy-obzor-mehanizmov-samovosstanovleniya-i-ih-primeneniy.

2. https://plastinfo.ru/information/articles/331/.

3. https://worldofmaterials.ru/spravochnik/special-materials/113-samovosstanavlivayushiesya-materialy.

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВАКУУМНОГО СТОЛА

Максимов М.Е., Самойлова Е.М.

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

Аннотация. *В данной статье рассматриваются вопросы улучшения качества фрезерной обработки с применением вакуумного стола. В статье рассматриваются теоретические основы функционирования и использования вакуумного стола, конструктивные особенности станка вертикально-обрабатывающего центра MDV – 508 TOPPER.*

Ключевые слова: *фрезерная обработка, вакуумный стол, вертикально обрабатывающий центр*

Под фрезерованием понимается вид механической обработки металла, в процессе которой происходит воздействие режущего инструмента (фрезера) на заготовку [1]. В процессе такой механической обработки убирается необходимый слой металла. На успешность и эффективность фрезерования влияет большое количество факторов – выбор оптимального инструмента, поверхность и свойства обрабатываемого материала, мощность используемого оборудования. Фрезерная обработка широко распространена в промышленности, в таких областях, как машиностроение, автомобилестроение, судостроение, авиастроение, ювелирное дело, стоматология, архитектура и дизайн, и многих других [1].

Фрезерная обработка деталей на специализированных фрезерных станках основана на вращении и подаче инструмента на рабочий ход, то есть здесь выделяются главные и вспомогательные движения. Процесс фрезерной обработки состоит из нескольких этапов [2]:

1. Черновое фрезерование – невысокая точность и первоначальное снятие стружки с металла, основная задача – оформление общего профиля. Припуск на обработку составит от 3 до 7 мм.
2. Получистое фрезерования – повышение точности механической обработки металла;
3. Чистое фрезерование – основательная отделка металла, обеспечение высокой степени точности качества контуров. Припуск составляет от 0,5 до 1 мм.

Фрезерование как тип механической обработки может быть нескольких видов, что решает проблемы обработки на фрезерных станках материалов, отличающихся между собой по сложности и конфигурации. Можно выделить несколько групп фрезерования [2]:

1. Обработка плоских поверхностей (в нее входит черновая и чистовая зачистка плоскостей).
2. Работа над объемными деталями (подразумевающая зачистку заготовки и придание ей нужной формы).
3. Разделение (т. е. подразделение изготавливаемой детали на части).
4. Проведение модульной отделки (формирование требуемого профиля).

Фрезерование как тип механической обработки происходит на специальном оборудовании – фрезерных станках, от чего и зависит качество обработки материала и деталей. В рамках статьи мы рассматриваем технические характеристики и конструкторские особенности станка вертикально-обрабатывающего центра MDV – 508 TOPPER (рис. 1) [3].

Рис. 1. Вид станка вертикально-обрабатывающего центра MDV – 508 TOPPER

Производителем рассматриваемого станка является компания Tongtai Machine & Tool Co., Ltd., которая является производителем станков с наибольшим масштабом среди членов TTGroup, а также зарегистрированной компанией с самым высоким доходом среди тайваньских групп по производству оборудования [3]. Фрезерование на данном станке представляется инновационным способом обработки деталей, обеспечивает высокоскоростное фрезерование, резку пресс-форм и штамповок. Усовершенствован

двойной металлической конструкцией, усилие выпрямления стержня составляет 1000 кг. Усилие отрыва шпильки составляет 250 кг. Преимуществом такой конструкции является продление срока службы оборудования. Двухшнековый транспортёр для стружки обеспечивает эффективность удаления стружки с детали. Жёсткая муфта обеспечивает тонкую подачу без люфта. Также данный станок имеет мощный шпиндель – 20000 оборотов в минуту, к другим преимуществам и характеристикам стоит отнести следующие [4]:

1. Вес машины – 6300 кг.
2. Ширина открывания передней двери составляет 900 мм;
3. Легко поднимаются приспособления;
4. Конструкция станка предназначена для осуществления высокоскоростного фрезерования и резки.
5. Высокий уровень поглощения вибрации при работе на станке, что повышает комфорт труда.
6. При подаче на высокой скорости движение не прерывается, что предотвращает тепловое расширение материала.
7. Размер станка – 2870 × 2000 × 2810, что экономит производственное помещение.

При работе с фрезерным станком и совершением фрезерной обработки можно столкнуться с несколькими проблемами [2]:

1. Поломка инструмента;
2. Дребезжание при обработке материала и детали;
3. Увеличение износа;
4. Появление стружки на режущей кромке;
5. Засорение и забивание стружкой инструмента;
6. Увод инструмента;
7. Появление заусенцев на чистовой поверхности материала или детали;
8. Достижение недостаточной шероховатости поверхности;
9. Проявление низкой точности резания.

Некоторые из перечисленных проблем можно решить с помощью применения вакуумного стола (рис. 2).

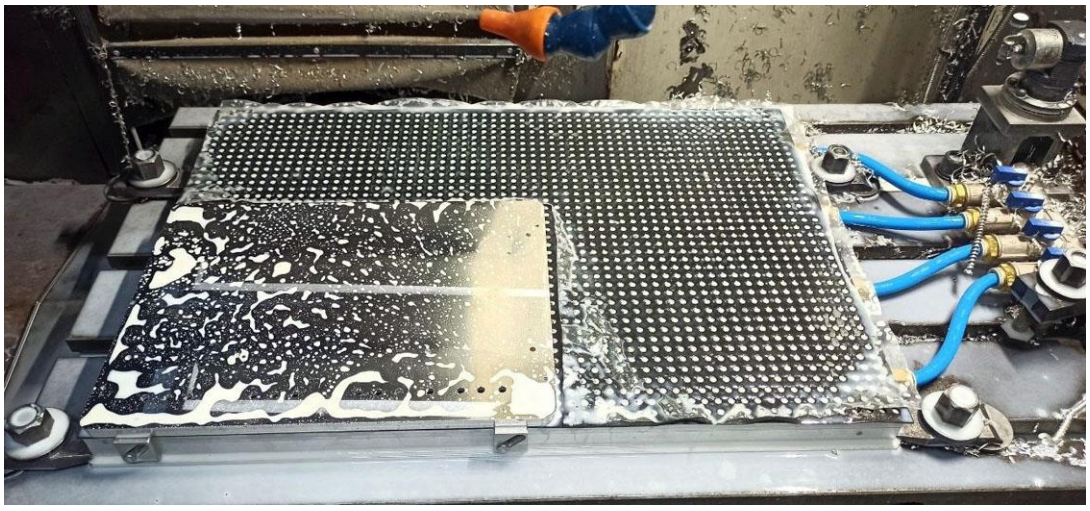


Рис. 2. Общий вид вакуумного стола

Наиболее распространённым видом вакуумных столов, используемым в металлообработке, является решетчатый тип. Основой вакуумного стола является вакуумный насос, от которого непосредственно зависит эффективность стола. Чаще всего исполь-

зуются вихревые насосы – они неприхотливы в работе и имеют простую, но надежную конструкцию, а также длительный срок эксплуатации, также у вихревого насоса нет трущихся частей, изнашиваются только подшипники [5].

Рассмотрим причины использования вакуумного стола как способа повышения эффективности фрезерной обработки. Чтобы разобраться с этим вопросом необходимо разобраться, как зажимаются заготовки на столе станка в большинстве случаев.

Самый распространенный метод крепления крупногабаритных деталей – это использование механических прижимов. Данный способ является самым простым и экономным решением, но обладает и рядом существенных недостатков: локальное закрепление детали, воздействие на определенную зону заготовки, остальная часть заготовки держится засчет собственной жесткости, во время механической обработки фреза отходит от места зажима, начинаются вибрации незакрепленной части заготовки (ухудшение качества фрезерной поверхности, уменьшение точности изделия и ресурса режущего инструмента), повышенное время закрепления и раскрепления заготовки, закрытие зоны обработки [2]. Таким образом, применение вакуумных столов в целях повышения фрезерования материалов имеет следующие преимущества [6]:

1. Возможность обработки деталей за 1 установку сразу с 5-ти сторон. В том числе, включая сквозную обработку (перфорированный вакуумный стол)
2. Исключение вибраций за счет равномерного распределения усилия прижима под всей поверхностью детали заготовки.
3. Значительное уменьшение времени подготовительных операции по зажиму зажиму/раскреплению/перезажиму детали.
4. Минимальное время переналадки на другой габарит обрабатываемой детали.
5. Повышение точностных параметров и чистоты обработанных поверхностей изделия.
6. Сокращение до минимума брака [7].
7. Уменьшение влияние человеческого фактора.
8. Увеличение ресурса режущего инструмента [8].
9. Возможность удобной боковой загрузки и позиционирования крупногабаритных деталей за счет эффекта воздушной подушки (перфорированный вакуумный стол).
10. Удобство работы для оператора станка [9].

В статье были рассмотрены основы фрезерования, которые поспособствовали обоснованию использования вакуумного стола в качестве меры для улучшения работы станка вертикально-обрабатывающего центра MDV – 508 TOPPER. Механическая обработка материала имеет ряд существенных недостатков, связанных с обработкой материала, износом оборудования, повышения времени на закрепление обрабатываемых материалов и т. д. Несмотря на высокую стоимость внедрения системы вакуумного стола, данное оборудование способствует повышению эффективности и производительности фрезерования на фрезерных станках.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Смирнов А.А. Обзор современных стратегий фрезерной обработки // Будущее машиностроения России: тринадцатая Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов (с международным участием): сборник докладов: в 2 т. Москва, 22-25 сентября 2020 года / Союз машиностроителей России, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). Т. 1. – Москва: Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2020. – С. 15-17.

2. Проблемы фрезерной обработки [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://m-ser.ru/articles/problem_pri_frezerovanii/ (дата обращения: 08.04.2024).

3. Сервисное обслуживание и ремонт станков Tongtai (TOPPER), Тайвань [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://machine-service.ru/repair_diagnostics_service_cnc_machine_tools_taiwan_tongtai_topper (дата обращения: 10.04.2024).

4. Сахаров А.В. Определение технологических возможностей вертикального фрезерного обрабатывающего центра / А.В. Сахаров // Станкоинструмент. – 2020. – № 4 (21). – С. 48-53.

5. Носенко В.А. Обзор методов закрепления заготовок при фрезерной обработке / В.А. Носенко, И.В. Севостьянов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2023. – № 10. – С. 35-39.

6. Изюмов А.И. Контроль и диагностика износа режущего инструмента при фрезерной обработке / А.И. Изюмов, Ф.Е. Бессонов // Актуальные проблемы науки и техники. 2019: Материалы национальной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 26-28 марта 2019 года. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2019. – С. 638-639.

7. Сравнение сетчатого и перфорированного вакуумного стола, оценка прижатия и подбор методов обработки / Д.К. Макеев, Е.Н. Бескишко, Д.В. Слезкин, А.В. Кириченко // АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ науки и ОБРАЗОВАНИЯ: сборник статей XXVI Международной научно-практической конференции: в 2 ч., Пенза, 25 января 2023 года. Том Часть 1. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 90-93.

8. Трунилин И.А. Типы и виды вакуумных насосов для вакуумных систем и установок / И.А. Трунилин // Интернаука. – 2021. – № 7-1 (183). – С. 54-56.

9. Характеристики станка вертикально-обрабатывающего центра MDV – 508 TOPPER [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.giteh.com/static/upload/pdf/tongtai-rezkanje/TONGTAI_CENTER_MDV-508_VERTIKALNI.pdf (дата обращения: 09.04.2024).

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ, ИХ СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Маньшина А.Т., Голан А.В., Нагоненко К.А., Передрий Р.Е.
Научный руководитель: Сердюков В.В.

Кубанский государственный университет, г. Краснодар

Аннотация. *В статье рассмотрены физические и химические свойства наноразмерных пленок оксидов металлов и то, в каких областях и в качестве чего они могут быть применены. Основным материалом, на примере которого рассматриваются свойства пленок оксидов металлов является диоксид олова. Работа написана с целью повысить интерес молодых ученых к наноразмерным материалам и изучению их свойств, способам их получения и применения.*

Ключевые слова: *наноразмерные пленки, оксиды металлов, газовые сенсоры, электроды, напыление пленок, оксидирование пленок*

Широкий спектр электронных и химических свойств оксидов металлов делает их интересными материалами как для фундаментальных исследований, так и для технологических применений.

Оксиды обладают широким спектром электрических свойств – от широкополосных изоляторов до металлических и сверхпроводящих материалов. Диоксид олова относится к такому классу материалов, которые являются оптически прозрачными и имеют достаточно высокую степень проводимости и благодаря этим свойствам имеют высокую ценность в оптоэлектронике.

В химической промышленности оксиды используются в качестве подложек для дисперсных металлических покрытий – катализаторов, которые часто проявляют каталитическую активность сами по себе.

Еще одной областью, в которой оксиды играют доминирующую роль, являются твердотельные газовые датчики. Большое разнообразие оксидов проявляет чувствительность к окислительным и восстановительным газам из-за изменения их электрических свойств, но SnO_2 был рассмотрен одним из первых и до сих пор является наиболее часто используемым материалом для этих целей.

Существует очевидная тесная взаимосвязь между газочувствительностью оксидов и их химической активностью на поверхности, и, следовательно, применение газочувствительных материалов и каталитические свойства следует рассматривать совместно. Изучение структуры поверхности SnO_2 все еще относительно не изучено по сравнению, например, с TiO_2 [1]. В основном это связано с отсутствием коммерчески доступных монокристаллов или устоявшихся методов выращивания ориентированных тонких пленок.

Прозрачные полупроводники состава Sn – O относятся к важному семейству оксидных материалов, которые сочетают низкое электрическое сопротивление с высокой оптической прозрачностью в видимом диапазоне электромагнитного спектра. Эти свойства используются в ряде применений, в частности, в качестве электродных материалов в солнечных элементах, светодиодах, плоских дисплеях и других оптоэлектронных устройствах, где необходимо установить электрический контакт, не препятствуя попаданию фотонов в оптическую активную область или выходу из нее, а также в прозрачной электронике, такой как прозрачные полевые транзисторы [2, 3]. Еще одним свойством SnO_2 и других оксидов металлов является то, что, хотя они прозрачны в видимом диапазоне, они обладают высокой отражающей способностью для инфракрасного излучения. Поэтому их используют в качестве покрытий для оконных стекол.

Существует большое количество оксидов металлов, наиболее известными из которых являются бинарные системы, т. е. SnO_2, ZnO, In_2O_3, Ga_2O_3 и CdO [4, 5]. В настоящее время разрабатывается большое разнообразие тройных и более сложных материалов оксидов металлов [6] и предпринимаются постоянные усилия по поиску проводящих оксидов металлов с проводимостью p-типа. Краткое описание физических свойств SnO_2 и двух других распространенных материалов из полупроводников, полученных путем окисления металлов, то есть ZnO и In_2O_3, приведено в таблице 1 [7].

Часто требуется обеспечить максимально возможную электропроводность. Многие из бинарных оксидов металлов уже обладают высокой проводимостью из-за внутренних дефектов, т. е. недостатка кислорода (кислородных вакансий). Это также относится к SnO_2, который, будучи полупроводником с широкой запрещенной зоной, в своей стехиометрической форме является хорошим изолятором. Нестехиометрия, в частности дефицит кислорода, делает его проводником p-типа.

Свойства полупроводников In_2O_3, ZnO, SnO_2

Свойство	In_2O_3	ZnO	SnO_2
Тип решетки	Кубический, биксбиит	Шестиугольный, вюрцит	Четырехугольный, рутил
Постоянные решетки, нм	a = 1,012	a = 0,325; b = 0,5207	a = 0,474; b = 0,319
Плотность, г/см^3	7,12	5,67	6,99
Твердость по Моосу	5	4	6,5
Температура плавления, °С	2190	2240	1900
Ширина запрещенной зоны, эВ	3,75	3,4	3,6
Распространенные внешние легирующие добавки n-типа	Sn, Ni, Zr, F, Cl, Sb, Ge, Zn, Pb, Si	B, Al, Ga, In, Si, Ge, Sn, Y, Ti, Zr, Hf, F, Cl	Sb, F, Cl

На данный момент, с использованием тонких пленок оксидов металлов производится большое количество продукции от изделий электроники до покрытий для окон. Не все процессы внутри таких полупроводников изучены и не для всех материалов выявлены наиболее эффективные способы их получения. Но наноразмерные материалы на основе оксидов металлов представляют большую ценность для развития электроники, поэтому важно продолжать развитие области нанотехнологий и наноэлектроники.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Diebold U. The surface science of titanium dioxide. – Surf. Sci. – Rep. 48, 2003, p. 5-8.

2. Wagner J.F. Transparent electronics. – Science 300, 2015, p. 1245.

3. Hoffman R.L., Norris B.J., Wagner J.F. ZnO-based transparent thin-film transistors. – Appl. Phys. Lett. 82, 2018, p. 733.

4. Chopra K.L., Major S., Pandya D.K. Transparent conductors-a status review. – Thin Solid Films 102, 1983 p. 3-7.

5. Coutts T.J., Young D.L., Li X. Characterization of transparent conducting oxides. – MRS Bull. 25, 2000, p. 58.

6. Minami T. New n-type transparent conductingoxides. – MRS Bull. 25, 2000, p. 38.

7. Gordon R.G. Criteria for choosing transparent conductors. – MRS Bull. 25, 2000, p. 52.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Маркелов Е.Е., Галкин В.И., Преображенский Е.В.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Галкин В.И.

Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет), г. Москва

Аннотация. *В статье рассмотрено использование нейронной сети, предварительно обученной на результатах моделирования в CAE-системе, для анализа из-*

носа штамповой оснастки в процессе горячей объёмной штамповки. Предложенный подход позволяет повысить точность и эффективность процесса проектирования и сократить время, затрачиваемое на этапе технологической подготовки производства.

Ключевые слова: *искусственная нейронная сеть, горячая штамповка, износ штамповой оснастки, разработка ПО*

Повышение качества поковок, получаемых горячей штамповкой, является первостепенной задачей многих промышленных предприятий. Значительная часть производственных затрат зависит от срока эксплуатации штамповой оснастки: износ поверхности ручья постепенно приводит к снижению точности размеров поковки ниже установленных допусков, т. е. к непоправимому браку [1]. Поэтому разработка новых систем, в том числе базирующихся на принципах искусственного интеллекта, является актуальной и востребованной задачей.

Эксплуатационные характеристики штампов постепенно снижаются под влиянием высоких температур и механической нагрузки (рис. 1).

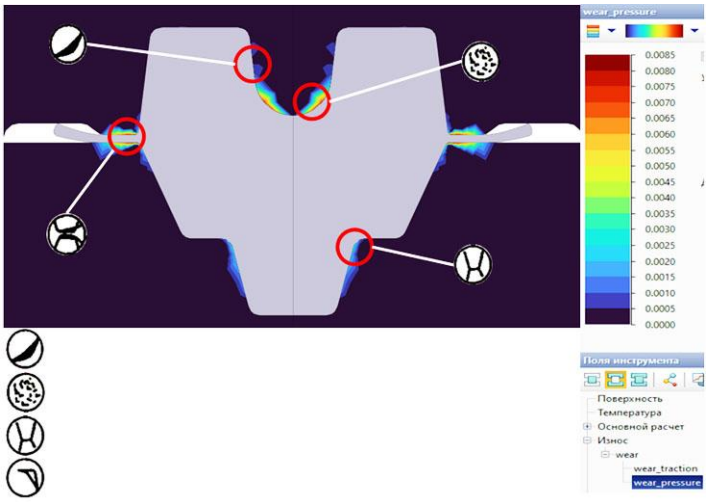


Рис. 1. Места повышенного износа на примере штамповки осесимметричной детали

Для решения данной проблемы и увеличения количества штампуемых деталей до ремонта оснастки в исследовании предлагается использовать разрабатываемый программный комплекс, автоматизирующий создание геометрии штамповой оснастки с использованием нейронных сетей. Предлагаемое программное обеспечение автоматически строит модель для анализа износа штамповой оснастки. Впоследствии данная модель загружается в специализированный модуль, в котором происходит расчет износа оснастки по уравнению Арчарда (закону Рейе-Арчарда-Хрущова) [2] с использованием метода конечных элементов. Тем самым, формируется исходный набор данных для обучения с учителем, включающий в себя геометрию ручья штампа и выявленные места с наибольшей вероятностью износа. В случае, когда моделирование показывает неудовлетворительные результаты, оснастка перестраивается с увеличенными припусками и напусками [3].

Проведение конечно-элементного анализа требует значительных затрат времени и усилий, поэтому для более быстрого принятия решений относительно конечного варианта ручья штампа предлагается применять элементы искусственного интеллекта. Используя данные, полученные в программном обеспечении QForm, выполнено обучение нейронной сети для прогнозирования износостойкости оснастки. Основными пара-

метрами входного слоя нейронной сети выбраны свойства материала, геометрия ручья штампа, основные технологические параметры процесса. Другие факторы, влияющие на износ, учитывались косвенно. Сверточные слои нейронной сети [4] самостоятельно находят признаки, которые существенно влияют на износ рабочих частей полости штампа (рис. 2).

Достоверность результатов подтверждена при помощи опытной штамповки детали из стали 12Х18Н10Т: величина износа поверхности штампов после изготовления запланированной партии поковок соответствует прогнозируемой [5].

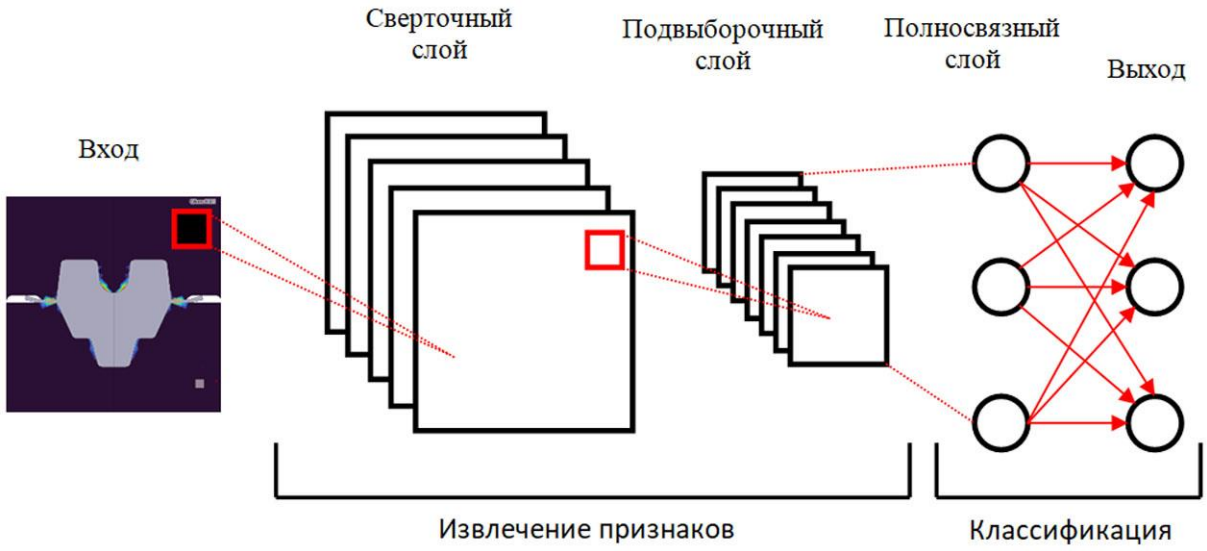


Рис. 2. Принципиальная схема нейронной сети
для определения признаков износа штамповой оснастки

Таким образом, проведенное исследование продемонстрировало, что нейронные сети, хотя и являются новой технологией, являются весьма перспективным инструментом и обладают большим потенциалом в области обработки металлов давлением [6]. Машиностроительные и металлургические предприятия смогут извлечь из нейросетей максимальную пользу и эффективно выполнить расчет и проектирование формы поковок так, чтобы обеспечить высокое качество поковок и износостойкость штамповой оснастки с минимальным ручным вмешательством или вообще без него. Позволяя решать задачи, связанные с оптимизацией, моделированием и прогнозированием процесса штамповки, нейронные сети уже сейчас могут автоматизировать интеллектуальный труд инженеров-технологов, что подтверждается представленным в исследовании программным комплексом. Разработанное приложение позволяет увеличить срок службы штамповой оснастки и сократить время принятия решения при проектировании конфигурации ручья штампа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Davoudi M., Nejad A.F., Koloor S.S.R., Petrů M. Investigation of effective geometrical parameters on wear of hot forging die, Journal of Materials Research and Technology, Volume 15, 2021, Pages 5221-5231, https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.10.093.

2. Lee S., Quagliato L., Park D., Kwon I., Sun J., Kim N. A New Approach to Preform Design in Metal Forging Processes Based on the Convolution Neural Network. Applied Sciences, 2021, 11 (17), 7948. https://doi.org/10.3390/app11177948.

3. Конечно-элементное моделирование технологических процессов ковки и объемной штамповки: учебное пособие / [А.В. Власов и др.]; под ред. А.В. Власова. – Москва: Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2019. 383 с.

4. Фостер Д. Генеративное глубокое обучение. Творческий потенциал нейронных сетей. «Издательский дом "Питер"», 2020, 352 с.

5. Маркелов Е.Е., Преображенский Е.В., Гончаров В.В., Галкин В.И. К вопросу совершенствования технологии горячей объёмной штамповки при изготовлении поковок для деталей ракетно-космической техники. Вестник НПО имени С.А. Лавочкина. 2023. № 4 (62). С. 111-117.

6. Schino D. Open die forging process simulation: a simplified industrial approach based on artificial neural network. AIMS Materials Science. 2021, Vol. 8, Issue 5, 685-697. https://doi.org/10.3934/matersci.2021041.

РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОЛЛОИДНЫХ СТРУКТУР С ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Медведева О.М., Ибрагимов А.Р., Мозер К.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Панфилова Е.В.

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

Аннотация. *В статье представлен алгоритм расчета времени процесса центрифугирования для формирования фотонно-кристаллических (ФК) пленок с контролируемой толщиной и оптическими свойствами.*

Ключевые слова: *фотонный кристалл, коллоидный раствор, коллоидная пленка, самоорганизация, центрифугирование, микросфера*

Коллоидные фотонные кристаллы считаются одним из наиболее перспективных классов материалов для применения в приборах оптического и микроволнового диапазонов. В настоящее время, интенсивно исследуются линейные и нелинейные оптические свойства коллоидных структур, фотоиндуцированное поглощение в них, изменения коэффициента преломления, а также вариации интенсивности, поляризации и когерентности, происходящие при прохождении через матрицы мощного когерентного излучения [1].

Одномерные ФК, позволяют получить запрещенные зоны и фильтрующие свойства для излучения, распространяющегося в одном направлении, перпендикулярном слоям материалов. Двухмерные ФК могут иметь запрещенные зоны для излучения, распространяющегося как в одном, двух направлениях, так и во всех направлениях данного ФК, которые лежат в плоскости. Особый интерес представляют трехмерные ФК, которые могут иметь запрещенные зоны в одном, нескольких или всех направлениях [2].

Сборка коллоидных частиц снизу вверх привлекает значительное внимание в последние десятилетия, поскольку позволяет экономично и гибко изготавливать однослойные или многослойные коллоидные пленки с заданной микроструктурой, которые имеют широкий спектр реальных и потенциальных применений, включая фотонные кристаллы, фотонные стекла, электронные устройства, чувствительные датчики, макропористые материалы и поверхностные покрытия со структурным цветом или определенной смачиваемостью (рис. 1) заключается в том, что коллоидный раствор,

содержащий взвешенные частицы определенного размера, заливается в пробирки, которые закрепляются на многопозиционном роторе и затем вращаются вокруг ее оси, предварительно установив параметры процесса (время и частота вращения). При вращении ротора за счет осаждения микросфер под действием центробежной силы образуется ФК пленка [3].

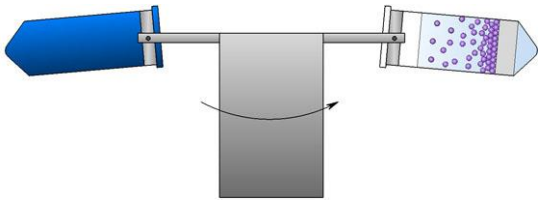


Рис. 1. Схема формирования опаловой структуры
классическим методом центрифугирования

Преимуществом рассматриваемой технологии является возможность воспроизводимого и эффективного получения одно- или многослойных фотонно-кристаллических коллоидных пленок с заданной микроструктурой за счет использования специально разработанного оборудования и соблюдения выбранных технологических режимов.

Эксперименты проводились на лабораторной центрифуге Elmi CM-6MT с максимальной скоростью вращения 3500 об/мин. Частицы, которые не образовали пленку, были удалены с поверхности образца с помощью процедуры Spin-Coating.

Существует физико-математический аппарат, описывающий процесс седиментации твердых частиц в жидкости в гравитационном поле, который можно адаптировать к осаждению в поле центробежных сил и рассчитать в некотором приближении частоту и время. Ниже представлены силы, действующие на частицу в коллоидном растворе (рис. 2).

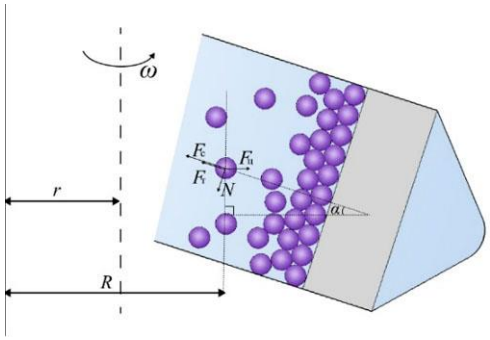


Рис. 2. Силы, действующие на частицу при центрифугировании

В работе [4] приведен алгоритм расчета времени осаждения частицы. Итоговая формула для расчета имеет следующий вид:

$$\tau = \frac{\varphi L}{4\pi n}\sqrt{\frac{3\rho 0\xi}{d(\rho-\rho 0)(L\cos\alpha + r)(\cos\alpha - \mu\tau\sin\alpha)}} \qquad (1)$$

где ρ – плотность частицы, кг/м^3; d – размер частицы, м; n – частота вращения, об/с; L – пройденное расстояние вдоль стенки сосуда, м; r – расстояние от оси вращения до верхней точки оси заполненной части сосуда, м; $\mu_т$ – коэффициент трения частицы о стенку сосуда; α – угол наклона паза для сосуда с суспензией в роторе центрифуги к горизонтальной плоскости (если в центрифуге сосуд подвешивается, то он при вра-

щении становится в горизонтальное положение и $\alpha = 0$); τ – время прохождения расстояния L, с.

Данный формула позволяет рассчитать время осаждения частицы, находящейся у границы раздела сред раствор-воздух, то есть показывает время осаждения всех частиц коллоидного раствора на подложку.

Чтобы высчитать время получения заданного количества слоев прежде всего необходимо рассчитать, сколько сфер находится в используемом объеме коллоидного раствора. Для этого надо найти массу одной частицы, а затем, зная массу используемого коллоидного раствора, определить количество частиц в нем:

$$N_ч = \frac{m_{р-ра}\omega}{m_ч} = \frac{6\rho_ч m_{р-ра}\omega}{\pi d_ч^3} \quad (2)$$

где $N_ч$ – количество частиц в коллоидном растворе; $m_{р\text{-}ра}$ – масса используемого коллоидного раствора, кг; ω – концентрация используемого коллоидного раствора, %; $m_ч$ – масса частицы коллоидного раствора, кг; $d_ч$ – диаметр частицы коллоидного раствора, м^3; $\rho_ч$ – плотность частицы коллоидного раствора, кг/м^3.

Таким образом, можно определить количество частиц необходимых для заполнения монослоя:

$$N_{пов} = \frac{S_{пов}}{S_ч k} = \frac{4S_{пов}}{\pi d_ч^2 k} \quad (3)$$

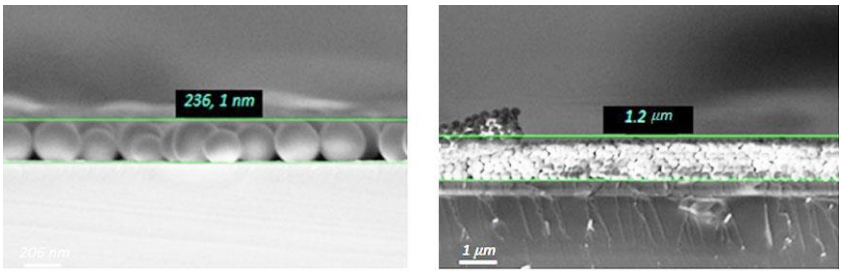
где $N_{пов}$ – количество частиц необходимых для заполнения монослоя на осаждаемой поверхности, шт; $S_{пов}$ – площадь осаждения, м^2; k – поправочный коэффициент плотности упаковки.

Тогда для осаждения желаемого количества слоев $n_ж$ необходимое время рассчитывается по формуле:

$$t = \tau \cdot \frac{n_ж}{N_{сл}} = \tau \cdot \frac{N_{пов} n_ж}{N_ч} \quad (4)$$

где t – необходимое время осаждения, мин; τ – время осаждения всех частиц, мин; $N_{сл}$ – максимальное количество слоев, которое можно получить, осадив все частицы раствора, шт.

В результате проведения экспериментов по данному алгоритму были получены фотонно-кристаллические коллоидные пленки с контролируемым количеством слоев (рис. 3).



а б

Рис. 3. Полученная ФК пленка: а – толщиной в 1 слой; б – толщиной в 5 слоев

Полученные методом центрифугирования в пробирках плёнки можно использовать для формирования функциональных композитных и инверсных структур изделий фотоники и оптоэлектроники.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ed. Fuxi Gan, Lei Xu. Photonic glasses // Imperial College Press, p. 460, 2006.
2. Войтова Т.А. Фотонные кристаллы, Москва, 2008.
3. Ermolin M.S. and Fedotov P.S. Separation and characterization of environmental nano- and submicron particles // Reviews in Analytical Chemistry, vol. 35, no. 4, pp. 185-199, 2016.
4. Золотарев К.В. Аналитический подбор частоты вращения ротора центрифуги и времени // Клиническая лабораторная диагностика, № 8, стр. 18-22, 2012.

ОБРАЗОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ ДОРОЖЕК КАРМАНА ПРИ ОБТЕКАНИИ ТЕЛ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Миндарова А.И.
Научный руководитель: к.т.н. Багаутдинова Л.Н.

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань

Аннотация. *В данной статье исследуется влияние геометрии тела на формирование вихрей в потоке жидкости. Были смоделированы процессы с различными геометрическими формами тел (цилиндр и шестигранник) и изучено, как они влияют на образование вихрей.*

Ключевые слова: *вихревые дорожки Кармана, обтекание тел*

Вихревые дорожки играют важную роль в формировании потока и могут оказывать влияние на аэродинамические характеристики тела. Исследование этого процесса имеет как практическое, так и теоретическое значение [1-3] и может помочь улучшить конструкцию технических объектов, подвергающихся обтеканию.

Цель данной статьи заключается в изучении процесса формирования вихревых дорожек кармана при обтекании тел различной геометрической формы. Задача-выяснить, как распределение вихревых структур в потоке зависит от формы тела.

Вихревые дорожки Кармана возникают при движении жидкости или газа вокруг препятствия. Они имеют форму специфического вихря, который образуется на границе между слоями разной плотности или скорости движения. Это позволяет жидкости или газу эффективно обтекать препятствие, минимизируя потери энергии [4].

На базе КНИТУ-КАИ были смоделированы две модели, которые представлены на рис. 1 и 2. Труба в двух моделях одинакова с размерами 4 × 21 м. На входе была одинаковая скорость потока глицерина – 0,5 м/с. Первая модель представляет собой трубку, в которой происходит обтекание цилиндра, а во второй – шестигранника.

При обтекании цилиндра жидкость сталкивается с препятствием, чем вызывает изменение скорости и направления потока вокруг тела. Последующее формирование вихрей возникает в результате неустойчивостей в потоке, особенно заметных в застойной зоне позади цилиндра. Эти вихри приводят к образованию вихревого следа, оказывающего влияние на давление и силы, действующие на цилиндр. Вихри, образующиеся позади цилиндра, создают зону пониженного давления, что приводит к тому, что цилиндр испытывает аэродинамическую силу сопротивления, направленную против движения [5].

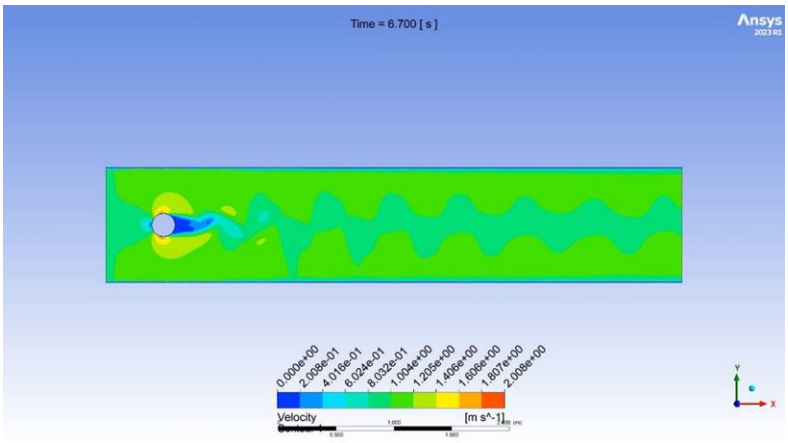


Рис. 1. Первая модель. Обтекание цилиндра

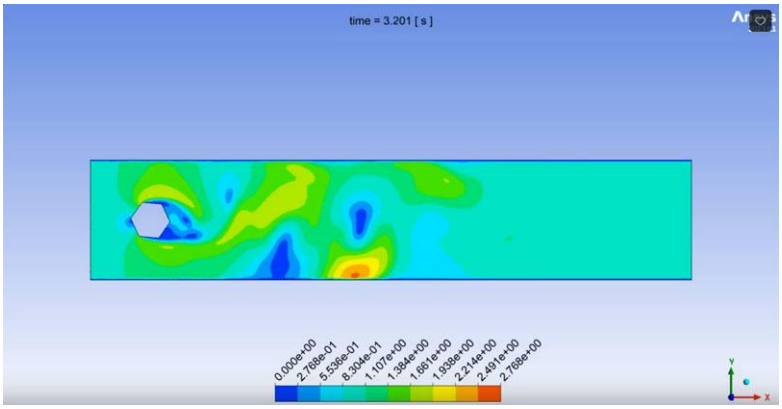


Рис. 2. Вторая модель. Обтекание шестигранника

Образование вихрей при обтекании шестигранника более сложно из-за особенностей его геометрии. Дополнительные углы и ребра шестигранника способствуют формированию дополнительных вихревых структур вокруг тела. Углы и ребра также оказывают влияние на переход потока из ламинарного в турбулентный режим.

Таким образом, геометрия тела оказывает значительное влияние на формирование вихревых структур в потоке. Различные формы тел вызывают разные типы и распределения вихрей, что приводит к различным аэродинамическим характеристикам.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Царева А.М., Макаева Р.Х., Сафина Д.М., Галимова Р.К. Диагностика разрушения крыльчатки обдува генератора газотурбинного двигателя методом голографической интерферометрии // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника, 2020. – № 2. – С. 172-175.

2. Басыров Р.Ш., Багаутдинова Л.Н., Гайсин Ф.М., Гайсин Аз.Ф., Зубарев И.Б. Моделирование электроразрядных процессов между частично погруженными металлическими электродами и электролитическим анодом // Материалы XIV Международной конференции по прикладной математике и механике в аэрокосмической отрасли (АММАI'2022). – М., 2022. – С. 304-306.

3. Gaysin F.M., Bagautdinova L.N., Gaisin A.F., Gaisin A.F., Mastyukov K.Sh., Zakirov D.U. Electroplasma Technologies for Cleaning, Polishing and Welding of Metals // Conference: 2023 Seminar on Microelectronics, Dielectrics and Plasmas (MDP), 2023.

4. Чайковский П.А., Петренко Ф.В. Вихри при обтекании геометрических тел: экспериментальное и численное моделирование // Журнал гидродинамики, 2018. – Т. 45, Вып. 2.

5. Смирнов И.И., Иванов А.С. Влияние геометрии тела на формирование вихрей в потоке жидкости // Сборник трудов конференции по гидродинамике. – М.: Изд-во. МЭИ, 2019. – С. 33-47.

СИНТЕЗ ТРЕХМЕРНЫХ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ

Миндарова А.И.
Научный руководитель: к.т.н. Багаутдинова Л.Н.

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань

Аннотация. *В данной статье рассматриваются методы получения трехмерных фотонных кристаллов и проведен сравнительный анализ этих способов.*

Ключевые слова: *фотонные кристаллы, методы получения*

Современные физики проявляют интерес к фотонным кристаллам. Благодаря своему строению, кристаллы проявляют уникальные свойства, которые и являются предметом исследования ученых. На сегодняшний день данную структуру изучают в лабораториях, где и синтезируют их методами, которые рассмотрены в этой работе.

Чтобы подробнее изучить способы получения трехмерных фотонных кристаллов, необходимо изучить научную литературу, выполнить анализ полученных данных.

Фотонные кристаллы – это материал с упорядоченной структурой, в которой области с различной диэлектрической проницаемостью чередуются с периодом длины волны света.

На сегодня существует много способов получения этих кристаллов, которые улучшаются и совершенствуются с каждым днем. В статье приведены самые распространенные и наилучшие методы синтеза трехмерного фотонного кристалла.

Самым простым способом является естественная седиментация частиц диоксида кремния. Суть этого метода заключается в том, что при испарении коллоидные частицы осаждаются в некотором объеме.

В данном подходе подложку устанавливают горизонтально на дне сосуда с суспензией микросфер. При этом преимущественно получаются гранецентрированная и гексагональная кристаллические решетки. Толщину получаемой пленки можно варьировать с помощью концентрации суспензии. Однако естественная седиментация занимает много времени, до нескольких месяцев [1].

При сотовом методе предусматривается фильтрование частиц диоксида кремния через маленькие поры. При данном подходе скорость формирования фотонных кристаллов зависит от скорости течения жидкости через поры. Но при высыхании образуются дефекты в кристаллах [2].

Если установить подложку, на которой осаждаются коллоидные частицы, вертикально в суспензии, то такой метод называется вертикальным. При данном способе качество полученных фотонных кристаллов зависит от таких параметров осаждения, как концентрации, растворителя, температуры и т. д. Чаще всего в качестве растворителя используют воду, этиловый спирт или их смесь при разных соотношениях. Площадь

кристалла можно изменять с помощью размера подложки, а толщину-концентрацией частиц в суспензии.

Эти методы синтеза трехмерного фотонного кристалла можно улучшить, если использовать дополнительные технологии. Ведь для получения запретных зон в коллоидных кристаллах необходим большой контраст коэффициентов диэлектрической проницаемости, а у диоксида кремния он мал. Поэтому сначала добавляют между частицами материал с большей диэлектрической проницаемостью, а после его вытравливают [3].

Стоит выделить метод синтеза фотонных кристаллов, в котором используется электрическое поле. Так при помощи электрофореза можно осаждать диоксид кремния на проводящую подложку. Здесь в основу легло то, что при приложении внешнего электрического поля происходит миграция заряженных частиц к электродам, то есть отрицательно заряженные частицы притягиваются к аноду, а положительно – к катоду.

Также одним из самых распространенных и дорогостоящих способов является нанолитография фокусированным пучком электронов, который дает высокоточный результат. На пластинке, на которую предварительно нанесены фоторезисторы, начинает формироваться пространственная маска за счет изменения структуры фоторезисторов, на которые действует пучок электронов.

Если заменить пучок электронов на ионный, то получается способ синтеза фотонных кристаллов, при котором отсутствует «эффект близости», ограничивающий минимально возможный размер области. Это происходит, потому что фоторезисторы более чувствительны к пучку ионов, чем электронов [4].

Суть голографического метода заключается в использовании интерференции трех и более когерентных волн. Так формируется периодические изменения коэффициента преломления в пространственных направлениях [5, 6].

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что существует несколько различных методов синтеза фотонных кристаллов. Каждый из них имеет свои особенности, преимущества и недостатки. Существующие методы синтеза фотонных кристаллов могут быть усовершенствованы с использованием новейших технологий и методик. Исследование синтеза фотонных кристаллов имеет важное значение для развития оптических и фотонных технологий [7, 8]. Понимание различных методов синтеза и их оптимизация могут привести к созданию более эффективных и функциональных фотонных кристаллов для различных практических применений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Vlasov Y.A., Bo X.-Z., Sturm J.C., and Norris D.J. On-chip natural assembly of silicon photonic bandgap crystals // Nature, Vol. 414, No. 6861, p. 289.

2. Cai M., Zong R., Li B. and Zhou J. ynthesis of inverse opal polymer films // Journal of Materials Science Letters, Vol. 22, No. 18, 2003, pp. 1295-1297.

3. Hynninen A.-P., Thijssen J.H.J., Vermolen E.C.M., Dijkstra M. and van Blaaderen A., Self-assembly route for photonic crystals with a bandgap in the visible region // Nature Materials 6, 2007, pp. 202-205.

4. Arshak K., Mihov M., Arshak A., McDonagh D., Sutton D. and Newcomb S.B. Negative resist image by dry etching as a surface imaging process using focused ion beams // J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 22, No 1, 2004, pp. 189-195.

5. Kundikova N.D. Rhombohedral photonic crystals by triple-exposure interference lithography: Complete photonic band gap. Nataliya D Kundikova, Yuri V Miklyaev, and Denis G Pikhulya. Optics Communications 2012, 285(6), P. 12381241.

6. Царева А.М., Макаева Р.Х., Сафина Д.М., Галимова Р.К. Диагностика разрушения крыльчатки обдува генератора газотурбинного двигателя методом голографиче-

ской интерферометрии. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2020. № 2. С. 172-175.

7. Mardanov R.R., Kayumov R.R., Akhatov M.F., Gazizova A.I., Gaisin A.F. Modification of the surface of polyethylene by low-temperature plasma and liquid electrodes // Journal of Physics: Conference Series. XI Scientific Technical Conference on Low Temperature Plasma during the Deposition of Functional Coatings. Bristol, 2020. С. 012028.

8. Каюмов Р.Р., Купутдинова А.И., Гайсин А.Ф. Электролитно-плазменное получение металлических порошков для аддитивного производства // Металловедение и термическая обработка металлов. 2024. № 1 (823). С. 36-42.

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ СЕГНЕТОАКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НИОБАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ И ФЕРРИТА ВИСМУТА: ПОЛУЧЕНИЕ, КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, ОСОБЕННОСТИ ЗЁРЕННОГО ЛАНДШАФТА

Мойса М.О.[1], Назаренко А.В.[2], Шилкина Л.А.[1], Дудкина С.И.[1]
Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор Резниченко Л.А.

[1]ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Научно-исследовательский институт физики, г. Ростов-на-Дону
[2]ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук», г. Ростов-на-Дону

Аннотация. *В статье представлены результаты исследования кристаллической структуры и зёренного ландшафта твёрдых растворов системы (Na, K, Bi)(Nb, Fe)O_3 в интервале концентраций x = 0,0…1,0.*

Ключевые слова: *ниобаты натрия-калия, феррит висмута, кристаллическая структура, микроструктура*

Требования к экологической безопасности крупномасштабных производств [1-3] сегнетоактивных материалов электронной техники мотивировали исследователей к созданию нетоксичных бессвинцовых материалов – альтернатив известным промышленно выпускаемым композициям с участием титаната – цирконата свинца (PZT). В настоящей работе рассмотрена одна из таких сред на основе ниобатов натрия – калия (KNN) и феррита висмута (BFO) [4].

Известная нетехнологичность KNN (гидролиз исходных веществ, высокая летучесть щелочных металлов уже при невысоких температурах) и BFO (структурная неустойчивость, обусловленная пограничным положением в перовскитовом семействе, термическая нестабильность) обусловили необходимость оптимизации условий приготовления твёрдых растворов (ТР) этой тройной системы.

В рамках классического метода получения сегнетопьезокерамических материалов (СПКМ) – твердофазного синтеза с последующим спеканием по обычной керамической технологии – на серии проб с вариацией температур и длительностей обжигов на каждой технологической стадии под рентгенографическим и микроструктурным контролем сформулированы реалистичные условия приготовления материалов, обеспечивающие их высокоплотность и беспримесность.

Построена фазовая диаграмма квазибинарного разреза исследуемой системы вида (1-x)(Na, K)NbO_3 – $x$$BiFeO_3$ (рис. 1).

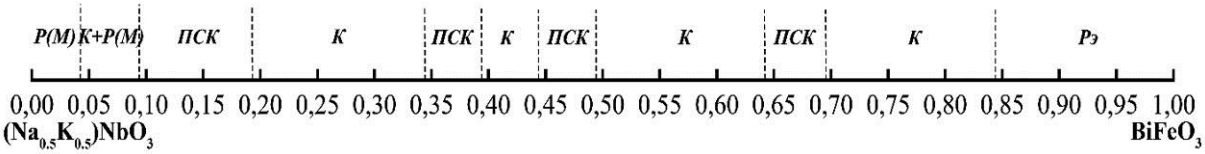


Рис. 1. Фазовая диаграмма квазибинарного разреза исследуемой системы (P(M) – ромбическая ячейка с моноклинной подъячейкой, ПСК – псевдокубическая фаза, К – кубическая фаза, Рэ – ромбоэдрическая фаза)

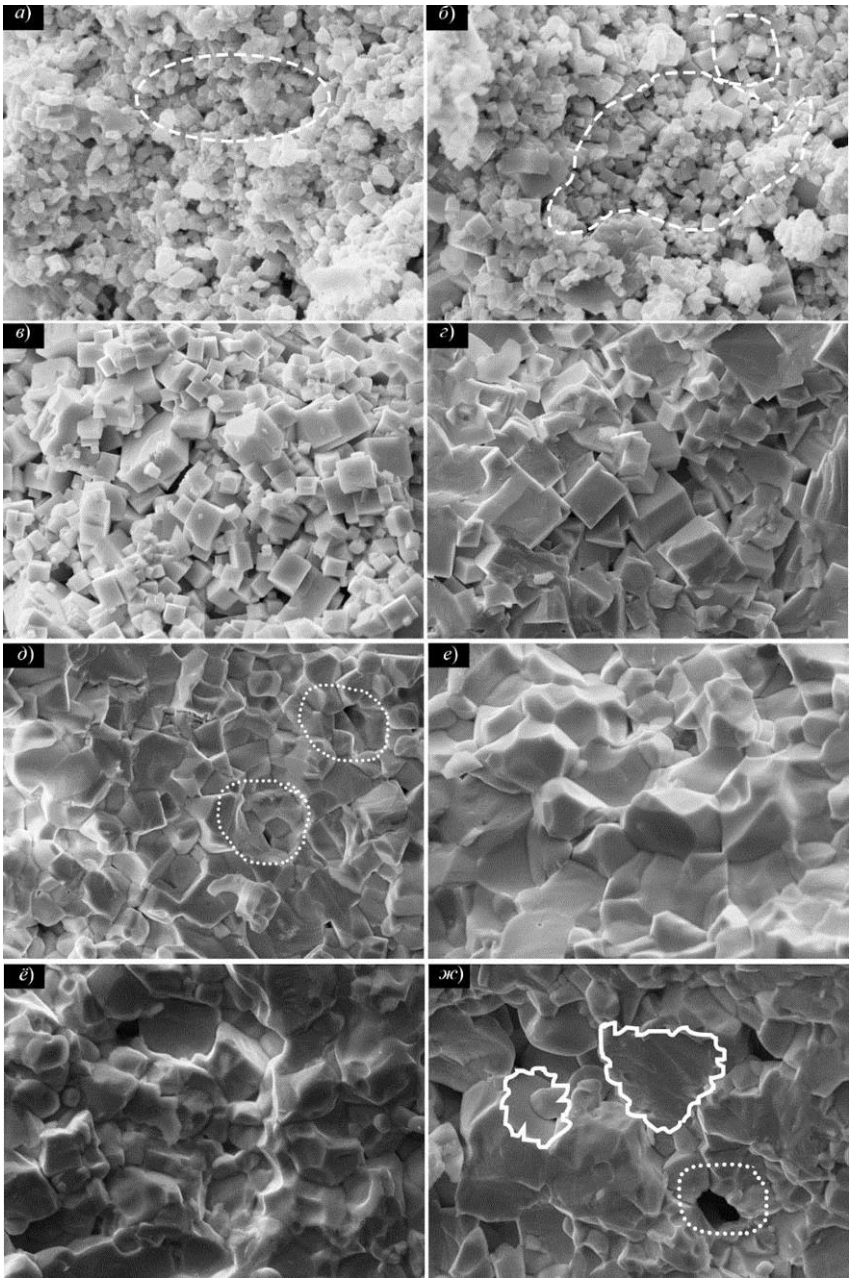


Рис. 2. Фрагменты микроструктуры ТР исследуемой системы с x = 0,10 (*а*), x = 0,20 (б) x = 0,30 (*в*), x = 0,40 (*г*), x = 0,60 (*д*), x = 0,65 (*е*), x = 0,80 (*ё*), x = 0,85 (*ж*) (увеличение ~х2000)

На рис. 2 показаны фрагменты микроструктуры исследованных ТР с x = 0,10…0,85. Общим для выбранных объектов является неоднородность зёренного ландшафта, выражающаяся в разбросе среднего размера зерен и агрегировании более мел-

ких кристаллитов с формированием неких ансамблей (выделены на рис. 2, а, б штриховыми линиями), их хаотической упаковке, местами рыхлой, с участками более плотных структур в виде кольцевых областей (рис. 2, д, ж, пунктирные линии), в захвате более крупными зёрнами мелких, слиянии крупных зёрен (рис. 2, ж, извилистые линии), различном габитусе зерен с присутствием кристаллитов правильной геометрической формы с чёткими прямолинейными границами, свидетельствующими об образовании в процессе рекристаллизационного спекания жидких фаз (рис. 2, а-е). Последние могут возникать из-за наличия непрореагировавших компонентов с низкими температурами плавления (например, Na_2CO_3 с $T_{пл}$ 1126 K, K_2CO_3 с $T_{пл}$ 1164 K, KOH с $T_{пл}$ 677 K, Bi_2O_3 с $T_{пл}$ 1098 K) и легкоплавких эвтектик в шихтах ниобатов щелочных металлов ($NaNbO_3$ с $T_{пл}$ 1260 K, $KNbO_3$ с $T_{пл}$ 1118 K).

На основе полученных данных выбраны ТР, перспективные для дальнейших комплексных исследований их диэлектрических, пьезоэлектрических и магнитных свойств.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Государственное задание в сфере научной деятельности. Проект № FENW-2023-0010/ГЗ0110/23-11-ИФ). «Мультикомпонентные интеллектуальные структуры: фазопереходные кроссинг-эффекты и стратегии ускоренного дизайна эко-систем для технологий цифрового проектирования устройств контроля параметров физических сред». Использовано оборудование Центра коллективного пользования Научно-исследовательского института физики Южного федерального университета «Электромагнитные, электромеханические и тепловые свойства твердых тел».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Directive 2002/95/EU of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electronic equipment // Official Journal of the European Union. L. 37. 2003. V. 46. P. 19-23.

2. Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment // Official Journal of the European Union. L. 174. 2011. V. 54. P. 88-110.

3. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Утв. УК Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642.

4. Павленко А.С., Мойса М.О. Магнитодиэлектрические свойства твердого раствора состава 0,20(Na0,5K0,5)NbO3 – 0,80BiFeO3 в диапазоне температур (300-573) К // Материалы XIX Ежегодной молодежной научной конференции. – Ростов н/Д.: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук», 2023. – Стр. 236.

ВНЕДРЕНИЕ ОСТРОВКОВЫХ НАНОСТРУКТУР В ГАЗОВЫЙ СЕНСОР

Наумова А.М.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Сидорова С.В.

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

Аннотация. *Рассмотрено технологическое и исследовательское оборудование для создания островковых наноструктур и исследования физических и геометрических*

параметров. Отработаны режимы формирования островкового слоя алюминия. Сформированы ОТП алюминия. Проведен полный факторный эксперимент.

Ключевые слова: *островковые тонкие пленки, островковые наноструктуры, газовый сенсор, MOS-сенсор*

Введение. Обнаружение и контроль различных вредных газов важны как для здоровья и безопасности человека, так и для защиты окружающей среды. Надежные, дешевые и небольшие газовые сенсоры пользуются большим спросом благодаря широкой области применения. Такие возможности для разработки сенсорных систем, которые могут обнаруживать чрезвычайно низкие концентрации газов, открывают полупроводниковые датчики на основе оксида металла (MOS-сенсоры). С каждым годом MOS-сенсоры набирают популярность, так как обладают высокой чувствительностью, но внедрение в эту технологию островковых наноструктур позволит уменьшить габариты изделия, повысить чувствительность, увеличить количество циклов работы. Эти возможности можно регулировать размерами островков и расстояниями между ними [1-5].

В качестве материала чувствительного слоя выбран алюминий из-за возможности образовывать на своей поверхности оксид, что исключает необходимость дополнительной операции в формировании оксидного слоя (рис.1).

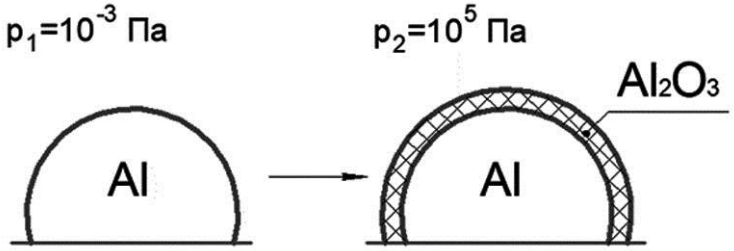


Рис. 1. Окисление островковой наноструктуры алюминия

Целью данной работы является отработка режимов формирования островковых тонких пленок (ОТП) для внедрения в газовый сенсор.

Технологическое и исследовательское оборудование. В качестве технологического оборудования для формирования островковых наноструктур используется МВТУ-11-1МС (рис. 2).

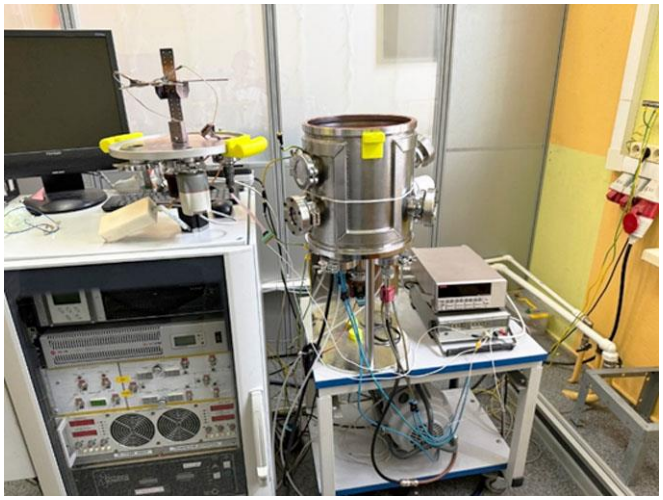


Рис. 2. Стенд контроля начальных стадий роста на базе установки МВТУ11-1МС

А для исследования характеристик, как физических, так и геометрических используется исследовательское оборудование. Для физических характеристик применяется пикоамперметр для контроля туннельного тока, а для геометрических – атомно-силовой микроскоп.

Собранный на базе вакуумной установки МВТУ11-1МС с использованием пикоамперметра стенд контроля начальных стадий роста предназначен для того, чтобы отконтролировать временные промежутки при формировании островковых наноструктур.

Отработка режимов формирования ОТП алюминия. Для возможности получения островковых тонких пленок требуемой топологии (латеральные размеры, расстояния между структурами) необходимо провести отработку режимов, определив время формирования, ток на источнике и геометрию технологической системы.

В результате отработки режимов были получены характеристические зависимости, которые имеют возрастающий характер, где выделены 4 характерные зоны.

При времени от 0 до 1 с идет разогрев спирали до необходимого значения тока на испарителе, заслонка закрыта, частицы алюминия не попадают на подложку, так как ударяются о закрытую заслонку, поэтому ток имеет малые значения – до 1 нА.

При времени от 1 до 7 с ток неравномерно возрастает от 1 до 65 нА, однако, характер роста не резкий, т. к. растет и количество островков, и происходит активное слияние (коалесценция) островков.

При времени от 7 до 13 с характер возрастания тока от 65 до 130 нА несколько меняется, происходит интенсивный рост островков с менее частыми этапами коалесценции, т. к. размеры островков уже большие и нет существенной миграции по подложке, происходит образование ОТП.

При времени от 13 с и более в результате активной коалесценции сами островки растут в размере, т. к. к ним поступают конденсирующиеся частицы, расстояния между островками заполняются новыми адатомами, значение тока не сильно колеблется и находится в диапазоне (130…145) нА.

Наиболее подходящими зонами для формирования островковых структур выбраны зоны до 7 и до 13 с, так как эти зоны характеризуются устойчивой коалесценцией.

Формирование ОТП алюминия. После подключения стенда контроля начальных стадий роста происходит нанесение ОТП алюминия при следующих режимах (Таблица):

Режимы формирования ОТП алюминия

№ образца	Время нанесения алюминия, с	Ток источника, А	Расстояние от источника до подложки, мм	Рабочее давление, Па
1	6	3,5	100	10^{-3}
2	12			
3	6	5		
4	12			

Было получено 4 образца по заданным режимам (рис. 3).

По отработанным режимам было решено провести полный факторный эксперимент, чтобы оценить влияние параметров на геометрию структур.

Обработка результатов эксперимента. На атомно-силовом микроскопе измерены латеральные размеры структур. Для того, чтобы измерить диаметры, на одной подложке выбирались три самых больших и крупных островка. Для каждого опыта используется одна подложка, на которой проводится по 3 измерения. В рамках одного вакуумного цикла осуществляется нанесение пленки на 1 подложку.

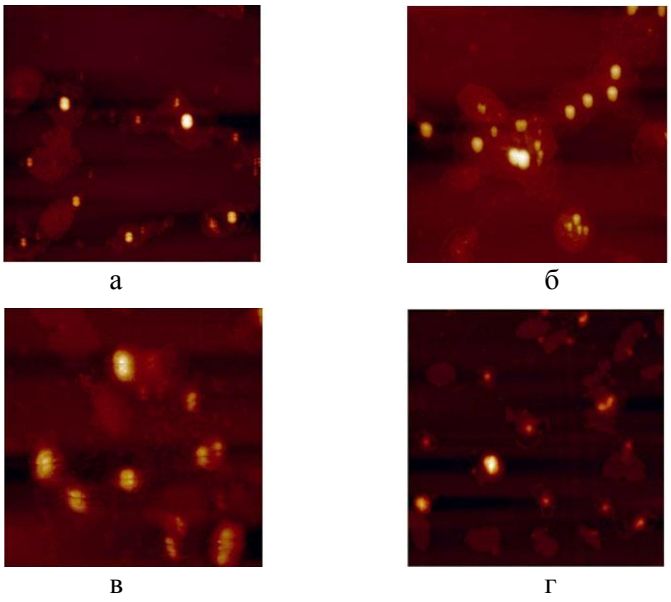


Рис. 3. Образец № 1 (а), образец № 2 (б), образец № 3 (в), образец № 4 (г)

Была получена зависимость:

$$\hat{Y} = 464 - 51X1 + 183X2 - 68X1X2,$$

где $X1$ – время процесса нанесения; $X2$ – ток источника; $X1X2$ – взаимодействие тока и времени.

На выходной параметр оказывают влияние как ток на испарителе и время нанесения, так и их взаимодействие.

Заключение. Поставлен и проведен полный факторный эксперимент, устанавливающий взаимосвязь латерального размера алюминиевой ОТП и времени процесса, тока на испарителе. Геометрические размеры ОТП оценены на атомно-силовом микроскопе и находятся в диапазоне от 263 до 766 нм.

В результате проведения эксперимента для отработки режимов формирования островкового слоя определено, что влияние на латеральный размер оказывает ток на испарителе, время нанесения и их взаимодействие:

При уменьшении времени до 6 с и уменьшении тока на испарителе до 3,5 А возможно получить наименьший латеральный размер структуры 263 нм. При уменьшении времени до 6 с и увеличении тока на испарителе до 5 А возможно получить наибольший латеральный размер структуры 766 нм.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Taposhree D., Tanzila N., Shawana T., Satyendra K.M. Road Map of Semiconductor Metal-Oxide-Based Sensors: A review // Sensors, 2023, Vol. 23 (15). – P. 6849.

2. Мокрушин А.С., Симоненко Е.П. Полупроводниковые металлооксидные газовые сенсоры: [Электронный ресурс]. URL: https://bigenc.ru/c/poluprovodnikovye-metallooksidnye-gazovye-sensory-3390e2. (дата обращения: 21.12.2023).

3. Walker J., Karnati P., Akbar S.A., Morris P.A. Selectivity mechanisms in resistive-type metal oxide heterostructural gas sensors // Sensors and Actuators B: Chemical, 2022, Vol. 355. – P. 131242.

4. Обвинцева Л.А. Полупроводниковые металлооксидные сенсоры для определения химически активных газовых примесей в воздушной среде. Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва имени Д.И. Менделеева), 2021, т. LII, № 2.

5. Sun Y.-F., Liu S.-B., Meng F.-L., Liu J.-Y., Jin Z., Kong L.-T., Liu J.-H. Metal Oxide Nanostructures and Their Gas Sensing Properties: A review // Sensors, 2012. Vol. 12 (3). P. 2610-31.

6. Сидорова С.В. Методы формирования тонких пленок: начальная стадия формирования // Справочник. Инженерный журнал. М.: Машиностроение, 2011. № 9.

ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ СТРОИТЕЛЬСТВА И СНОСА ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Амирханов М.Т.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Нехай Р.Г.

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар

Аннотация. *В данной статье рассматриваются проблемы для устойчивости обеспечения в области строительства. В настоящее время в мире мусор, образующийся во время строительства и сноса зданий, вносит значительный вклад в загрязнение окружающей среды, которые образуются при строительстве и разрушении зданий. Перспективным направлением является способ утилизации бытового мусора. Бытовой мусор, утилизируется в свалки, но этот мусор переполнить свалки, что приводит к вредному загрязнению воздуха и выбросам метана. Вдобавок, еще захоронение на свалках наносит вред окружающей среде.*

Ключевые слова: *отходы, утилизация, снос знаний, загрязнение*

При строительстве, реконструкции, ремонте и сносе домов, крупных строительных конструкций, дорог, мостов, причалов и плотин образуются строительные отходы. Древесина, сталь, бетон, гипс, каменная кладка, штукатурка, металл и асфальт – все это элементы отходов. Цемент, вода и заблаговременно образованная пена составляют пористый легкий бетон. Это вещество перемешивается и перекачивается в любую свободную емкость с определенной плотностью. Было проведено много благополучных изучений, посвященных отходам строительства и сноса зданий и легкому весу ячеистых материалов. Бетон для изготовления стабилизированных блоков. Строительные и демонтажные отходы, как правило, имеют большой вес, и их утилизация становится серьезной проблемой. Полное использование отходов утяжеляет блоки. Полное использование не будет экономичным и экологичным. Сочетание материалов и позволило сделать блоки более легкими, прочными, экономичными и экологичными.

Многовековая устойчивость экосистем и природной среды имеет важнейшее значение. Так как строительные отходы требуют использования природных ресурсов возникает потребность в образовании свалок. С целью изучения возможного использования отходов бетона в изготовлении бетонных блоков, с акцентом на тепловые и механические свойства, было проведено данное исследование. К механическим и термическим свойствам получаемых изделий было уделено особое внимание при изучении.

В изготовляемой продукции было отведено разное процентное соотношение бетонных отходов – 0, 5 и 15 %. Смеси были сформированы в виде кубов и проходили следующие исследования: на ультразвуковой импульс, плотность и прочность

на сжатие. Так же блоки были подвергнуты тепловым исследованиям. В ходе исследований выявили, что 15 %-я семь имела самую низкую температуру по сравнению с окружающей средой, так же, спустя время смесь имела высокие показатели плотности (~2300 кг/м^3) и прочности на сжатие (~40 МПа). 5 %-я смесь имела среднее качество исходя из показателей скорости пульсации (~4000 м/с).

Количество отходов от строительства и сноса зданий стремительно растет, нанося вред окружающей среде. Строительная отрасль может получить экономическую и экологическую выгоду, используя такие отходы, как вторичный заполнитель для бетона. Предметом данного исследования является возможность замены природного крупного заполнителя в конструкционном бетоне на вторичный заполнитель для бетона. Дробление и сортировка бетона для исследования свойств был использован щебень с различных х свалок и мест сноса зданий. В исследовании использовались следующие заполнители: дробленый бетон, доломит и природный песок из различных источников. В результате было изготовлено восемь групп, состоящих из пятидесяти различных бетонных смесей. Для изучения влияния использования суперпластификатора, кремнезема и дозировки цемента были созданы эти группы. Также изучалось качество и состав переработанных крупных заполнителей. В ходе исследования был выявлен на часть упругости, а также прочность на разрыв и сжатие Были продемонстрированы с помощью экспериментов, что бетонный мусор возможен в переработке в полезный заполнитель и использован со свойствами для изготовления бетона, благоприятными для большинства применений в конструкционном бетоне. Когда по сравнению с натуральным бетон, характеристика обработанного бетона из 100 % стали значительно снижение, в то время как свойства сделано из смеси не терпели никаких существенных изменений.

Соответственно, применение промышленных отходов в качестве строительного материала отображается хорошим и устойчивым способом получения эмансипировать от отходов и удерживать ресурсы для будущих поколений. Строительная отрасль ощущает все большее давление, при котором сокращения расходов и улучшения состояния окружающей среды. Целью данной статьи является исследование свойств экологически чистого легкого бетона, изготовленного из спеченного измельченного гранулированного доменного шлака и отходы от сноса зданий. Спеченные искусственные заполнители частично заменяют крупный заполнитель в бетоне, что улучшает механические свойства и долговечность легкого бетона.

В лабораторных условиях смесь щебня, строительных отходов, глины и коксовой мелочи спекали при температуре спекания от 1200° С до 1300° С в точных пропорциях для получения этих заполнителей. Спеченный Заполнители устойчивы к сульфатам, возгоранию и отличаются малым весом. Подготовленные легкие заполнители были подвергнуты испытаниям, и результаты были подтверждены в соответствии со спецификациями. Расчетные количества спеченного заполнителя были использованы для заменителя от 10 до 50 % от массы готовых смесей, и была проверена их пригодность для использования в конструкциях. Фундаментальные открытия, сделанные в ходе этого исследования, показали, что два вида отходов, может эффективно использоваться повторно в качестве неполной замены крупнозернистых смесей в составе смесевых смесей. Были проведены анализы и сравнения бетона со спеченными заполнителями и стандартного бетона. В заключение, по сравнению с бетоном, изготовленным на заполнителях из натурального гранита, заполнители, заменяющие их на 40 %, были эффективно использованы для легких строительных бетонных работ без ущерба для прочностных параметров.

Из-за того, что большое количество данных отходов вывозится на общественные свалки, а также в незаконные места, исследование возможности вторично-

го использования строительного мусора и материалов для сноса зданий вызывает особую озабоченность.

Поэтому в определенные моменты основное внимание уделяется утилизации промышленных отходов и вторичному использованию компонентов строительных материалов для создания новых продуктов. Это связано с тем, что, как и в других странах мира, страна никогда не будет жить в условиях безотходности, а строительство никогда не достигнет статуса безотходного. Направленность, с другой стороны, является одним из главных компонентов любой отрасли. Строительная деятельность показывает, что для становления общества важно сосредоточиваться на развитии общества по всем направлениям. Целесообразно уничтожать многие существующие сооружения, которые отслужили свой срок эксплуатации или нуждаются в замене. В связи с этим требуется решение, позволяющее использовать их экологически безопасно. Сброс промышленных отходов не только запрещен законом, но и вреден для окружающей среды. Поиск бессрочных и безопасных методов вторичного наиболее распространенного или утилизации материалов, при которых ничего не нужно будет выбрасывать или устранении противозаконно, является большой проблемой для проживающих людей в мире. В строительстве существует большое расхождение между спросом и предложением на натуральные материалы, которое можно сокращать благодаря переработке материалов и отходов при уничтожении зданий. Нужно сократить применение природных ресурсов в силу того, что обращение с отходами, их хранение и переработка предоставляют значительное воздействие на экологическое равновесие и вызывают усугубление состояния окружающей среды.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зильберова И.Ю., Нехай Р.Г., Овсянникова А.С. Определение частных критериев эффективности субподрядчиков при выполнении строительно-монтажных работ // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 4 (38). – С. 88.

2. Нехай Р.Г. Модели и алгоритмы повышения организационно-технологической надежности при планировании и организации строительного производства: автореф.. дис. … канд. техн. наук: 05.23.08 «Технология и организация строительства». – Ростов-на-Дону, 2016. – 22 с.

3. Мирина Е.В., Нехай Р.Г. Элементы реконструкции городской среды // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам 74-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2018 год, Краснодар, 26 апреля 2019 года / Ответственный за выпуск А.Г. Кощаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – С. 459-462.

4. Мирина Е.В., Нехай Р.Г. Элементы реконструкции городской среды // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам 74-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2018 год, Краснодар, 26 апреля 2019 года / отв. за выпуск А.Г. Кощаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – С. 459-462.

5. Нехай Р.Г., Резниченко С.М., Дегтярева О.Г. Прогрессивные методы отделки зданий и сооружений. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. – 130 с.

6. Молотков Г.С., Нехай Р.Г. Расчет и построение графиков производства работ в составе технологических карт: учеб. пособие. Краснодар: Типография Кубанского государственного аграрного университета, 2022. – 82 с.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ МЕТОДОМ ПРОДАВЛИВАНИЯ

Шелухин Д.О.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Нехай Р.Г.

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар

Аннотация. *Исследование, представленное в рамках данной статьи, освещает тему возведения подземной инфраструктуры с использованием техники продавливания. В работе детально представлен обзор технологий, указывается на их применение в зависимости от конкретных инженерно-геологических контекстов. Итак, обращая внимание на главные аспекты, метод продавливания выступает в качестве значимого подхода в деле проектирования и возведения тоннелей, особо акцентируя внимание на взаимодействии со свойствами грунтов. Данный метод предполагает применение особых технологий для преодоления сопротивления почвы, что является критическим фактором в успешности тоннельных работ. Существенным является глубокий анализ характеристик грунта при проектировании подобных подземных сооружений, так как именно они определяют выбор методологии продавливания.*

Ключевые слова: *метод продавливания, проектирование и строительство тоннелей, грунты*

Такие сооружения, как тоннели, являются ключевым элементом инфраструктуры в мегаполисах, способствуя непрерывности передвижения транспорта и людей, что в свою очередь снижает интенсивность уличных пробок и упрощает жизнь в городе. Различные методики применяются для формирования таких подземных конструкций, и здесь особо выделяется технология продавливания. На сегодняшний день, эта техника находит свое широкое применение при разработке тоннелей для авто, железнодорожного сообщения, пешеходов, а также метрополитенов, как в черте городов, так и вдоль ключевых транспортных артерий.

Применение техники продавливания оказывается наиболее эффективным в тех случаях, когда встречаются грунты, допускающие лёгкость разработки. В число таковых входят не только осушенные участки, насыпи и дисперсные материалы среднего уровня плотности. Однако, сталкиваясь со слабыми грунтами, насыщенными водой вблизи их залегания, необходимо проводить дополнительные мероприятия, как, например, заблаговременное осушение или снижение уровня грунтовых вод [1].

В основном, применяемый при сооружении коротких туннелей, протяженностью приблизительно 100-150 метров, метод продавливания также позволяет возведение подземных проходов до 300 метров и более. Таким образом, его использование не ограничивается лишь небольшими дистанциями.

В настоящий момент специалисты широко используют данный метод для возведения многочисленных тоннелей и переходов, расположенных под землей, на территории России, в странах Японии и различных государствах Европы [2].

При проведении тоннельных работ применяются секционные элементы самых разнообразных форм: их очертания бывают круглыми, арочными или же прямоугольными. Материалом служит монолитный либо предварительно напряженный железобетон. Размер секций часто колеблется в пределах двух-трех метров в длину, при этом их масса вполне может достигать двадцати тонн. Гидроизоляционное покрытие, изготавливаемое на производстве, присутствует на каждой из упомянутых секций. Это значит,

что на строительном объекте требуется исключительно проведение герметизации соединений между ними.

Технологии слияния сегментов представляют собой широкий спектр процедур: обеспечивают связь арматурных споров при помощи сварки, болтового фиксирования деталей, а также использование напряжённой арматуры для соединения и зажима вдоль оси. В контексте монтажа инженерных коммуникаций, где применяются трубы с параметрами в диапазоне 80-200 см в диаметре, используют материалы: сталь, железобетон, пластобетон и различные полимеры, отдавая предпочтение элементам с длиной от 1,5 до 3 метров. Наборы механизированного оборудования, предназначенные для прессования трубных элементов, включают в себя множество устройств и агрегатов: от ножевых секций до установок для подвижки горных пород; краны для погрузки секций форм, стройматериалов, оборудования и доставки их к точке строительства туннеля, а также для выемки и выноса породы на поверхность посредством вагонеток или специализированных контейнеров, упомянуто в источнике [3].

Специально предназначенный комплекс аппаратуры, схожий по назначению с тем, что задействован в обработке горной массы на проходческом фронте, выполняющий функцию резки, интегрирован с верхними частями туннельной опоры. Это оборудование важно для формирования контуров подземных проходов путем резки горной субстанции. Породовый сбор на лицевой части забоя выполним различными способами: включая ручные действия с применением отбойников, пневматических шпателей, так и посредством автоматизации с встраиваемыми карусельными либо стрельчатыми приборами, обладающими разрушительной способностью по отношению к породе. В некоторых случаях вместо данной секции техники используются автоматизированные проходческие щиты или так называемые тоннелепроходческие машины. Перемещение сформировавшихся отходов осуществляется руками или специализированным погрузочным оборудованием, дабы переместить породу на транспортные системы – конвейеры или подвижные тележки – последующим транспортированием к месту разгрузки [4]. Затем, порода с помощью подъемных механизмов извлекается из тележек или контейнеров на поверхность, где-либо очищается в принимающие бункеры, либо направляется прямо в грузовые транспортные средства – самосвалы, для доставки к местам сброса. Сцепление отдельных сегментов туннельной опоры с уже установленными составляющими достигается путем их продвижения к лицевой стороне с применением расположенных по периметру гидравлических подъемников. В завершение, после установки опорных элементов штоки подъемников возвращаются в исходное положение.

Следовательно, на данный момент существует обширный научный фундамент для прогрессирования в области проектирования и возведения тоннелей, а также подземных переходов с использованием методики прокладки путём продавливания.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Нехай Р.Г., Резниченко С.М., Дегтярева О.Г. Прогрессивные методы отделки зданий и сооружений. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. – 130 с.

2. Нехай Р.Г. Метод усиления основания фундаментов для увеличения этажности при реконструкции здания // Современное оборудование, методы инструментального обследования и усиления зданий и сооружений: сборник статей по материалам конференции архитектурно-строительного факультета, Краснодар, 26 мая 2023 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. – С. 76-80.

3. Нехай Р.Г., Резниченко С.М., Молотков Г.С. Прогрессивные методы отделки зданий и сооружений: учебное пособие. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2022. – 120 с.

4. Молотков Г.С., Нехай Р.Г. Расчет и построение графиков производства работ в составе технологических карт: учебное пособие. – Краснодар: Типография Кубанского государственного аграрного университета, 2022. – 82 с.

ПОЛИМЕРНЫЕ НАНОВОЛОКНА

Мааруф И.К.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Нехай Р.Г.

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар

Аннотация. *Целью данной научной статьи является описание полимерных нановолокон.*

Ключевые слова: *полимерные, нановолокна, волокна*

Полимерные нановолокна – это ультратонкие волокна, диаметр которых составляет несколько сотен нанометров или меньше. Производство таких волокон возможно благодаря методам, таким как электроформование, где высокое напряжение применяется к полимерному раствору, вызывая его растяжение и образование ультратонких волокон при испарении растворителя.

Используются в разных сферах:

Медицина и Биотехнологии

– Тканеинженерия и регенеративная медицина: нановолокна используются в качестве скелетов для выращивания клеток, имитируя экстрацеллюлярный матрикс для регенерации тканей, включая кожу, костные и сердечные ткани [1].

– Доставка лекарств: нановолокна могут инкапсулировать активные фармацевтические ингредиенты, обеспечивая контролированное высвобождение лекарств.

– Раневые покрытия: используются благодаря их высокой абсорбционной способности, барьерным свойствам и способности поддерживать влажную среду.

Охрана Окружающей Среды и Фильтрация

– Водоочистка: нановолоконные фильтры могут улавливать микроорганизмы, тяжелые металлы и другие загрязнители из загрязненной воды.

– Фильтрация воздуха: высокоэффективные фильтры на основе нановолокон используются для удаления частиц пыли, аллергенов и микроорганизмов из воздуха [2].

Плюсы полимерных нановолокон:

1. Высокая удельная поверхность: благодаря своей наноразмерной морфологии, эти волокна обладают значительно большей удельной поверхностью по сравнению с макроволокнами. Это позволяет улучшить адсорбцию, каталитические характеристики и иные поверхностно-зависимые свойства.

2. Высокая пористость: нановолокна могут образовывать маты с высокой пористостью, что идеально подходит для фильтрационных приложений, тканей для раневых покрытий и материалов для доставки лекарственных средств [3].

3. Гибкость приложений: путём модификации состава и структуры полимерных нановолокон, можно разрабатывать материалы с желаемыми оптическими,

механическими, химическими и биологическими свойствами для широкого спектра применений, включая биомедицину, электронику, охрану окружающей среды и энергетику.

Минусы полимерных нановолокон:

1. Вызовы в Производстве: Производственные технологии, такие как электроформование, требуют точного контроля параметров процесса для получения волокон желаемого качества и размера.

2. Стабильность и Прочность: Некоторые полимерные нановолокна могут быть подвержены высокому уровню деградации под воздействием окружающей среды или механических нагрузок, что ограничивает их применение в определенных областях [4].

Вывод полимерные нановолокна представляют собой захватывающий класс материалов с впечатляющими свойствами и потенциалом для инновационных применений в различных областях. Их уникальная комбинация высокой удельной поверхности, пористости и гибкости в том, касается функциональных возможностей, делает их мощным инструментом в нанотехнологии. Однако вызовы, связанные с масштабированием производства и некоторыми аспектами стабильности и прочности, требуют дальнейших исследований и разработок. Несмотря на эти вызовы, постоянное улучшение технологий и материаловедения вероятно будет способствовать продолжающемуся расширению областей применения полимерных нановолокон.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Нехай Р.Г., Скобелева А.Ю. Оптимальное функциональное зонирование берегового пространства // Строительство и экономика: проблемы и решения: сб. ст. по материалам региональной науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, магистрантов и преподавателей, 21 марта 2018 г. – Краснодар: ООО «Экоинвест», 2018. – С. 61-62.

2. Зильберова И.Ю., Нехай Р.Г., Овсянникова А.С. Определение частных критериев эффективности субподрядчиков при выполнении строительно-монтажных работ // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 4 (38). – С. 88.

3. Нехай Р.Г. Модели и алгоритмы повышения организационно-технологической надежности при планировании и организации строительного производства: специальность 05.23.08 «Технология и организация строительства»: автореф. дис. … канд. техн. наук. – Ростов-на-Дону, 2016. – 22 с.

4. Нехай Р.Г., Резниченко С.М., Молотков Г.С. Прогрессивные методы отделки зданий и сооружений: учебное пособие. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. – 130 с.

ЭЛЕКТРОХРОМНЫЕ СТЁКЛА

Якимов В.Е.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Нехай Р.Г.

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар

Аннотация. *Целью данной научной статьи является описание инновационного строительного материала – умного стекла.*

Ключевые слова: *инновация, материалы, умное стекло, электричество*

Инновационные строительные материалы — это материалы, разработанные с использованием новейших технологий и инженерных решений для улучшения эксплуатационных характеристик, повышения энергоэффективности и устойчивости зданий. Они также открывают возможности для широкого спектра строительных решений. С их помощью человек открывает для себя возможность совершенствования жизнедеятельности и достижения самых смелых идей.

Новые материалы разрушают рамки привычного в строительстве и стирают границы во многих аспектах отрасли. Уклон в изучении инновационных материалов делается на повышение функциональности, эффективности, снижение материалоёмкости и затрат в процессе их производства, ускорении этапов строительства, понижении себестоимости строительных объектов и услуг, повышение безопасности жизни людей, уменьшения негативного влияния на природу и окружающий мир и многое другое [1].

С самого начала человечество пыталось защитить себя от излишеств природы и использовать их для удовлетворения своих постоянно растущих потребностей. Солнечный свет – один из самых важных элементов нашего существования, но он также и вреден. Со временем человечество приспособилось к этим условиям и увеличило использование природных ресурсов. Для борьбы с избыточным теплом и светом были разработаны умные стекла. Умное стекло, также известное как электрохромное, может менять свою прозрачность, пропускать или блокировать свет в зависимости от встроенного электрического сигнала. Такие стекла широко используются в зданиях, где требуется яркость и уровень освещенности, но при этом необходима регулируемая приватность и тепловой контроль, а также в современных автомобилях для более комфортной и безопасной езды.

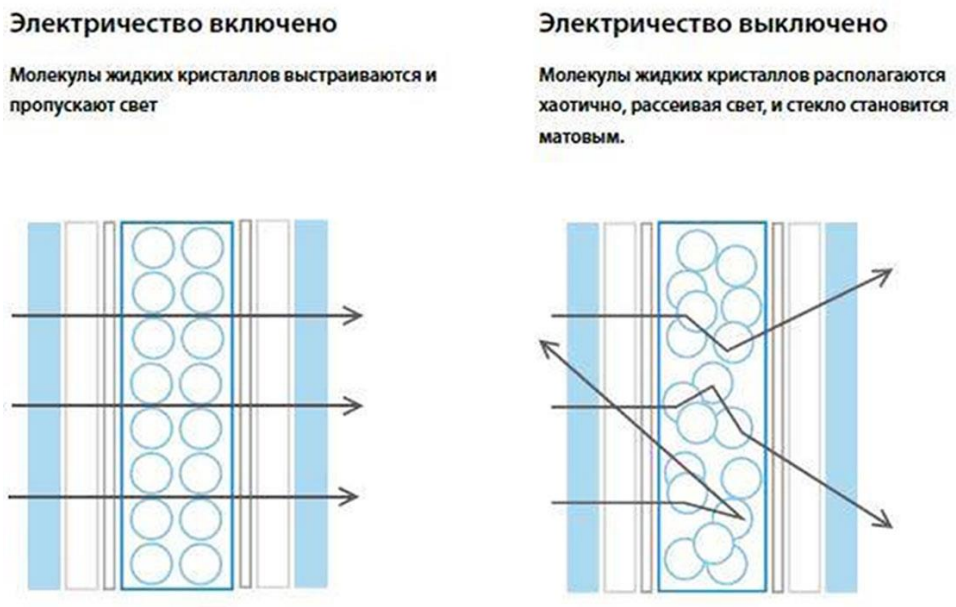


Рис. 1. Принцип работы умного стекла

Основным принципом электрохромного стекла является электрохромизм (способность некоторых материалов изменять свое оптическое состояние при воздействии электрического напряжения). В электрохромных стеклах используются пленки, содержащие электрохромные вещества, которые реагируют на электрический ток [2].

Когда на электрохромное стекло подается электрический сигнал, электрохромный материал внутри стекла меняет свой химический состав и оптические свойства. При включении тока стекло становится непрозрачным или темным и блокирует прохождение света.

При выключении тока стекло вновь становится прозрачным и пропускает свет. Изменяя напряжение, можно добиться промежуточных уровней прозрачности.

В настоящее время использование смарт-стекла особенно актуально при строительстве высотных зданий и сооружений. В высотных зданиях они могут использоваться в качестве естественного источника света и энергии. Электрохромное стекло при эффективном подходе и управлении создает максимально комфортные условия для пользователей здания, уменьшая нежелательное тепло, блики и отражения [3].

Преимущества электрохромного стекла следующие:

1. Регулируемая конфиденциальность: Электрохромное стекло может использоваться для управления прозрачностью и обеспечения конфиденциальности интерьера без необходимости использования дополнительных штор или жалюзи.

2. Контроль света: электрохромное стекло может контролировать количество света, проходящего через окно, эффективно регулируя освещенность внутреннего пространства и снижая затраты на электроэнергию, связанные с искусственным освещением.

3. Контроль солнечного излучения: электрохромное стекло отфильтровывает ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, уменьшая попадание прямых солнечных лучей и поддерживая комфортную температуру в помещении.

4. Дизайн и эстетика: Электрохромное стекло может быть интегрировано в архитектурные элементы, такие как окна, перегородки, фасады и двери, придавая им современный и элегантный вид.

5. Экономия. Использование «умных» материалов позволяет сэкономить на потреблении электроэнергии и значительно снизить теплопотери.

6. Безопасность. Пленка является экологически чистой, а такое стекло гораздо прочнее обычного, не боится сколов, трещин, царапин и других механических воздействий.

Рис. 2. Эффект использования умных стёкол

Умное стекло с изменяющейся прозрачностью предполагает четыре уровня прозрачности: от слегка затемненного, среднего и прозрачного до полностью затемненного. Система работает от низкого напряжения, для ее работы необходим трансформатор и соответствующая проводка. Регулировка яркости осуществляется с помощью переключателей, которые посылают сигналы на панель управления, которая, в свою очередь, посылает электрические импульсы на определенные оконные стекла с помощью кабелей, прикрепленных к системе оконных рам [4]. Они подключаются к соединительной клеммной коробке возле окна. Это упрощает процесс изменения прозрачности, которая зависит от типа и размера используемого стекла, а также от внешней температуры. Его можно также автоматизировать с помощью различных датчиков.

Электрохромное стекло пока не получило широкого распространения (сказывается и стоимость системы), но это перспективное решение для создания «умных», энергоэффективных зданий. Оно отличается удобством и функциональностью, а прозрачность и светопропускание можно регулировать в зависимости от потребностей пользователя и условий окружающей среды.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мирина Е.В. Элементы реконструкции городской среды / Е.В. Мирина, Р.Г. Нехай // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам 74-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2018 год, Краснодар, 26 апреля 2019 года / Ответственный за выпуск А.Г. Кощаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – С. 459-462.

2. Nehay R.G. The resources vertical aggregation model in the construction and installation works planning / R.G. Nehay, G.S. Molotkov, A.P. Grinev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development», Kislovodsk, 01-05 октября 2019 года. Vol. 698, 6. – Kislovodsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 066019.

3. Матвиченко А.А. Анализ систем управления проектами. Их многообразие, назначение, плюсы и минусы программных комплексов для решения определенных задач / А.А. Матвиченко, Р.Г. Нехай // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам 74-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2018 год, Краснодар, 26 апреля 2019 года / отв. за выпуск А.Г. Кощаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – С. 456-459.

4. Нехай Р.Г. Совместное использование программных комплексов Stark ES и Лира для расчетов строительных конструкций / Р.Г. Нехай, Е.В. Мирина // Строительство и экономика: проблемы и решения: Сб. ст. по материалам региональной науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, магистрантов и преподавателей, 21 марта 2018 г. – Краснодар: ООО «Экоинвест», 2018. – С. 92-95.

ГЕОПОЛИМЕРЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Симоненко Н.А.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Нехай Р.Г.

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар

Аннотация. *Данная статья посвящена исследованию геополимеров как инновационных строительных материалов и их значимости для современного строительства. В статье рассматривается понятие геополимеров, их основные характеристики, особенности применения в различных сферах строительства. Также проанализированы современные технологии и методы работы с геополимерами, а также прогноз развития этих материалов и их потенциальное влияние на строительную индустрию в будущем.*

Ключевые слова: *геополимеры, строительство, инновационные материалы, технологии, применение, прочность, экологичность, сфера применения*

Актуальность использования инновационных строительных материалов в современном строительстве обусловлена несколькими факторами:

1. Экологическая устойчивость: инновационные строительные материалы часто обладают меньшим негативным воздействием на окружающую среду. Они могут быть более энергоэффективными, экологически безопасными и уменьшать выбросы вредных веществ в атмосферу [1].

2. Энергоэффективность: новые материалы способствуют повышению энергоэффективности зданий. Они могут обеспечить лучшую тепло- и звукоизоляцию, уменьшая потребление энергии на обогрев и кондиционирование помещений.

3. Прочность и долговечность: инновационные материалы могут обладать улучшенными свойствами прочности и долговечности, что позволяет создавать более надежные и долговечные конструкции.

4. Улучшение качества строительства: использование новых материалов позволяет улучшить качество строительства, повысить эстетические характеристики зданий и сооружений, а также обеспечить их лучшую износостойкость.

5. Инновационные технологии: разработка и применение новых строительных материалов часто связана с использованием современных технологий, что способствует развитию отрасли и повышению конкурентоспособности строительных компаний.

Геополимеры – это специальный класс неорганических полимерных материалов, обладающих уникальными характеристиками и свойствами. Они реализуются путем активации химической реакции между алюмосиликатными соединениями и щелочным раствором [2]. Главными компонентами геополимеров являются сырье, щелочной активатор и реагенты для ускорения процесса полимеризации.

Основные характеристики геополимеров:

1. Прочность: Геополимеры отличаются высокой прочностью, что делает их прочными и устойчивыми к механическим воздействиям.

2. Устойчивость к различным воздействиям: Эти материалы обладают хорошей устойчивостью к агрессивной среде, химическим веществам, воде и ультрафиолетовому излучению.

3. Экологичность: Производство геополимеров в основном основано на использовании природных сырьевых материалов, что делает этот материал экологически чистым и устойчивым.

4. Энергоэффективность: Геополимеры могут использоваться для создания изоляционных материалов с высокой теплоизоляционной способностью, что способствует энергосбережению.

5. Скорость затвердевания: Геополимеры имеют быстрое время затвердевания, что сокращает сроки строительства и ускоряет процессы технологического цикла.

Использование геополимеров в строительстве позволяет повысить качество конструкций, снизить затраты на строительство, сделать процессы строительства более экологически чистыми и энергоэффективными [3].

Геополимеры в строительстве дорог: вместо традиционных асфальтовых покрытий геополимерные материалы могут быть использованы для создания более прочных и долговечных дорожных покрытий. Они обладают высокой устойчивостью к износу, влаге и температурным изменениям, что делает их привлекательным выбором для дорожного строительства.

Геополимеры в здании строительстве: геополимерные материалы могут быть использованы для создания стен, перекрытий, фундаментов и других элементов зданий.

Они обладают хорошей прочностью, теплоизоляцией и устойчивостью к внешним воздействиям, что способствует созданию долговечных и энергоэффективных зданий.

Применение геополимеров в строительстве аэродромов: геополимеры могут быть использованы для создания аэродромных покрытий, включая ВПП, рулежные дорожки и стоянки. Их высокая прочность, устойчивость к воздействию авиационных жидкостей и водоотталкивающие свойства делают их идеальным выбором для аэродромного строительства. Перспективы применения геополимеров в современном строительстве являются значительными, и дальнейшее исследование и развитие этого направления могут принести значительные выгоды для отрасли. Эти материалы могут быть успешно применены в различных сферах строительства, включая дорожное строительство, создание мостов, зданий и аэродромов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мирина Е.В. Элементы реконструкции городской среды / Е.В. Мирина, Р.Г. Нехай // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам 74-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2018 год, Краснодар, 26 апреля 2019 года / Ответственный за выпуск А.Г. Кощаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – С. 459-462.

2. Матвиченко А.А. Анализ систем управления проектами. Их многообразие, назначение, плюсы и минусы программных комплексов для решения определенных задач / А.А. Матвиченко, Р.Г. Нехай // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам 74-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2018 год, Краснодар, 26 апреля 2019 года / Ответственный за выпуск А.Г. Кощаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – С. 456-459.

3. Прогрессивные методы отделки зданий и сооружений: учебное пособие / Р.Г. Нехай, С.М. Резниченко, О.Г. Дегтярева; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина. – Краснодар: КубГАУ, 2023. – 129 с.

БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Чуевский В.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Нехай Р.Г.

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар

Аннотация. *Целью данной научной статьи является описание биоразлагаемых материалов.*

Ключевые слова: *инновация, материалы, биоразложение, экология*

Биоразлагаемые материалы – это материалы, которые разлагаются естественным образом в результате взаимодействия с микроорганизмами и окружающей средой. Они изготавливаются из растительного или животного сырья, такого как крахмал, целлюлоза, растительные масла и биополимеры. Возможность перерабатывания строительных материалов позволяет уменьшить затраты на утилизацию и объём отходов в целом.

Ниже перечислены некоторые свойства и преимущества биоразлагаемых материалов:

1. Экологическая устойчивость: Биоразлагаемые материалы более экологичны, чем традиционные материалы на основе нефти и пластика. Они разлагаются на органические компоненты, не оставляя долгосрочных отходов и не загрязняя природу.

2. Уменьшение количества отходов: биоразлагаемые материалы уменьшают количество отходов и помогают решить проблему переполненных свалок. Биоразлагаемые материалы распадаются и включаются в естественные природные процессы, тем самым снижая негативное воздействие на окружающую среду и сохраняя природные ресурсы.

3. Устойчивое производство: Биоразлагаемые материалы могут производиться из возобновляемых ресурсов, таких как растения, что повышает устойчивость производства и снижает зависимость от невозобновляемых ресурсов, таких как нефть.

4. Разнообразие сфер применения: биоразлагаемые материалы могут использоваться в самых разных областях, включая упаковку, одежду, посуду, медицинские приборы и сельское хозяйство [1]. Это дает возможность заменить традиционные пластики и материалы на основе нефти устойчивыми альтернативами.

5. Улучшение углеродного следа: Использование биоразлагаемых материалов позволяет сократить выбросы парниковых газов и улучшить углеродный след. Биоразлагаемые материалы при разложении выделяют гораздо меньше углекислого газа, чем обычные материалы, что способствует экологически чистому производству и потреблению.

Модель дома будущего из биополимерных строительных материалов

Примером применения биоразлагаемых материалов в строительстве является биополимерное покрытие на основе крахмала, которое может использоваться в качестве альтернативы традиционным полимерным покрытиям [2].

Такие покрытия по своим свойствам схожи с традиционными полимерами, но при этом являются биоразлагаемыми. Основным компонентом таких покрытий является крахмал, получаемый из растительных источников, таких как кукуруза, картофель и пшеница.

В строительной отрасли биоразлагаемые покрытия на основе крахмала применяются следующим образом:

1. Упаковка: биоразлагаемые пленки на основе крахмала могут использоваться для упаковки строительных материалов, таких как керамическая плитка, окна и двери, а также строительного оборудования и инструментов

2. Защита: Покрытия на основе биоразлагаемого крахмала могут использоваться для защиты бетонных и деревянных поверхностей от влаги и агрессивных веществ, а также для повышения водостойкости.

3. Изоляция: Эти покрытия могут использоваться для тепло- и звукоизоляции стен и крыш зданий.

4. Эстетическое улучшение: биоразлагаемые краски на основе крахмала могут быть окрашены в различные цвета и текстуры, что улучшает эстетику и дизайн зданий.

Переработка биоразлагаемых строительных материалов – важный шаг на пути к сокращению экологического следа строительной отрасли. Биоразлагаемые материалы на основе растительных и животных компонентов, такие как дерево, бумага, черепица и тростник, способны разлагаться под воздействием микроорганизмов и бактерий в природе.

Одним из методов переработки биоразлагаемых строительных материалов является компостирование. Этот процесс основан на создании специальных условий (температура, влажность, доступ кислорода) для разложения органических материалов под воздействием микроорганизмов. В результате компостирования биоразлагаемые материалы превращаются в питательный компост, который можно использовать в качестве удобрения для садов и огородов [3].

Многие организмы способны разлагать природные полимеры. Обычно после того, как начальная деградация полимера произошла под действием физических процессов, микроорганизмы берут то, что осталось, и расщепляют компоненты на более простые единицы. Эти ферменты разрушают полимеры различными способами, включая окисление и гидролиз. Примерами основных ферментов являются протеазы, эстеразы, гликозидазы и марганцевые пероксидазы.

Еще один способ утилизации биоразлагаемых строительных материалов – использование их для производства биогаза. Биоразлагаемые отходы разлагаются анаэробно (в отсутствие кислорода) с образованием биогаза – смеси метана и углекислого газа, которая может быть использована в качестве источника энергии.

Использование биоразлагаемых материалов в строительстве позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду, уменьшить образование отходов и снизить зависимость от традиционных полимеров на основе нефти. Они также востребованы в медицине, бытовой утвари, сельском хозяйстве. Однако, прежде чем использовать такие материалы, их качество и долговечность должны быть должным образом изучены и протестированы, чтобы убедиться в их безопасности и эффективности для использования в строительстве.

Следует отметить, что использование биоразлагаемых материалов также имеет свои ограничения и ставит ряд проблем, таких как необходимость создания специальных условий для разложения и более высокая стоимость производства по сравнению с традиционными материалами. Важно продолжать исследования и инновации в этой области, чтобы улучшить производство и использование биоразлагаемых материалов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Патент № 2320818 C1 Российская Федерация, МПК E02D 27/01. Фундамент мелкого заложения для надстраиваемых зданий: № 2006124285/03: заявл. 06.07.2006: опубл. 27.03.2008 / К.Ш. Шадунц, Р.Г. Нехай; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Кубанский государственный аграрный университет.

2. Матвиченко А.А. Анализ систем управления проектами. Их многообразие, назначение, плюсы и минусы программных комплексов для решения определенных задач / А.А. Матвиченко, Р.Г. Нехай // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам 74-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2018 год, Краснодар, 26 апреля 2019 года / Ответственный за выпуск А.Г. Кощаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – С. 456-459.

3. Нехай Р.Г. Совместное использование программных комплексов Stark ES и Лира для расчетов строительных конструкций / Р.Г. Нехай, Е.В. Мирина // Строительство и экономика: проблемы и решения: Сб. ст. по материалам региональной науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, магистрантов и преподавателей, 21 марта 2018 г. – Краснодар: ООО «Экоинвест», 2018. – С. 92-95.

ПОЛУЧЕНИЕ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННОЙ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТЬЮ СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИХ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Охотников А.А., Федяшов А.С., Хорин А.В.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Розен А.Е.

Пензенский государственный университет, г. Пенза

Аннотация. *Проведен анализ литературы, описывающей получение коррозионностойких многослойных металлических материалов сваркой взрывом и их использование в промышленности. Рассмотрен вариант получения многослойного композиционного материала системы 12Х18Н10Т-09Г2С с повышенной коррозионной стойкостью.*

Ключевые слова: *коррозионно-стойкие материалы, композиционные материалы, коррозионная стойкость, питтинговая коррозия, общая коррозия, металлический протектор, нержавеющая сталь*

Введение

В современном производстве при изготовлении оборудования химической и нефтехимической отраслей промышленности одним из наиболее важных этапов является выбор материала производимых конструкций. Основным требованием, предъявляемым к материалам химических приборов, в большинстве случаев является их коррозионная стойкость, поскольку именно она определяет долговечность химического оборудования [1].

Для обеспечения лучших показателей коррозионной стойкости корпусов сосудов и аппаратов целесообразно использовать слоистые композиционные материалы с внутренними металлическими протекторами, которые наиболее эффективно изготавливаются методом сварки взрывом.

Целью данной работы является анализ научной литературы для определения подходящих систем металлов с целью последующего получения многослойного композиционного материала, обладающего повышенной коррозионной стойкостью и прочностными характеристиками.

Анализ литературы

В качестве исходных материалов для получения многослойного металлического композита (СММ), авторы работы [2] рассматривают стали различных классов. В данной работе анализируют закономерности создания, структуру, свойства и назначение слоистых металлических коррозионно-стойких материалов с внутренним протектором (ВП), полученных сваркой взрывом [2].

Материалы, рассматриваемые в работе [2] представляют собой трех-, четырех- и шестислойные СММ, состоящие из сталей различных классов со следующими архитектурами (в скобках указана толщина слоя):

– 08Х18Н10Т (2 мм) + 10 (2 мм) + 08Х18Н10Т (20 мм);

– 12Х18Н10Т (2 мм) + Ст3 (2 мм) + 12Х18Н10Т (2 мм) + Ст3 (10 мм);

– 12Х18Н10Т (2 мм) + 10 (2 мм) + 12Х18Н10Т (2 мм) + 09Г2С (12 мм);

– 08Х18Н10Т (2 мм) + 08 (2 мм) + 08Х18Н10Т (2 мм) + 09Г2С (20 мм);

– 08Х18Н10Т (2 мм) + 10 (2 мм) + 08Х18Н10Т (2 мм) + 10 (2 мм) + 08Х18Н10Т (2 мм) + 09Г2С (10 мм).

Функции элементов системы четырехслойного СММ с ВП определяются их расположением в составе композита, наличием контакта с агрессивной средой и соединением с другими слоями. Таким образом, первый слой находится непосредственно в контакте с агрессивной средой, обеспечивает коррозионную стойкость при взаимодействии с ней и образует неразъемное соединение со вторым слоем. Второй слой образует неразъемное соединение с первым и третьим слоями и обеспечивает их пассивность при контакте с коррозионной средой. Третий слой обеспечивает длительную целостность четвертого слоя и образует с ним и со вторым слоем неразъемное соединение. Четвертый слой обеспечивает механическую прочность конструкции в целом, образует неразъемное соединение с третьим слоем и, как правило, имеет наибольшую толщину по сравнению с другими слоями [2]. В качестве внутренних металлических протекторов при производстве композиционных металлических материалов сваркой взрывом выступают нержавеющие стали. В качестве основного материала применяются конструкционные низколегированные стали. Такое сочетание материалов обеспечивает повышенные показатели коррозионной стойкости и прочностные характеристики по сравнению с классическими нержавеющими сталями. Это подтверждается исследованиями, проведенными в работе [3], авторы которой анализировали композиционный материал системы 12Х18Н10Т-Ст3сп с различным количеством слоев и внутренних протекторов. Результаты данных исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Механические и технологические свойства СММ с ВП

Техническая характеристика	Архитектура СММ с ВП		
	3-слойная	4-х слойная	6-слойная
Прочность сцепления слоев на каждой межслойной границе $\sigma_{ср}$, Н/мм^2	от 320 до 410 (не менее 140)		
Временное сопротивление на разрыв основного слоя $\sigma_{в}$, Н/мм^2	от 640 до 710 (не менее 530)	от 520 до 590 (не менее 470)	
Ударная вязкость основного слоя *KCU*, кДж/м^2	от 290 до 310 (не менее 250)	от 690 до 740 (не менее 640)	
Угол загиба $\alpha_{град}$, не менее	150		

Примечание: в скобках указаны значения по ГОСТ 10885 и ТУ 27.32.09.010-2005

Система 12Х18Н10Т-09Г2С

Среди большого количества слоистых композиционных металлических материалов лучшим вариантом выглядит использование композиционных материалов системы 12Х18Н10Т-09Г2С. С технологической и экономической точки зрения данный материал имеет значительное преимущество перед классическими нержавеющими сталями ввиду его большего срока эксплуатации и меньшей стоимости.

Наиболее перспективным в части использования в условиях агрессивных сред можно считать СММ с ВП, состоящий из четырех слоев, в котором:

– первый слой, непосредственно контактирующий с агрессивной средой, и слой, расположенный под протектором, изготавливаются из материалов с высоким электрохимическим потенциалом (ЭХП от +0,4 В или +0,6 В и выше, слои 1 и 3 на рис. 1), к которым относят высоколегированные аустенитные нержавеющие стали (в данном случае, 12Х18Н10Т) [4, 5];

– защитный (протекторный) слой выполнен из материала с низким электрохимическим потенциалом (ЭХП от -0,4 В и ниже, слой 2 на рис. 1). Может состоять из низкоуглеродистых или низколегированных сталей (например, 09Г2С, рассмотренный в данной работе) [4, 5];

– основной слой, обеспечивающий прочностные свойства всей металлоконструкции (слой 4 на рис. 1, имеет наибольшую толщину) выполняют из конструкционных сталей с необходимыми прочностными характеристиками, к числу которых относят низко- и среднелегированные или низко- и среднеуглеродистые стали, работающие при повышенных и пониженных температурах (в данном случае 09Г2С) [4, 5].

Пример архитектуры 4-слойного материала с одним внутренним протектором и модель коррозионного воздействия на него представлены на рис. 1.

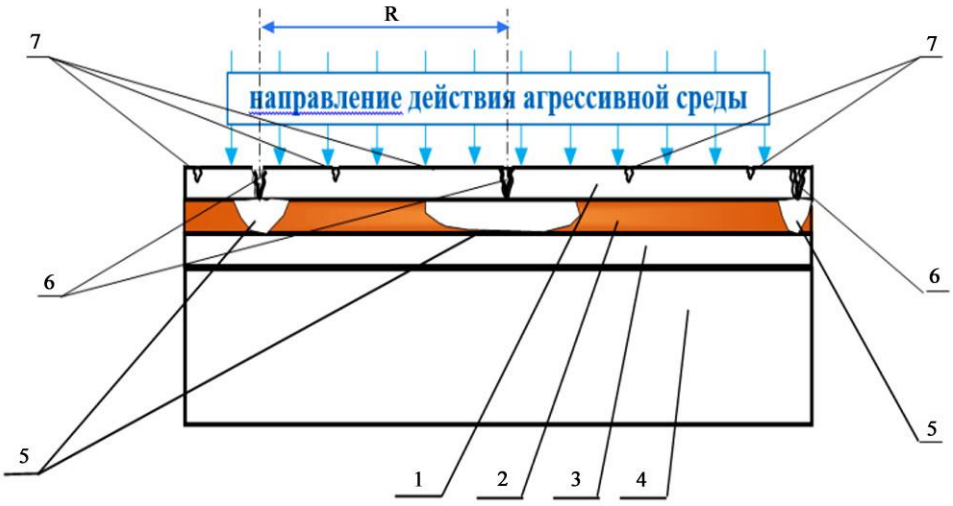


Рис. 1. Архитектура 4-слойного металлического материала с одним внутренним протектором: 1 – наружный слой; 2 – внутренний протектор; 3 – третий слой; 4 – основной слой, по которому рассчитывается прочность всей металлоконструкции; 5 – линзы в протекторе из продуктов коррозии; 6 – сквозные питтинги первого слоя; 7 – питтинги, у которых прекратился рост ввиду электрохимического воздействия внутреннего протектора; R – радиус действия внутреннего протектора

Слоистые металлические материалы (СММ) с внутренней защитой (внутренний протектор – ВП) представляют собой металлический многослойный композит, слои которого выбираются из условия определенного ЭХП каждого из элементов.

Образуя короткозамкнутые гальванические пары, они изменяют направление коррозионных процессов при переходе от одного слоя к другому. Результатом данного технического решения является трансформация коррозионных повреждений из точечной коррозии в верхнем слое в контактную коррозию расходуемого слоя с последующим анодным растворением защитного слоя, что многократно замедляет коррозионные процессы [4].

Расположение слоев в составе композита, которое показано на рисунке 1, является наиболее эффективным с точки зрения коррозионной стойкости благодаря чередованию слоев с различными ECPS. Предварительные исследования, проведенные в ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», свидетельствуют о возможности повышения его коррозионной стойкости по сравнению со стандартными нержавеющими сталями в 6 и более раз [6].

Проведенные исследования также показывают, что при условии обеспечения высоких эксплуатационных, механических и технологических свойств коррозионная стойкость СММ в присутствии двух ВП (шестислойный композиционный материал) повышается в 23 раза по сравнению с обычной аустенитной нержавеющей сталью 12Х18Н10Т [5, 7].

Проведены натурные испытания опытного образца СММ с ВП в составе наливной и контролируемой спец. канализации ЖРО, которые подтверждают возможность повышения их ресурса работы со 100 лет до 600 лет (с одним ВП) и 900 лет (с двумя ВП), соответственно [8, 9].

4. Эффективность применения СММ с ВП

Сравнительные коррозионные испытания показали, что по сравнению с цельным металлом 12Х18Н10Т, СММ с ВП, полученные сваркой взрывом, обладают более высокой коррозионной стойкостью. Исследования показали повышение коррозионной стойкости в 6 раз при наличии одного ВП и в 23 раза при двух ВП. Соотношение коррозионной стойкости монометалла 12Х18Н10Т и СММ системы 12Х18Н10Т-09Г2С показано на рис. 2 [9].

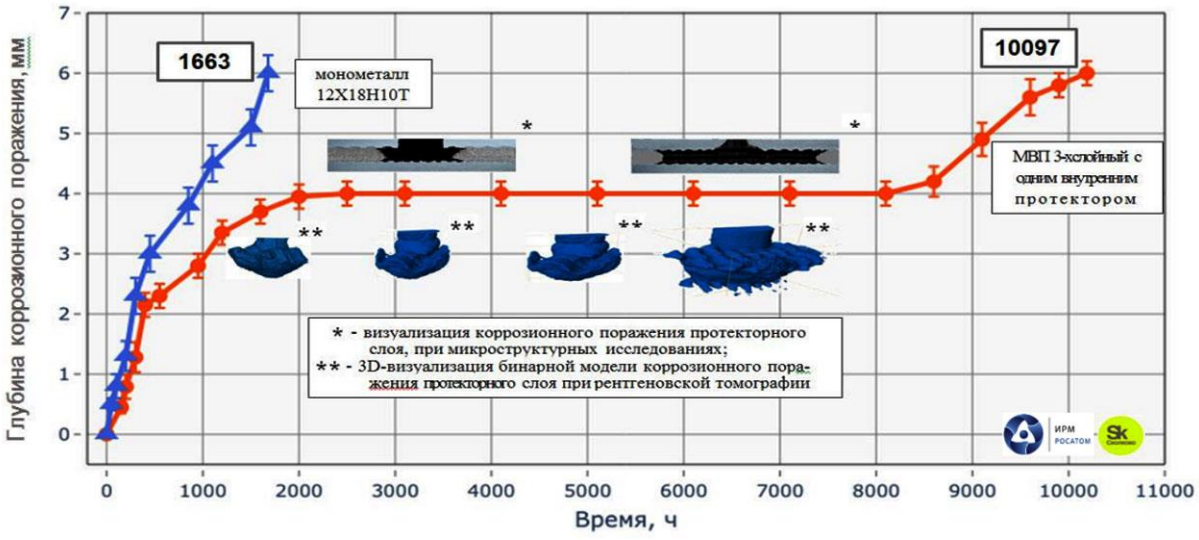


Рис. 2. Сравнительные коррозионные испытания (состав агрессивной среды: 10 % раствор трихлорида железа $FeCi_3$-$6H_2O$)

Технические характеристики металлического композиционного материала с внутренним протектором, а также его сравнительные характеристики с листовой нержавеющей сталью 12Х18Н10Т приведены в табл. 2 [9].

Таблица 2

Технические характеристики СММ с ВП

Техническая характеристика	Архитектура листового материала								
	Монометалл 12Х18Н10Т			СММ с одним ВП			СММ с двумя ВП		
Толщина листа, мм	25,0	70,0	130,0	25,0	70,0	130,0	25,0	70,0	130,0
Удельная стоимость, тыс. руб./м^2	79,0	221,2	410,8	54,2	78,9	111,9	59,4	84,1	117,1
Ресурс работы, отн. ед.	1,0	1,0	1,0	6,0	6,0	6,0	23,0	23,0	23,0
Ударная вязкость, (не менее) KCU, кДж/м^2	215	215	215	290	290	290	290	290	290
Предел прочности, (не менее) $\sigma_в$, Н/мм^2	550	550	550	640	640	640	640	640	640

МВП может осуществить импортозамещение толстолистовой нержавеющий стали со значительным снижением стоимости материала, а также повышением механических свойств и срока службы [9].

Заключение

В ходе данной работы по изучению свойств многослойных композиционных металлических материалов с повышенной коррозионной стойкостью в результате литературного анализа предложен материал системы 12Х18Н10Т-09Г2С. Данный материал обладает значительно большей коррозионной стойкостью и более высокими механическими характеристиками при меньшей стоимости по отношению к коррозионностойкими сталями аустенитного и аустенитно-ферритного классов. Вследствие этого, конструкции и оборудование химической промышленности, изготовленные с применением предлагаемого композиционного материала, имеют больший ресурс работы при более низких затратах на их производство, замену или ремонт.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Нейн И.Ю. Основы проектирования химических установок: Содержание и оформление курсового проекта и выпускной квалификационной работы бакалавра: учеб. пособие / Ю.И. Нейн, Н.П. Бельская; [науч. ред. М.Ф. Костерина]; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 124 с.

2. Розен А.Е. Закономерности создания слоистых металлических коррозионностойких материалов с внутренним протектором: статья в научном журнале «Известия ВолгГТУ» / А.Е. Розен, И.С. Лось, А.В. Дуб и др. – Волгоград: Издательство ВолгГТУ, 2020. – 7 с.

3. Розен А.Е. Структурообразование межслойных границ слоистого металлического материала при сварке взрывом: статья в научном журнале «Известия ВолгГТУ» / А.Е. Розен, А.Е. Корнеев, А.В. Хорин, А.В. Прыщак, А.С. Гуденко, А.А. Розен, Д.В. Козлов. – Волгоград: Издательство ВолгГТУ, 2020. – 5 с.

4. Розен А.Е. Производство сваркой взрывом бесшовных труб из слоистых металлических материалов повышенной коррозионной стойкости: статья в научном журнале «Известия ВолгГТУ» / А.Е. Розен, А.В. Прыщак, А.В. Хорин и др. – Волгоград: Издательство ВолгГТУ, 2020. – 6 с.

5. Розен А.Е. Особенности дуговой сварки слоистого коррозионностойкого материала: статья в научном журнале «Frontier materials & technologies» / А.Е. Розен, С.Ю. Киреев, А.В. Дуб, И.А. Сафонов, Е.А. Макарова, А.А. Розен, Е.Г. Исаков, А.О. Корольков. – Тольятти: Издательство Тольяттинского государственного университета, 2021. – 12 с.

6. Зайцев А.И. Современные направления развития производства и применения двухслойных сталей / А.И. Зайцев, И.Г. Родионова, А.В. Амежнов, А.А. Павлов. – Технология колесных и гусеничных машин. 2013. – 6 с.

7. Исаков Е.Г. Бесшовные трубы высокой коррозионной стойкости для нефтегазовой промышленности, полученные с применением технологии сварки взрывом: / Е.Г. Исаков, А.О. Корольков, А.Е. Розен // Химическая промышленность и нефтегазовая отрасль. – 2021. – 3 с.

8. Корольков А.О. Инновационное решение в области создания слоистых металлических материалов повышенной коррозионной стойкости и области их применения: статья в научном журнале «» / А.О. Корольков, Е.Г. Исаков, А.Е. Розен. – Молодежная наука: вызовы и перспективы. – Сызрань: Издательство Самарский государственный технический университет», 2019. – 4 с.

9. Розен А.Е. Новые металлические материалы повышенной коррозионной стойкости, работающие по принципу «внутреннего протектора»: Коррозия и управление рисками в нефтяной и газовой промышленности: VII научно-техническая конференция. – Самара, 2023. – 28 с.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СВАРКИ ВЗРЫВОМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОСЬМИСЛОЙНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ 12Х18Н10Т – 09Г2С

Охотников А.А., Федяшов А.С., Хорин А.В.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Розен А.Е.

Пензенский государственный университет, г. Пенза

Аннотация. *Рассмотрен метод получения многослойного композиционного материала системы 12Х18Н10Т-09Г2С методом сварки взрывом. Определены оптимальные режимы сварки взрывом для получения восьмислойного композиционного материала системы 12Х18Н10Т-09Г2С.*

Ключевые слова: *сварка взрывом, многослойный композиционный материал, скорость соударения, угол соударения*

Введение

В настоящее время сварка взрывом приобретает все большую популярность в современном производстве. Причиной этого служит высокое качество получаемых изделий, их низкая себестоимость, а также долгий срок эксплуатации. Применение получаемой сваркой взрывом продукции имеет очень широкий спектр: от производства сосудов и аппаратов до эксплуатации в качестве проводников при изготовлении изделий электроники [1-3]. В данной работе определяются режимы сварки взрывом для получения восьмислойного композиционного материала системы 12Х18Н10Т-09Г2С. Свариваемые элементы представляют собой металлические листы, расположенные в следующем порядке: 12Х18Н10Т-09Г2С-12Х18Н10Т-09Г2С-12Х18Н10Т-09Г2С-12Х18Н10Т-09Г2С.

Расчет режимов сварки взрывом

Расчет режимов сварки взрывом выполнен для получения восьмислойного материала длиной b = 6 м и шириной c = 1,5 м. Первый, третий, пятый и седьмой слои – сталь 12Х18Н10Т толщиной δ_1 = 0,003 м, с плотностью ρ_1 = 7920 кг/м^3 [4]. Второй, четвертый и шестой слои – сталь 09Г2С толщиной δ_2 = 0,003 м, восьмой слой толщиной δ_2 = 0,02 м, с плотностью ρ_2 = 7850 кг/м^3 [4].

Режимы сварки взрывом определяют начальные технологические параметры:

– D – скорость детонации взрывчатого вещества (ВВ), м/с;

– r – безразмерный параметр, определяемый по формуле [5]:

$$r = \frac{\delta_0 \rho_0}{\delta_1 \rho_1}, \quad (1)$$

где δ_0 – высота заряда ВВ, м; δ_1 – толщина метаемой пластины, м; ρ_0 – плотность заряда ВВ, кг/м^3; ρ_1 – плотность метаемой пластины, кг/м^3.

В качестве ВВ выбрано сочетание селитра + аммонит 33/67 с плотностью ρ_0 = 850 кг/м^3, высотой δ_0 = 0,05 м, скорость детонации D = 2450 м/с [6, 7].

Подставляем значения в формулу (1):

$$r = \frac{0{,}05 \cdot 850}{0{,}003 \cdot 7920} = 1{,}79,$$

Кинематические параметры сварки взрывом [8]:

– v_0 – скорость метания пластины, м/с;

– γ – угол соударения, град;

– $v_к$ – скорость движения точки контакта, м/с.

Определяем скорость метания пластины для ВВ по формуле [8]:

$$\nu_0 = 1{,}2 \cdot D \frac{\sqrt{1 + r\left(\frac{32}{27}\right)} - 1}{\sqrt{1 + r\left(\frac{32}{27}\right)} + 1}, \quad (2)$$

Подставляем числовые значения в формулу 2.

$$\nu_0 = 1{,}2 \cdot 2450 \frac{\sqrt{1 + 1{,}79\left(\frac{32}{27}\right)} - 1}{\sqrt{1 + 1{,}79\left(\frac{32}{27}\right)} + 1} = 814{,}5\ м/с,$$

Находим угол соударения пластины по формуле [8]:

$$\gamma = \alpha + 2 \cdot \alpha rc\sin\frac{\nu_0}{2 \cdot D}, \quad (3)$$

где α – первоначальный угол установки пластины, град.

Принимаем параллельное первоначальное расположение пластин (α = 0°). В этом случае формула 3 будет иметь вид [8]:

$$\gamma = 2 \cdot \alpha rc\sin\frac{\nu_0}{2 \cdot D}, \quad (4)$$

Подставляем значения в формулу (4):

$$\gamma_0 = 2 \cdot \alpha rc\sin\frac{814{,}5}{2 \cdot 2450} = 19{,}1°$$

В случае параллельного расположения пластин скорость движения точки контакта, равна скорости детонации [8]:

$$\nu_к = D = 2450\ м/с, \quad (5)$$

Для получения соединения при протекании процесса сварки взрывом должно выполняться условие [8]:

$$\nu_к < C_0, \quad (6)$$

где C_0 – скорость звука в свариваемых металлах, м/с, определяемая по формуле [5]:

$$C_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (7)$$

где E – модуль Юнга материала, Н/м^2; ρ – плотность материала, кг/м^3.

Модуль Юнга E составляет:

– для стали 12Х18Н10Т – E_1 = 198 ГПа = $1980 \cdot 10^8$ Н/м^2.

– для стали 09Г2С – E_2 = 210 ГПа = $2100 \cdot 10^8$ Н/м^2.

Подставляем числовые значения для стали 12Х18Н10Т в формулу (7):

$$C_0 = \sqrt{\frac{1980 \cdot 10^8}{7920}} = 5000\ м/с > \nu_к = 2410\ м/с,$$

Подставляем числовые значения для стали 12Х18Н10Т в формулу (7)

$$C_0 = \sqrt{\frac{2100 \cdot 10^8}{7850}} = 5172{,}2\ м/с > \nu_к = 2410\ м/с,$$

Для соударяющихся листов действует закон сохранения кинетической энергии [8]:

$$\frac{m_1 \nu_0^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2)\nu_1^2}{2}, \quad (8)$$

где m_1 – масса первого листа, кг; m_2 – масса второго листа, кг.

Выражаем скорость соударения v_1 из равенства 8:

$$\nu_1 = \sqrt{\frac{m_1 \nu_0^2}{m_1 + m_2}} \quad (9)$$

Определяем массу листов по формуле:

$$m = b \cdot c \cdot \delta \cdot \rho, \quad (10)$$

где b – длина листа, м; c – ширина листа, м; δ – толщина листа, м.

Подставляем значения для листа из стали 12Х18Н10Т в формулу 10.

$$m_1 = 6 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}003 \cdot 7920 = 213{,}84\ кг,$$

Подставляем значения для листа из стали 09Г2С в формулу 10.

$$m_2 = 6 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}003 \cdot 7850 = 211{,}95\ кг$$

Подставляем полученные значения в формулу 9.

$$\nu_1 = \sqrt{\frac{213{,}84 \cdot 814{,}5^2}{213{,}84 + 211{,}95}} = 577{,}2\ м/с$$

Подставляем полученное значение скорости соударения в формулу (4):

$$\gamma = 2 \cdot \alpha rc\sin\frac{577{,}2}{2 \cdot 2450} = 13{,}5°$$

Поскольку первые семь слоев рассчитываемого многослойного материала представляют собой чередующиеся слои сталей 12Х18Н10Т и 09Г2С с одинаковыми параметрами, то $m_1 = m_3 = m_5 = m_7$ и $m_2 = m_4 = m_6$ [9,10, 11]. Для каждого из последующих соударяющихся листов также действует закон сохранения кинетической энергии. Исходя из этого, скорость соударения каждого листа будет определяться из закона сохранения кинетической энергии для соответствующего слоя (аналогично расчету скорости соударения v_1 в формулах 8, 9). Угол соударения для последующих слоев определяется аналогично формуле 4. Согласно проведенным расчетам полученные значения соста-

вили: v_2 = 470,9 м/с, γ_2 = 11°; v_3 = 408,1 м/с, γ_3 = 9,6°; v_4 = 364,9 м/с, γ_4 = 8,5°; v_5 = 333,2 м/с, γ_5 = 7,8°; v_6 = 308,4 м/с, γ_6 = 7,2°.

Определение зазоров между свариваемыми пластинами

Определяем зазор между пластинами по формулам [12]:

$$\eta = \frac{16}{27} \cdot \frac{\delta_0 \rho_0}{\delta_1 \rho_1}, \tag{11}$$

$$\theta_v = \frac{1 + \eta \cdot \left(1 - \frac{\upsilon_0}{D}\right) + \sqrt{\eta^2 \cdot \left(1 - \frac{\upsilon_0}{D}\right)^2 - 2\eta \cdot \frac{\upsilon_0}{D}}}{1 + 2\eta}, \tag{12}$$

$$h = \delta_0 \cdot \frac{(1 - \theta_v)^2}{(1 + 2\eta) \cdot \theta_v^2 - 1}, \tag{13}$$

где η – безразмерная приведенная масса; θ_V – безразмерное приведенное время; H – высота заряда ВВ, м; h – величина зазора между пластинами, м.

Подставляем значения в формулу 11.

$$\eta_1 = \frac{16}{27} \cdot \frac{0{,}05 \cdot 850}{0{,}003 \cdot 7920} = 1{,}06$$

Подставляем значения в формулу 12.

$$\theta_{v_0} = \frac{1 + 1{,}06 \cdot \left(1 - \frac{814{,}5}{2450}\right) + \sqrt{1{,}06^2 \cdot \left(1 - \frac{814{,}5}{2450}\right)^2 - 2 \cdot 1{,}06 \cdot \frac{814{,}5}{2450}}}{1 + 2 \cdot 1{,}06} = 0{,}7$$

Подставляем значения в формулу 13.

$$h_1 = 0{,}05 \cdot \frac{(1 - 0{,}7)^2}{(1 + 2 \cdot 1{,}06) \cdot 0{,}7^2 - 1} = 0{,}0085\ м$$

Аналогично определяем значения зазоров между последующими листами. Согласно проведенным расчетам полученные значения составили:

h_2 = 0,0034 м, h_3 = 0,0013 м, h_4 = 0,0011 м, h_5 = 0,0003 м, h_6 = 0,00016 м, h_7 = 0,00008 м.

Заключение

В результате расчетов были определены оптимальные режимы сварки взрывом для получения восьмислойного композиционного материала системы 12Х18Н10Т-09Г2С, подобраны тип и высота взрывчатого вещества и определены величины зазоров между свариваемыми листами. Из анализа полученных результатов, можно сделать вывод, что для обеспечения свариваемости пластин необходимо уменьшать первоначальный зазор между каждыми последующими свариваемыми слоями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Арзамасов Б.Н. Материаловедение: учеб. для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин. – М.: Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2003. – 648 с.

2. Новые материалы: учебник / Ю.С. Карабасов [и др.]. – М.: МИСИС, 2002. – 736 с.

3. Розен А.Е. Новый коррозионно-стойкий материал и технология его получения: статья в научном журнале / А.Е. Розен, И.С. Лось, Ю.П. Перелыгин, С.Г. Усатый,

А.В. Хорин / В сборнике: Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня. Материалы 12-й Международной научно-практической конференции: в 2-х частях. 2010. 465-468 с.

4. Драгунов Ю.Г. Марочник сталей и сплавов 4-е изд., переработ. и доп. / М28 А.С. Зубченко, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. Ю.Г. Драгунова и А.С. Зубченко – М.: 2014. 1216 с.

5. Жолнеревич И.И., Перковский Т.А. Определение скорости звука в металле: методические указания. – Минск: Изд-во «БГУ», 2002. – 10 с.

6. Клячин С.И. Теория горения и взрыва. Часть 2. Взрывы и взрывчатые вещества: учебное пособие / С.И. Клячин. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2020. – 144 с.

7. Дерибас А.А. Детонационные свойства аммиачной селитры: статья в научном журнале / А.А. Дерибас, В.А. Симонов. – Новосибирск: Изд-во «Институт гидродинамики имени М.А. Лаврентьева» СО РАН, 1998. – 3 с.

8. Сварка взрывом: учебник / В.М. Кудинов [и др.]. – М.: Металлургия, 1987. – 216 с.

9. Лось И.С. Исследование структуры и свойств многослойного коррозионностойкого материала, полученного сваркой взрывом: статья в научном журнале / И.С. Лось, А.Е. Розен, Ю.П. Перелыгин, Л.Б. Первухин, С.Г. Усатый, А.В. Хорин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. № 5 (65). 93-96 с.

10. Rosen, A.E. Multilayer clad metals by explosive welding [Text]: an article in a scientific journal / A.E. Rosen, L.B. Pervukhin, I.S. Los, D.B. Kryukov, O.L. Pervukhina, N.A. Lyubomirova, A.V. Khorin, I.V. Denisov / В сборнике: Shock-Assisted Synthesis and Modification of Materials. 7th International Symposium. 2006. 111 с.

11. Структурообразование межслойных границ слоистого металлического материала при сварке взрывом: статья в научном журнале / Розен А.Е., Корнеев А.Е., Хорин А.В., Прыщак А.В., Гуденко А.С., Розен А.А., Козлов Д.В. / Известия Волгоградского государственного технического университета. 2020. № 11 (246). 41-45 с.

12. Лысак В.И. Сварка взрывом: монография / В.И. Лысак, С.В. Кузьмин. – М.: Машиностроение-1, 2005. – 543 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ИНДУКЦИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Палканов П.А., Фомин А.А.
Научный руководитель: д.т.н., доцент Фомин А.А.

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

Аннотация. *В работе исследовали износостойкие нитридные слои, сформированные на инструментальной стали в результате индукционной химико-термической обработки (ИХТО) в среде газообразного азота избыточного давления 0,20 ± 0,05 МПа. Процесс азотирования проводился в специально разработанной камере, представляющей собой герметичный сосуд из кварца помещенный в индуктор. Температура образцов регулировалась изменением тока индуктора от 3,3 до 3,7 кА. Установлено, что при токе индуктора 3,3 кА образец прогревался свыше 900° С, дальнейшее увеличение тока приводило к увеличению температуры образца до 1170° С. Азотирование продолжи-*

тельностью 600 с при температуре 900-1170° С обеспечивало формирование поверхностного нитридного слоя с содержанием азота до 12 ат. % и диффузионного подслоя с более низким содержанием азота до 6 ат. %. Также по данным исследования было установлено, что износостойкость обработанных образцов увеличилась в 2 раза по сравнению с закаленной сталью.

Ключевые слова: *индукционный нагрев, инструментальная сталь, диффузия, нитриды железа, износостойкость*

Введение

На данный момент в машиностроительном производстве не существует универсальных методов повышения эксплуатационных свойств металлообрабатывающего изделия. Все многообразие используемых технологий упрочняющей обработки условно разделяется на следующие группы: термическое упрочнение (ТО), нанесение покрытий, химико-термическая обработка (ХТО) и комбинированные методы [1, 2]. Для создания упрочненных слоев наибольшее распространение получила ХТО, в частности азотирование.

Среди различных способов улучшения эксплуатационных свойств инструментов различной геометрии газовое азотирование, обеспечивающее высокую поверхностную твердость (достигаемую без процесса закалки), износостойкость и коррозионную стойкость, является одним из наиболее технологически простых и экономически эффективных методов упрочняющей обработки [3]. Однако этот метод характеризуется большой длительностью обработки (от нескольких часов до нескольких суток). Как правило, данная проблема не являлись ограничивающими при крупносерийном производстве, но в связи с активным применением перспективных материалов появилась потребность в развитии компактных производств, использующих различные экспериментальные методы упрочнения поверхности.

На сегодняшний день интенсификация процессов химико-термической обработки проводиться за счет повышения температуры процесса, активности насыщающей рабочей среды, наложения ультразвука и т. д. Повышение температуры обеспечивается за счет применения концентрированных потоков энергии или изменением вида теплопередачи от источника к изделию (использование электроконтактного нагрева, индукционного нагрева) [4-6].

В связи с этим в настоящей работе будет описана возможность использования индукционного нагрева для получения износостойких нитридных слоев на поверхности стали марки Р6М5.

Методология

В исследованиях применялись цилиндрические образцы диаметром 10 мм и толщиной 5 мм из быстрорежущей инструментальной стали Р6М5 без предварительной термической обработки. Процесс индукционного азотирования производился в температурном диапазоне более 900-1170° С в течение 600 с при давлении 0,2 ± 0,05 МПа в специально разработанной герметичной камере на базе установки «ВЧ-15А». Скорость и температура нагрева регулировались изменением тока индуктора от 3,3 до 3,7 кА в частотном диапазоне 64,9-66,5 кГц (таблица).

Режимы индукционного азотирования стальных образцов

№ серии образцов	Ток индуктора, кА	Частота, кГц
1	3,3	66,5
2	3,4	66,0
3	3,5	65,4
4	3,7	64,9

Морфология (при увеличении до ×5000) и элементарный состав полученных слоев изучали методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) и энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа (ЭДРФА) (погрешность концентрации ± 0,5 ат. %) на электронном микроскопе «MIRA II LMU».

Определение износостойкости нитридных слоев осуществлялось методом шарового истирания на приборе «Calotest, CSM Instruments». Тест проводился согласно известной методике измерения стойкости к абразивному износу [7, 8]. Образец фиксировался на специальном столике с тисками, затем на нем располагался шарик диаметром 25 мм. Вращения стального шарика осуществлялось за счет трения об приводной вал со скоростью 400 об/мин. В область контакта образца и стального шарика подавалась суспензия с алмазными частицами размером 0,5-1 мкм.

Результаты

Исследование состава образцов показало, что в результате обработки происходит внедрение азота в металл с его градиентным распределением от поверхности к центру образца (рис. 1). Содержание азота в приповерхностном слое (до 50-70 мкм) составило около 4,9-12,0 ат. %, по сечению образцов (от 80 до 150 мкм) содержание азота уменьшилось до 2,6-4,0 ат. %. Вероятно, при обработке образца при токе 3,3 кА и температуре около 750 ± 20° С происходило насыщение азотом α-фазы железа без формирования нитридных фаз, поэтому при исследовании химического состава было выявлено содержание азота около 0,5-1 ат. % в приповерхностном слое (20-30 мкм), что сопоставимо с погрешностью прибора при анализе малых концентраций. Повышенное содержание азота в поверхностном слое свидетельствует о формировании химических соединений – нитридов. Стоит отметить, что при увеличении температуры обработки стальных изделий происходило увеличение содержания азота в приповерхностном и диффузионном слоях. Данное явление обусловлено температурным интервалом от 900 ± 20 до 1170 ± 20° С, обеспечивающим повышенную адсорбцию азота и дальнейшую его диффузию в глубь металла.

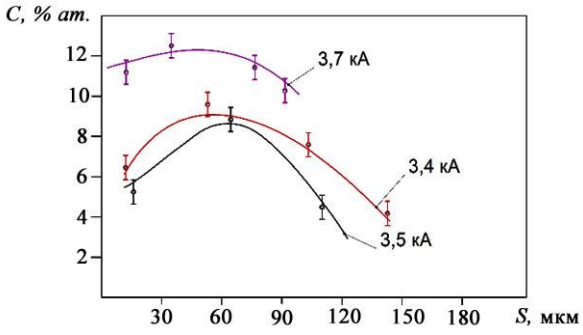


Рис. 1. График распределение азота по сечению образцов

Расчет износостойкости производился по производственным стандартам. Износостойкость определялась по безразмерной величине (обратной величине интенсивности изнашивания), которая представляет собой отношение величины линейного износа ΔH за наработку – длину пройденного пути шара ΔL (формула 1):

$$K = \frac{\Delta L}{\Delta H} \quad (1)$$

Для сравнения показателей износостойкости был выбран одинаковый по геометрическим размерам образец из стали Р6М5, подвергнутый газовой закалке при температуре 1250° С с последующим трехкратным отпуском при температуре 550° С. Выбор данного метода для сравнения показателей износостойкости связан с тем, что метод ТО

является более распространенным и простым методом упрочнения, а также применяется как предварительная обработка перед нанесением покрытий.

В результате абразивного износа на поверхности образцов образовались кратеры с неявно выраженными границами (рис. 2). Стоит отметить, что диаметр кратеров изменялся в зависимости от режимов азотирования. При увеличении температуры обработки образцов диаметр полученных кратеров уменьшался, что вероятно свидетельствует об улучшение показателей износостойкости поверхности.

По данным исследования было установлено, что износостойкость обработанных образцов увеличилась в 2 раза по сравнению с закаленной сталью (табл. 2). Стоит отметить, что показатели износостойкости образцов «3,5_600» и «3,7_600» были идентичны.

Расчетные параметры износостойкости

Режим	Диаметр отпечатка, мкм	Линейный износ ΔH , мм	Наработка – длина пройденного пути ΔL , мм	Показатель износостойкости
3,3_600	960	0.009	90 275	10 030 556
3,5_600	890	0.007	90 275	12 896 429
3,7_600	890	0.007	90 275	12 896 429
ТО	1200	0.0144	90 275	6 269 097

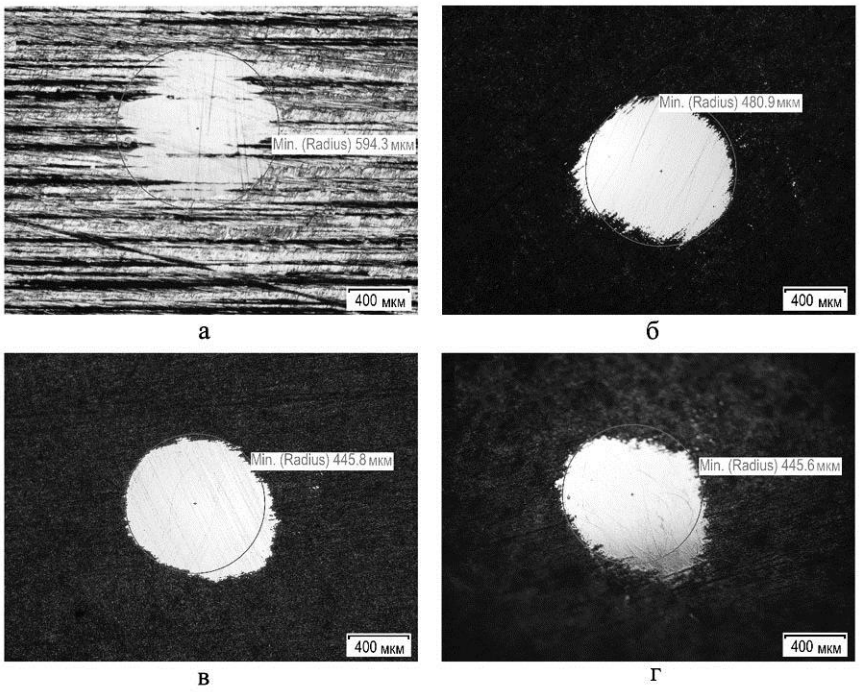


Рис. 2. Кратеры износа быстрорежущей стали Р6М5, упрочненной методом: а – газовая закалка при температуре 1250° С с последующим трехкратным отпуском при температуре 550° С; б – ИХТО при токе 3,4 кА; в – ИХТО при токе 3,5 кА; г – ИХТО при токе 3,7 кА

Выводы

Таким образом, в процессе ИХТО происходит насыщение поверхности стали азотом. Согласно результатам химического исследования, содержание азота в приповерхностном слое (до 50-70 мкм) составляло около 4,9-12,0 ат. %, по сечению образцов (от 80 до 150 мкм) содержание азота уменьшалось до 2,6-4,0 ат. %. Также ИХТО позволяет улучшить износостойкость азотированной быстрорежущей стали в 2 раза в сравнении быстрорежущей стали подвергнутой газовой закалке.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Адаскин А.М. Анализ возможности повышения стойкости малоразмерных сверл из быстрорежущих сталей химико-термической обработкой / А.М. Адаскин // СТИН. 2012. № 8. С. 38-40.

2. Zhang J. Microstructure and corrosion behavior of TiC/Ti(CN)/TiN multilayer CVD coatings on high strength steels / J. Zhang, Q. Xue, S. Li // Applied Surface Science. 2013. – Vol. 280. – P. 626-631.

3. Nitriding VI-group metals (Cr, Mo and W) in stream of NH_3 gas under concentrated solar irradiation in a solar furnace at PSA (Plataforma Solar de Almeria) / F.A. Costa Oliveira, L.G. Rosa, J.C. Fernandes [at al.] // Solar Energy. – 2015. – Vol. 114. – P. 51-60.

4. Peter S. Laser nitriding of metals / S. Peter // Progress in Materials Science. – 2002. – Vol. 47. – P. 1-161.

5. Будилов В.В. Исследование и разработка методов химико-термической обработки на основе структурно фазового модифицирования поверхности деталей сильноточными разрядами в вакууме / В.В. Будилов, Р.Д. Агзамов, К.Н. Рамазанов // Вестник УГАТУ. – 2007. – № 1. – С. 140-149.

6. Maldzinski L. ZeroFlow gas nitriding of steels / L. Maldzinski, J. Tacikowski // Thermochemical Surface Engineering of Steels. – 2015. – pp. 459-483.

7. Stachowiak G.B. Ball-cratering abrasion tests with large abrasive particles / G.B. Stachowiak, G.W. Stachowiak, J. Brandt // Tribology International. – 2006. – Vol. 39 (1). – P. 1-11.

8. Р 50-95-88 Рекомендации. Обеспечение износостойкости изделий. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам. – 1989. – 25 с.

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИИ КОМБИНИРОВАННОЙ МИШЕНИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОСТРОВКОВОЙ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ

Пименов И.Е.[1]
Научный руководитель: к.т.н., доцент Сидорова С.В.[1,2],

[1]Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ», г. Москва
[2]Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва

Аннотация. *В работе предложен способ формирования островкового покрытия методом магнетронного распыления из комбинированной мишени для нанесения на обкладки конденсатора. Рассмотрены варианты конструкции комбинированной мишени из диэлектрического материала с вставками из материала-проводника. Представлены расчеты геометрических параметров мишени для формирования покрытия с заданными характеристиками.*

Ключевые слова: *вакуумные технологии, ионно-плазменные технологии, ионное травление, магнетронное распыление, островковые пленки, конденсаторы*

Введение. В современном мире развитие электронной промышленности с каждым годом наращивает темп, встречаясь с новыми вызовами и задачами. Миниатюризация, расширения диапазонов характеристик, повышение эффективности – одни из самых актуальных вопросов всех областей электроники и наноэлектроники. Внедрение новых техно-

логий и переосмысление подходов к существующим технологиям и конструктивным решениями позволяют решить возникающие трудности создания новых устройств. Перспективным направлением развития электроники являются несплошные – островковые тонкопленочные покрытия. Свое применение они находят в накопителях энергии, компонентах СВЧ-трактов, датчиках и чувствительных элементах различного назначения [1].

Для получения островковых структур с конкретными свойствами, необходимо формировать покрытия с различными размерными, геометрическими характеристиками и физическими параметрами. Поэтому требуется правильный выбор материалов и технологических методов, режимов формирования микро- и наноструктур.

Например, формирование островкового слоя на обкладках позволяет увеличить ёмкость конденсатора в 2-21 раз. Для достижения максимальной ёмкости необходимо чтобы островки имели диаметр 100 нм и располагались друг от друга на расстоянии 3-5 нм. Для этого рост покрытия должен быть остановлен на этапе роста островков до начала коалесценции. Конструкция конденсатора состоит из двух медных обкладок с островковыми структурами и диэлектрического слоя из оксида алюминия между ними (рис. 1).

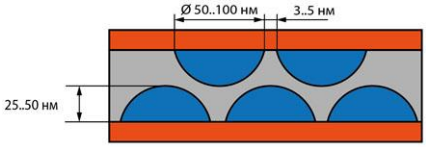


Рис. 1. Структура конденсатора

Для формирования данной структуры был выбран метод магнетронного распыления, так как он позволяет контролировать скорость роста и формировать покрытия с высокой равномерностью. Также данный метод позволяет распылять как диэлектрические материалы, так и проводящие [2]. Поэтому была предложена методика формирования островкового покрытия из комбинированной мишени. В мишень из диэлектрического материала помещаются вставки из проводника и распыляются одновременно оба материала [3]. При расплывании, материал проводника формирует островки, а материал диэлектрика заполняет пространство между островками, также предотвращая вероятность слияния отдельных островков [4].

Целью данной работы является расчет геометрических параметров мишени для формирования островкового покрытия методом магнетронного распыления.

Разработка модели и методика расчета. Конструкция мишени может быть разнообразной, в ходе работы были рассмотрены три варианта (модели) комбинированной мишени: с цилиндрическими вставками (рис. 2, а), с кольцевой вставкой (рис. 2, б) и с лепестковыми вставками (рис. 2, в).

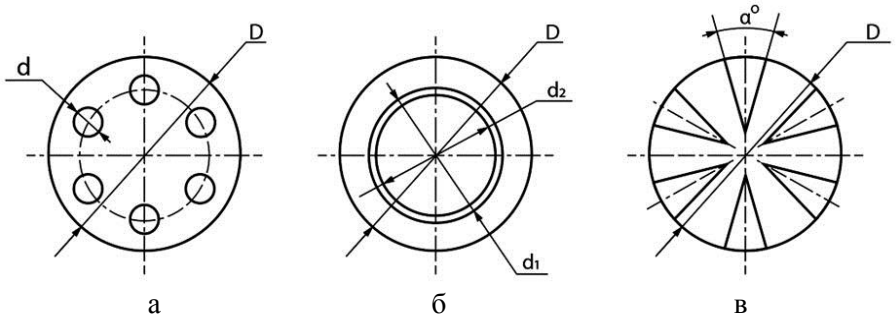


Рис. 2. Конструкции мишеней с цилиндрическими вставками (а),
с кольцевой вставкой (б) и с лепестковыми вставками (в)

Распыление материала комбинированной мишени должно происходить так, чтобы объём осаждаемого материала островков и заполняющего диэлектрика соответствовал их объемным пропорциям в структуре островкового слоя в конденсаторе.

Скорость осаждения меди – материала отрывков, на порядок выше скорости осаждения диэлектрика – оксида алюминия. Распыление происходит в зоне эрозии поэтому расчет площадей производится именно в этой зоне. Так как считается, что осаждение происходит равномерно по всей площади, то скорость роста, помноженная на единицу площади (для удобства расчета используется мм^2) будет равна объемной скорости роста. Наиболее плотное заполнение – это запыление треугольником, именно оно будет учтено при расчете, так как является наиболее предпочтительным.

Объем одного островка:

$$V_{ост} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3, \quad (1)$$

где R – радиус островка, нм.

Площадь, занимаемая одним островком с учетом пространства между островками:

$$S_{ост} = 2\sqrt{3} \cdot (R + r/2)^2, \quad (2)$$

где r – расстояние между островками, нм.

Объем области с одним островком и заполняющим материалом:

$$V_{общ} = S_{ост} \cdot R, \quad (3)$$

Объем заполняющего материала:

$$V_{диэл} = V_{общ} - Vооб \quad (4)$$

Исходя из того, что объем осажденных материалов должен быть равен объему материала в структуре, получаем отношение площадей материала диэлектрика и проводника:

$$\frac{S_{распCu}}{S_{распAl_3O_3}} = \frac{V_{ост} \cdot \upsilon_{ос.AL_3O_3}}{V_{диэл} \cdot \upsilon_{ос.Cu}} \quad (5)$$

где $\upsilon_{ос.Cu}$ – объемная скорость осаждения меди, нм^3/с; $\upsilon_{ос.AL_3O_3}$ – объемная скорость осаждения оксида алюминия, нм^3/с; $S_{распCu}$ – площадь распыления меди, мм^2; $S_{распAl_3O_3}$ – площадь распыления оксида алюминия, мм^2.

Таким образом, для определения площади вставок, необходимых для формирования структуры с заданными характеристиками, надо учитывать скорость осаждения материалов на конкретном оборудовании с определёнными геометрическими параметрами.

Заключение. Предложен метод формирования островкового тонкопленочного покрытия методом магнетронного распыления из комбинированной мишени. Приведена методика расчёта геометрии мишени и вставок для получения покрытий с заданной геометрией.

В дальнейшей работе планируется получение островковых тонких пленок меди из комбинированной мишени, оценка геометрии полученных структур.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пименов И.Е., Сидорова С.В. Вакуумное ионно-плазменное травление при формировании элементов микроэлектроники // Вакуумная наука и техника, материалы и технология. – 2023. – С. 92.

2. Монахов И.С., Тюрганов М.Г. Начальные стадии роста пленок вольфрама и меди при магнетронном распылении // Московский государственный институт электроники и математики (ТУ). – С. – С. 1-5.

3. Сидорова С.В. Обзор методов формирования и модулирование роста островковых наноструктур в вакууме // Сборник трудов 3 Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России», Москва, 2010.

4. Streletskiy O.A. et al. Size control of silver nanoclusters during ion-assisted pulse-plasma deposition of carbon-silver composite thin films // Vacuum. – 2020. – Т. 175. – С. 109286.

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРОЙНЫХ ХЕЛАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЭССЕНЦИАЛЬНОГО МИКРОЭЛЕМЕНТА ЦИНКА, 3-ПИРИДИНКАРБОКСАМИДА И НЕЗАМЕНИМОЙ АМИНОКИСЛОТЫ – ТРИПТОФАНА

Пирогов М.А., Татов А.В., Серов А.М., Голик Д.Б., Аскерова А.С.
Научный руководитель: к.т.н. Костенко К.В.

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

Аннотация. *В статье с помощью молекулярного редактора IQmol и программы QChem проводилось квантово-химическое моделирование тройных хелатных комплексов эссенциального микроэлемента цинка, 3-пиридинкарбоксамида и незаменимой аминокислоты – триптофана. Установлено, что формирование тройного хелатного комплекса является энергетически выгодным и химически стабильным. Также определена оптимальная модель взаимодействия атома цинка с 3-пиридинкарбоксамидом и триптофаном.*

Ключевые слова: *квантово-химическое моделирование, тройные хелатные комплексы, эссенциальный микроэлемент, незаменимая аминокислота, метионин, химическая жёсткость*

В настоящее время наблюдается дефицит эссенциальных микроэлементов в различных регионах Российской Федерации [1]. Одним из перспективных решений данной проблемы является разработка различных пищевых продуктов, обогащённых высокоусвояемыми формами эссенциальных микроэлементов [2]. Эффективной формой эссенциальных микроэлементов является создание хелатных комплексов с витаминами и аминокислотами [3]. Таким образом, целью данной работы является квантово-химическое моделирование тройных хелатных комплексов эссенциального микроэлемента цинка, 3-пиридинкарбоксамида и незаменимой аминокислоты – триптофана, необходимое для определения возможности формирования хелатных комплексов. Квантово-химическое моделирование тройных хелатных комплексов эссенциального микроэлемента цинка, 3-пиридинкарбоксамида и незаменимой аминокислоты – триптофана проводилось в молекулярном редакторе IQmol. Рассматривалось взаимодействие атома цинка с 3-пиридинкарбоксиамидом через карбоксильную группу и атом азота в пиридиновом кольце, а также с триптофаном через карбоксильную группу и одну из аминогрупп. Рассчитывали значения полной энергии молекулярного комплекса (E), характеризующей энергетическую выгоду взаимодействия и энергии высшей заслённой (E_{HOMO}) и низшей свободной (E_{LUMO}) молекулярных орбиталей, половина разницы которых равна химической жёсткости (η), характеризующей стабильность системы. Расчёт проводился в программе QChem с помощью метода HF и базиса 6-31G.

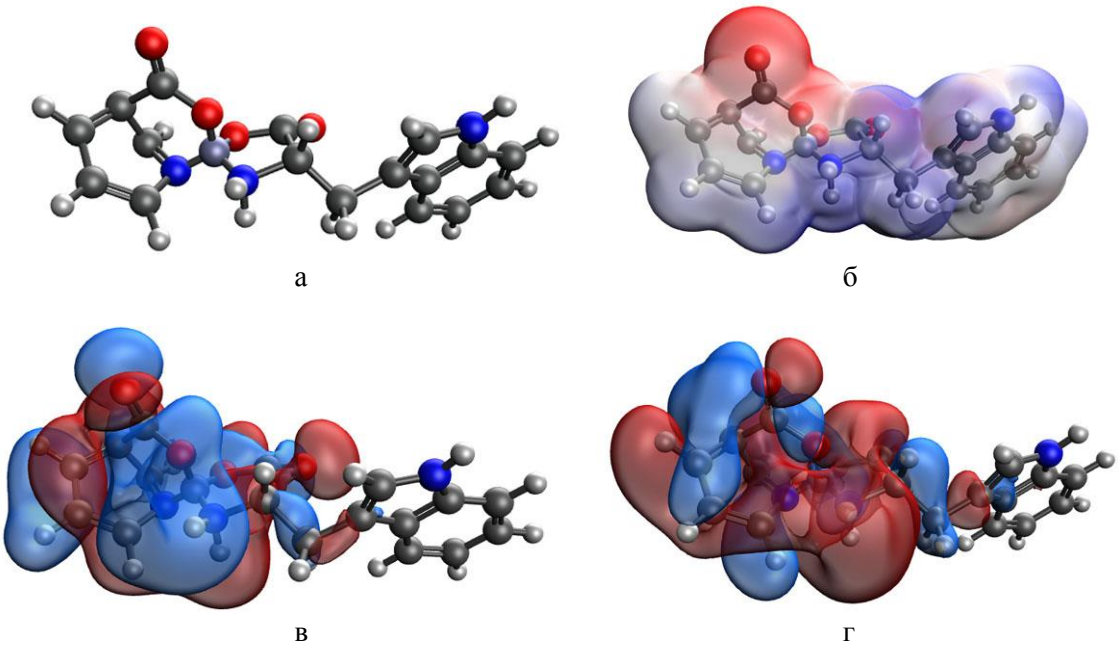
В результате квантово-химического моделирования получены значения, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Результаты квантово-химического моделирования

Молекулярная система	E, ккал/моль	E_{HOMO}, эВ	E_{LUMO}, эВ	η, эВ
3-пиридинкарбоксамида	-436,838	-0,260	-0,064	0,098
Триптофан	-686,324	-0,185	-0,001	0,092
Тройной хелатный комплекс, в котором взаимодействие цинка с триптофаном происходит через карбоксильную группу и α-аминогруппу	-2897,547	-0,253	-0,091	0,081
Тройной хелатный комплекс, в котором взаимодействие цинка с триптофаном происходит через карбоксильную группу и аминогруппу в индольном радикале	-2897,265	-0,224	-0,112	0,056

На основе полученных данных установлено, что формирование тройных хелатных комплексов является энергетически выгодным, так как полная энергия хелатных комплексов меньше полной энергии компонентов ($E \leq -2897{,}265$ ккал/моль), а также химически стабильным, так как наблюдается незначительное падение химической жёсткости по сравнению с моделями молекул 3-пиридинкарбоксамида и триптофана ($0{,}056 \leq \eta \leq 0{,}081$ эВ). Установлено, что оптимальной структурой хелатного комплекса ($E = -2897{,}547$ ккал/моль, $\eta = 0{,}081$ эВ) является взаимодействие цинка с 3-пиридинкарбоксамидом происходит через карбоксильную группу и атом азота в пиридиновом кольце, а с триптофаном через карбоксильную группу и α-аминогруппу. Модель данного взаимодействия представлена на рис. 1.



Результаты моделирования тройного хелатного комплекса, в котором взаимодействие цинка с 3-пиридинкарбоксамидом происходит через карбоксильную группу и атом азота в пиридиновом кольце, а с триптофаном через карбоксильную группу и α-аминогруппу: а – модель молекулярного комплекса; б – распределение электронной плотности; в – высшая заселённая молекулярная орбиталь; г – низшая свободная молекулярная орбиталь

На основе полученных моделей можно сделать вывод, что наблюдается формирование высшей заселённой и низшей свободной молекулярных орбиталей, а также положительного и отрицательного заряда в области взаимодействия атома цинка с молекулами 3-пиридинкарбоксамида и триптофана, что свидетельствует о формировании химической связи между молекулами и атомом цинка.

В результате работы подтверждена возможность формирования тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента цинка, 3-пиридинкарбоксамида и незаменимой аминокислоты – триптофана, а также определена оптимальная модель взаимодействия. В дальнейшем будет проводиться исследование процесса получения данного комплекса.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00167, https://rscf.ru/project/24-26-00167/.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

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

2. Дондуковская Р.Р. Коррекция рациона питания пловцов с использованием биологически активных добавок / Р.Р. Дондуковская, Е.В. Ломазова // Плавание. Исследования, тренировка, гидрореабилитация: Материалы, 2003. – Т. 2. – С. 222.

3. Блинов А.В. Аскорбатотреонинат железа (II) – новая хелатная форма эссенциального микроэлемента железа / А.В. Блинов, А.Б. Голик, А.А. Гвозденко и др. // Индустрия питания, 2024. – Т. 9. – № 1. – С. 82-90.

ХЕМОРЕЗИСТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКИСЛЕННЫХ ТИТАН-ВАНАДИЕВЫХ МАКСЕНОВЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР

Плугин И.А.[1], Симоненко Н.П.[2], 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*

Аннотация. *В работе изучены хеморезистивные характеристики окисленных гибридных максеновых гетероструктур вида $Ti_{0,2}V_{1,8}C$, $Ti_{0,5}V_{1,5}C$, $Ti_{1,0}V_{1,0}C$, $Ti_{1,5}V_{0,5}C$, $Ti_{1,8}V_{0,2}C$ в составе мультисенсорной линейки при нагреве до 320° С. Показано, что сопротивление данных структур изменяется при воздействии паров спиртов и аммиака, с наибольшей чувствительностью к этанолу. Обнаружено, что увеличение содержания Ti при уменьшении V в составе максеновых гетероструктур приводит к увеличению хеморезистивных откликов.*

Ключевые слова: *мультисенсорная линейка, окисленные двумерные титан-ванадиевые гетероструктуры, максены, хеморезистор*

Современное развитие робототехники ведет к необходимости оснащения многочисленных устройств системами, позволяющими анализировать окружающую среду. Соответственно, повышаются требования к первичным преобразователям, в частности

датчикам газа и газоаналитическим системам, среди которых необходимо отметить низкие масса/габаритные показатели и селективность. Большинство существующих устройств для данного приложения не соответствуют ожиданиям пользователей. В связи с чем в данной работе рассмотрено создание хеморезистивного газоанализатора типа «электронный нос» на одном кристалле.

Газочувствительные характеристики такого устройства зависят главным образом от материала сенсорного слоя. Известно, что наибольшая чувствительность в сенсорах достигается при применении наноматериалов с пониженной размерностью, а селективность обеспечивается внесением вариаций сенсорного слоя. В данной работе была разработана однокристальная мультисенсорная линейка с сенсорным слоем на основе набора окисленных $Ti_{2-x}V_xC$ максенов различной стехиометрии (рис. 1, а) и изучены ее хеморезистивные характеристики.

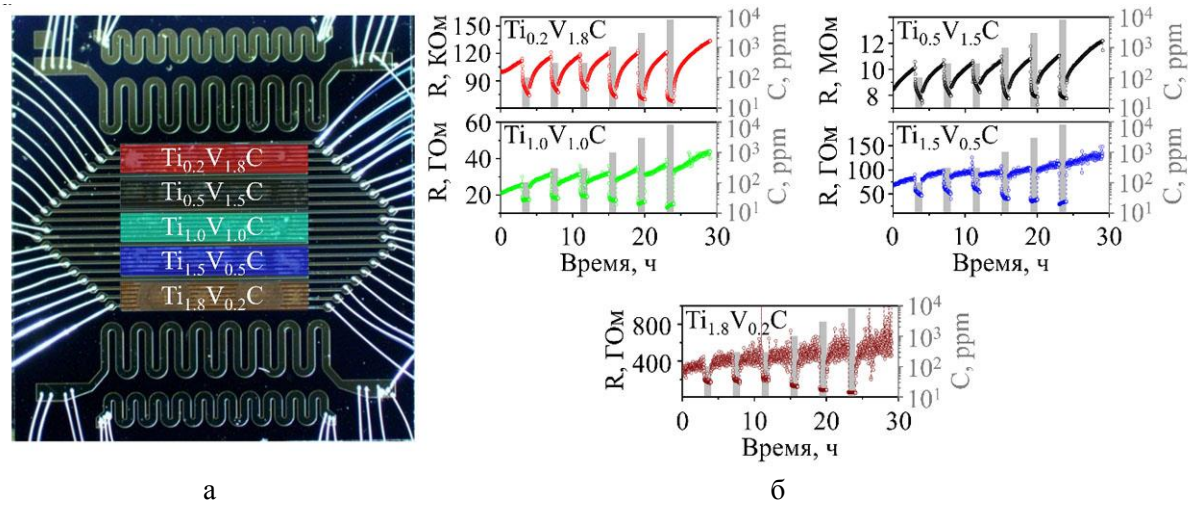


Рис. 1. Мультисенсорный чип на основе окисленных $Ti_{2-x}V_xC$ максенов: а – фотография картой сенсорных слоев; б – изменение R(t) типичного сенсора на основе максенов $Ti_{0,2}V_{1,8}C$, $Ti_{0,5}V_{1,5}C$, $Ti_{1,0}V_{1,0}C$, $Ti_{1,5}V_{0,5}C$, $Ti_{1,8}V_{0,2}C$ при взаимодействии с аммиаком в различных концентрациях, при температуре 320° С

Конструкция мультисенсорной линейки состоит из: (1) кремниевой подложки, 9x10 мм, (2) системы измерительных электродов из Au шириной 50 мкм и высотой 1 мкм, (3) нагревательных меандров, (4) терморезисторов и (5) сенсорного слоя на основе окисленных максенов состава $Ti_{0,2}V_{1,8}C$, $Ti_{0,5}V_{1,5}C$, $Ti_{1,0}V_{1,0}C$, $Ti_{1,5}V_{0,5}C$, $Ti_{1,8}V_{0,2}C$ [1].

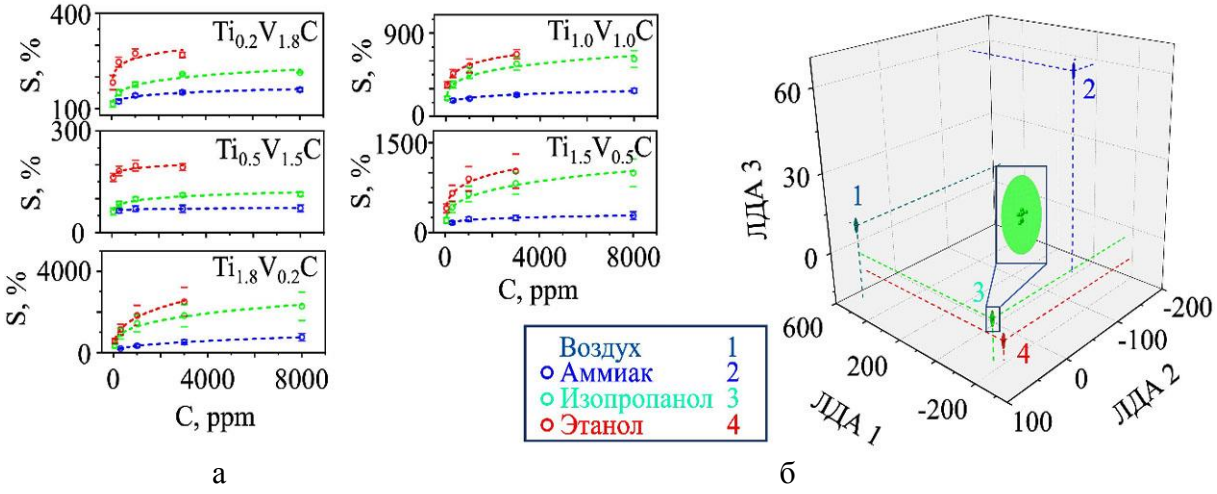
Для изучения хеморезистивных свойств данного материала мультисенсорная линейка, нагретая до 320° С, подвергалась воздействию воздуха с относительной влажностью менее 200 ppm в качестве базовой среды и паров аналитов – аммиака (рис. 1, б) и изопропанола в концентрации от 300/100 ppm до 8000 ppm, соответственно, и этанола в концентрации от 100 ppm до 3000 ppm. Как видно из рисунков, наблюдались стабильные, воспроизводимые изменения сопротивления сенсорных элементов.

Взаимодействие с парами аналитов приводило к уменьшению сопротивления сенсорных слоев, а продувка чистым воздухом восстанавливала сопротивление до исходных значений, составлявших от 100 кОм до 400 ГОм в зависимости от состава максенов. При увеличении количества Ti и уменьшении V базовое сопротивление увеличивалось. Расчеты газового отклика (рис. 2, а) в виде относительного изменения сопротивления по отношению к базовому в процентах показали, что увеличение концентра-

ции паров аналитов приводит к пропорциональному росту откликов в соответствии с степенным законом. Анализируя полученные зависимости, можно наблюдать, что данные максены являются наиболее чувствительными к парам этанола, и менее чувствительными к парам аммиака. Причем увеличение количества Ti и уменьшение V в их составе приводит к увеличению хеморезистивных откликов.

Для изучения селективности мультисенсорной линейки совокупный сигнал сенсоров был собран в единый массив данных и обработан методом линейного дискриминантного анализа (ЛДА) (рис. 2, б). Как видно из графика, центры тяжести кластеров достаточно удалены в пространстве друг от друга, что позволяет производить их распознавание.

Махолонбисово расстояние между кластерами, соответствующими воздействию аналитов в концентрации 3000 ppm, составляет 441 ед., что говорит о высокой селективности данной мультисенсорной линейки на основе окисленных $Ti_{2-x}V_xC$ максенов к видам газовых сред.



а б

Рис. 2. Хеморезистивные характеристики окисленных $Ti_{2-x}V_xC$ максенов:
а – зависимость хеморезистивных откликов от концентрации паров аналитов;
б – результаты обработки сигналов мультисенсорной линейки методом ЛДА

Таким образом, показано, что окисленные титан-ванадиевые максеновые гетероструктуры в составе мультисенсорной линейки обладают хеморезистивными откликами при нагреве до 320° С с повышенной чувствительностью к парам этанола. Увеличение содержания Ti при уменьшении V в составе максенов приводит к увеличению сопротивления слоя и его хеморезистивных откликов. При этом использование совокупности гетеро-максенов позволяет формировать селективные к летучим органическим соединениям векторные сигналы.

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.

ПРОФИЛИРОВАННЫЙ САПФИР – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОБОЛОЧЕК КОРОТКОДУГОВЫХ КСЕНОНОВЫХ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ

Потапенко А.О.
Научный руководитель: д.т.н. Гавриш С.В.

ООО «Научно-производственное предприятие «Мелитта», г. Москва

Аннотация. *В работе изучены оптическое пропускание монокристаллического сапфира в УФ-области спектра, выполнен анализ возникающих центров окраски, изучено влияние излучения плазмы на эксплуатационные характеристики лампы. Полученные результаты подтвердили перспективность применения профилированного сапфира, выращенного по методу А.В. Степанова, в качестве оболочки короткодуговых ксеноновых газоразрядных ламп УФ-излучения.*

Ключевые слова: *разряд, короткодуговая лампа, сапфир, центры окраски, дефекты структуры, УФ-излучение*

На сегодняшний день научно и экспериментально доказана эффективность применения импульсного ксенонового разряда в качестве источника УФ-излучения в спектральной области биоцидной активности микроорганизмов (200-300 нм) [1], что позволило создать типоряд серийных установок обеззараживания промышленных, офисных, медицинских и других помещений.

В настоящее время в ООО «НПП «Мелитта» продолжаются научные исследования, направленные на повышение эффективности и надежности импульсных ксеноновых ламп для оптико – электронных систем УФ-излучения. Например, в работе [2] нами было установлено, что импульсная короткодуговая лампа сверхвысокого давления (СВД) с кварцевой оболочкой (колбой) при давлениях ксенона 6-10 атм. и межэлектродных промежутках 5-10 мм позволяет обеспечить непрерывный спектр излучения в УФ-области, приближающийся к спектральному распределению излучения абсолютно черного тела при яркостной температуре около 8000 К.

Выполненный нами в данной работе анализ расчетных кривых спектрального распределения КПД (ηλ) черного цилиндрического излучателя [3] позволил определить требуемые яркостные температуры для достижения максимальной мощности излучения в диапазоне длин волн 200-300 нм (таблица 1).

Таблица 1

Максимум спектрального распределения излучения
абсолютно черного тела при различных яркостных температурах

T, K	10000	15000	20000	25000	30000
λ, нм	300	200	170	150	140

Из представленных данных видно, что достичь максимальной эффективности излучения неограниченного ксенонового разряда в диапазоне 200-300 нм возможно при обеспечении яркостной температуры в интервале 10000-15000 К. Попытка обеспечить указанные температуры в случае лампы, рассмотренной в [2], неизбежно приведет к росту тепловых нагрузок на кварцевую оболочку и, как следствие, к снижению механической прочности оболочки, сдвигу УФ-границы пропускания кварца в сторону больших длин волн, повышению выделения вредных газовых при-

месей в плазмообразующую среду и т. д. Поэтому возникает актуальная задача устранения перечисленных недостатков путем замены кварцевого стекла на трубчатый монокристаллический сапфир (корунд), доказавший свою надежность в импульсных лампах ИК-излучения и обладающий оптической прозрачностью в диапазоне от 190 до 6000 нм, высокой механической прочностью, термостойкостью и т. д. [4]. При этом важно, чтобы профилированный сапфир можно было получить в промышленных объемах. Данное условие обеспечивается выращиванием сапфировой трубы по методу А.В. Степанова с последующей шлифовкой и полировкой до обеспечения требуемых конструктивных размеров [4].

Сложность поставленной в данной работе цели исследований заключается в том, что сегодня неизвестно о влиянии условий выращивания и обработки сапфировой трубы на оптическое пропускание в УФ-области и механическую прочность оболочки разрабатываемой лампы.

Известно [4], что профилированный сапфир в процессе направленной кристаллизации монокристаллической трубы приобретает значительное количество дефектов в виде точечных включений, центров окраски, блоков, парогазовых включений и т. д. Проведенный нами обобщенный анализ научно – технической литературы позволил выявить самые распространенные виды дефектов, приводящие к снижению прозрачности в УФ-области (таблица 2).

Таблица 2

Длина волны поглощающих центров

Тип дефекта	Монокристалл с примесями					Неактивированный монокристалл			
	Mg^{+2}	V^{+3}	Ti^{+3}	Ti^{+4}	Cr^{+3}	F-центр	V-центр	R-центр	Наведенное поглощение
Длина волны, нм	220, 285, 330, 380, 470, 538,8	240, 315, 400-405, 575-580	487, 494,8	250	140, 200	175, 206, 230	280, 400	575	206, 230, 280, 400

Для проверки возможности использования сапфира в качестве оболочки газоразрядной лампы нами изучено оптическое пропускание в УФ-диапазоне корундовых труб двух производителей с различными видами обработки (рис. 1).

Как следует из представленных данных сапфировые трубы НПО «Луч» обладают более высокой прозрачностью, чем продукция ОАО «СКТБ «Ксенон». В то же время сопоставление полученных результатов с данными таблицы 2 позволяет сделать вывод, что в УФ и видимом диапазоне имеются минимумы, связанные с электронными и дырочными центрами окраски (F^- центры: 206 нм и R – центры: 575 нм). Таким образом, исходя из изученной оптической прозрачности сапфировых труб, можно сделать заключение, что возможно их применение в качестве материала оболочки газоразрядных ламп УФ-излучения, но требуется тщательный контроль оптического пропускания монокристалла (рис. 1).

Важность контрольной операции еще заключается в том, что при работе лампы под воздействием УФ излучения происходит активация центров окраски, приводящая к снижению пропускания. Для изучения этого эффекта сапфировая оболочка была подвергнута воздействию рентгеновского излучения. В результате активации дефектов колба лампы приобрела фиолетовый оттенок, и пиковая сила УФ излучения резко снизилась (рис. 2).

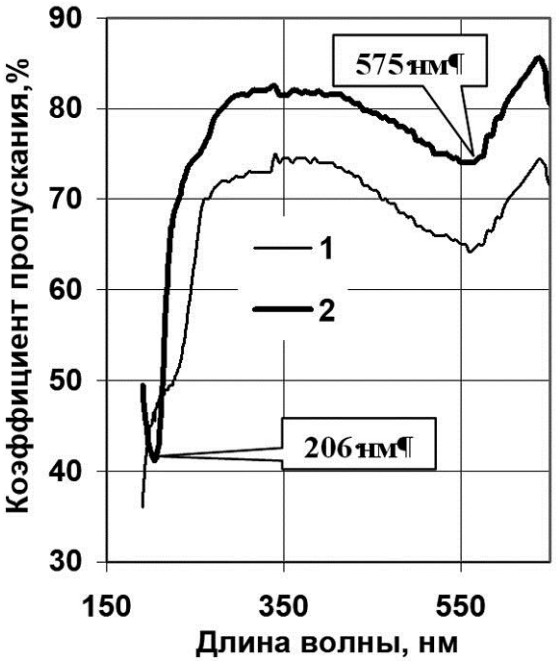


Рис. 1. Спектральное пропускание сапфировых труб, выращенных в ОАО «СКТБ «Ксенон» (1), НПО «Луч» (2)

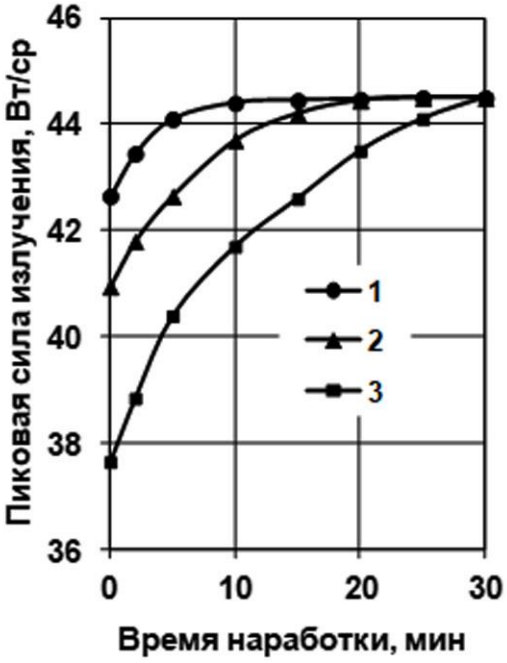


Рис. 2. Зависимость пиковой силы УФ-излучения от наработки для доз: 1-106; 2-107; 3-108 рад

При эксплуатации лампы в номинальном режиме произошел высокотемпературный отжиг центров окраски, который привел к восстановлению интенсивности излучения импульсной лампы. Обнаруженный эффект восстановления прозрачности подробно изучен в случае газоразрядных ламп с кварцевой оболочкой [5]. Поэтому, исходя из данных работы [5], в ходе производства короткодуговых ламп с сапфировой оболочкой необходимо при приемо-сдаточных испытаниях предусмотреть тренировку изготовленных источников излучения в течение 30 минут (рис. 2).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вирулицидная активность импульсного ультрафиолетового излучения сплошного спектра в отношении коронавируса SARS-CoV-2 / А.Ю. Зверев, С.В. Борисевич, Д.Н. Масякин и др. // Медицинский алфавит. – 2020. – № 18. – С. 55-58.
2. Гавриш С.В., Киреев С.Г., Потапенко А.О., Шашковский С.Г. Исследование характеристик импульсного источника УФ излучения на основе неограниченного короткодугового разряда в ксеноне // Успехи прикладной физики. – 2023. – Т. 11, № 6. С. 503-510.
3. Спектральное распределение и УФ-энергия излучения неограниченных импульсных разрядов / Л.И. Гаврилова, В.С. Гребеньков, А.С. Дойников и др. // В кн.: Импульсная фотометрия. – Л.: Машиностроение. – 1978. – Вып. 5. – С. 145-151.
4. Браиловский В.Б., Гавриш С.В., Рыжков А.Е. Дефекты структуры и диагностика характеристик труб из профилированных монокристаллов корунда для оболочек импульсных разрядных ламп ИК излучения // Контроль. Диагностика. – 2007. № 2. – С. 49-59.
5. Кобзарь А.И., Овчаров А.Т. Фотоиндуцированные процессы в оболочках импульсных ламп накачки лазеров. Ч 1. Фотоиндуцированное окрашивание оболочек импульсных ламп // Обзоры по электронной технике. Сер. Лазерная техника и оптоэлектроника – 1988. – Вып. 3. – С. 50.

ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРЫТИЯ ЗА СЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ

Прибыткова Д.А.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Пряхин Е.И.

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург

Аннотация. *В работе предлагается метод повышения механических свойств эмалевых покрытий за счет совершенствования технологии предварительной подготовки основы перед нанесением защитного эмалевого покрытия. Предварительная обработка поверхности производилась с помощью лазерного излучения и включала в себя очистку поверхности от небольшого количества загрязнений, обезжиривание, формирование заданной шероховатости за одну технологическую операцию. Оценка проводилась по двум параметрам: адгезии к поверхности и прочности на удар.*

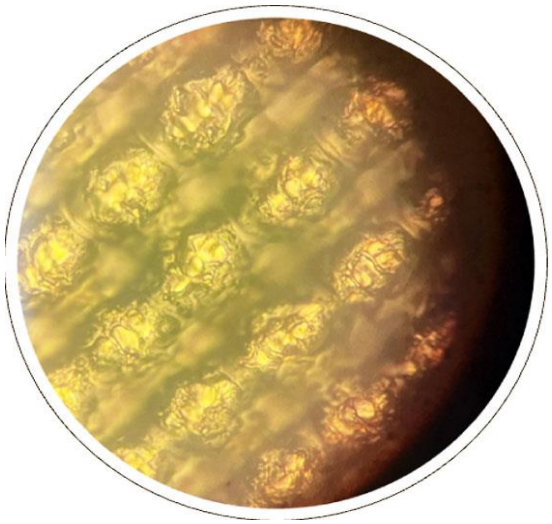
Ключевые слова: *лазерная обработка, адгезионная прочность покрытий, шероховатость, полиуретановая эмаль, эпоксидная эмаль*

В настоящее время поиски решения по повышению механических свойств эмалевых покрытий производятся в различных направлениях, например, с помощью модернизации состава эмали различными полимерными компонентами [1-3]. Несомненно, что эти параметры зависят от характера взаимодействия между покрытием и основой, состава самой эмали. Тем не менее, свойства покрытия и его взаимодействие с подложкой во многом зависят от состояния самой подложки: степени ее очистки и шероховатости [4, 5].

В представленной работе подготовка проводилась с помощью импульсного волоконного лазера. Плюсы технологии перед применяемыми методами струйной обра-

ботки: 1) возможность точно контролировать параметры шероховатости. В ходе тестовых испытаний были получены поверхности от 7 до 5 класса шероховатости. 2) в отличие от методов струйной обработки, формирующих рельеф хаотическим ударом частиц, лазерный луч позволяет создавать развитую структуру поверхности со сложным рельефом, при этом сохраняя значения Ra и Rz на протяжении всей зоны обработки.

Для проведения эксперимента был выбран следующий режим: 2 прохода с углом пересечения 90°. Увеличенное изображение рельефа поверхности представлено на рисунке.



Микроструктура поверхности после лазерной обработки. Объектив 20х

На полученную поверхность наносилась эмаль. В эксперименте участвовало два вида эмалей: полиуретановая и эпоксидная, оба вида наносились 1 – с грунтовочным фосфатирующим слоем, 2 – с лазерной обработкой без него.

Оба покрытия выдержали адгезионные испытания методом решетчатого надреза без каких-либо отслоений, а также показали практически одинаковый результат при проверке на отрыв со средними показателями более 8 МПа на эпоксидном клее. Это говорит нам, что сложная структура поверхности позволяет добиться тех же параметров адгезии, что и при использовании специальных грунтующих композиций.

Повышение механических характеристик покрытия подтверждается пир оценке прочности покрытий на удар. Эпоксидная эмаль, нанесенная на чистую, обработанную лазером заготовку выдержала падение бойка с высоты 50 см, в то время как полиуретановая эмаль выдержала высоту 40 см. Образцы с фосфатом проявили себя хуже или на том же уровне.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Абсоатов Ю.К. [и др.] Зависимость адгезивной прочности эпоксидного покрытия на поверхности стали от количества уретанового модификатора // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. 2022, Т. 96, № 6. С. 57-62.

2. Прокопчук Н.Р., Сырков А.Г., Клюев А.Ю., Лаптик И.О. Механические свойства эпоксидных покрытий на металле, усиленных наночастицами разной природы // Цветные Металлы. 2023, № 8. С. 25-29.

3. Nadirov K.S. [et al.] The study of the gossypol resin impact on adhesive properties of the intermediate layer of the pipeline three-layer rust protection coating // International Journal of Adhesion and Adhesives, 2017. Vol. 78. Pp. 195-199.

4. Song J., Huang H., Wang X. et al. Status and prospects of surface texturing: design, manufacturing and applications // Surface Science and Technology. 2023. Vol. 1, No. 21.

5. Прибыткова Д.А., Пряхин Е.И. Анализ методов повышения адгезионной прочности коррозионностойких покрытий трубопроводов теплосетей // Дизайн. Материалы. Технология. – 2024. – № 1 (73). – С. 142-147.

ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ПОЛИМЕРНО-ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ, НАНЕСЕННЫХ НА ИЗДЕЛИЯ ИЗ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Пузаков А.В.
Научный руководитель к.х.н. Гоц И.Ю.

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

Аннотация. *В статье исследуется влияние толщины покрытия на его сопротивление к истиранию.*

Ключевые слова: *порошковые покрытия, неорганический подслой, истирание, сплав*

Полимерно-порошковые покрытия (ппк) зарекомендовали себя как покрытия с хорошими адгезионными показателями, высокой коррозионной стойкости, хорошей абразивостойкостью и устойчивостью к механическим повреждениям.

Высокий уровень стойкости ппк к механическим повреждениям открывает широкий спектр возможностей для использования ее в промышленных целях. Эти покрытия получили свое широкое распространение в автомобильной промышленности, в частности, в покраске автомобильных колесных дисков. Благодаря хорошему показателю безотходности производства данный вид покрытия имеет существенное преимущество в сравнении с лакокрасочным [1].

Для улучшения эксплуатационных свойств изделия, на его поверхность наносится неорганический слой покрытия, на который впоследствии будет нанесена порошковая краска. Толщина покрытия в таком случае будет выше обычного покрытия с краской. Благодаря повышенной толщине покрытия и увеличении адгезионных свойств самой порошковой краски, получившееся покрытие имеет увеличенный запас показателя износостойкости [2].

Целью настоящей работы явилось исследование толщины покрытия образцов из алюминиевого сплава АМг2 ГОСТ 4784-2019 [3] с предварительно нанесенными на них порошковым покрытием и порошковым покрытием с неорганическим подслоем при помощи исследования на истирание согласно ГОСТ Р 31993 [4].

Измерения толщины покрытия выполнялось на оптическом изображении выемки, полученной методом шарового истирания, при помощи измерительного программного обеспечения. Выемка образовалась на образце с покрытием с помощью вращающегося шара, смоченного абразивной суспензией.

Определение толщины покрытия проводилось исходя из радиуса шара и размерных характеристик выемки. Важным условием для применения методики являлся оптический контраст между материалами покрытия и основания, который позволял обнаружить границу раздела между ними [5].

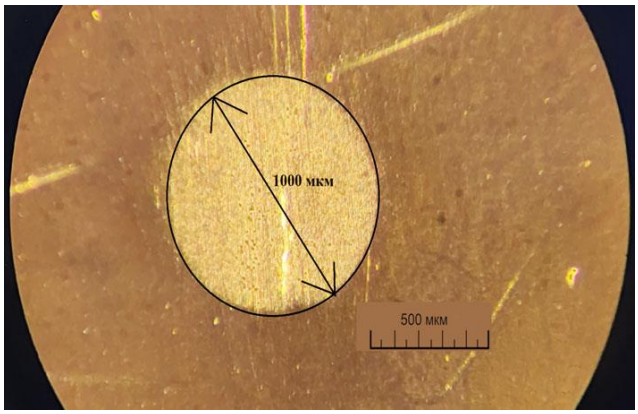


Рис. 1. Диаметр выемки образца № 1 после истирания на образце
с нанесенным полимерно-порошковым покрытием

В ходе исследования рассматривались образцы с порошковым покрытием, нанесенным на исследуемый образец, и с покрытием, нанесенным на предварительно подготовленный образец с неорганическим подслоем. Для удобства образцы с неорганическим подслоем и без него были окрашены в разные цвета.

Исследование на истирание проводилось на устройстве абразивного шарового истирания константа Ш2. В качестве абразивного элемента применялась абразивная суспензия дисперсностью 3 мкм.

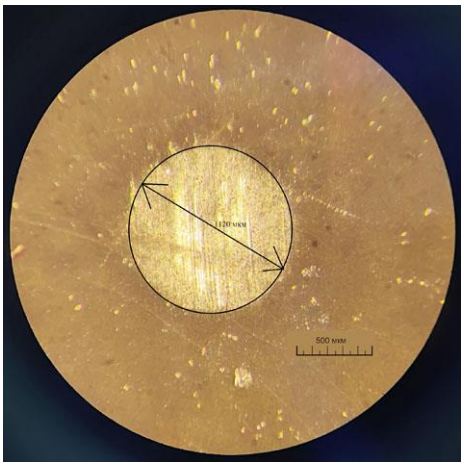


Рис. 2. Диаметр выемки образца № 2 после истирания на образце
с нанесенным полимерно-порошковым покрытием

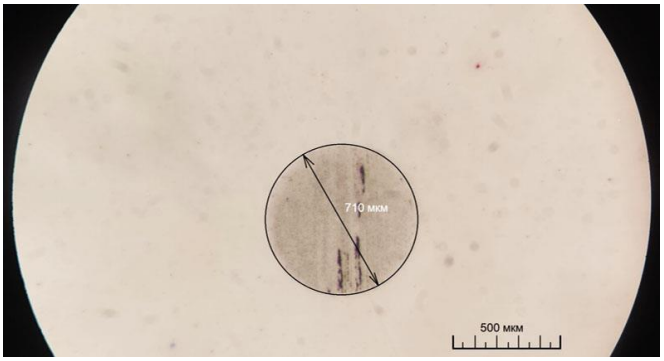


Рис. 3. Диаметр выемки образца № 3 после истирания на образце
с нанесенным полимерно-порошковым покрытием на неорганический подслой

В соответствии с рекомендациями по проведению измерений, для данного исследования был выбран шар истирания диаметром 20. Исследование проводилось 13 раз.

Рис. 4. Диаметр выемки образца № 4 после истирания на образце
с нанесенным полимерно-порошковым покрытием на неорганический подслой

Полная глубина проникновения сферообразной выемки рассчитывается по уравнению:

$$L_T = r_{bm} - \sqrt{r_{bm}^2 - D^2 \div 4} \quad (1)$$

Глубина проникновения в основание ниже границы раздела покрытие/основание определяется уравнением:

$$l_t = r_{bm} - \sqrt{r_{bm}^2 - d^2 \div 4} \quad (2)$$

Толщина покрытия рассчитывается в соответствии с уравнением:

$$h = L_T - l_t . \quad (3)$$

Значение r_{bm} рассчитывается по формуле

$$r_{bm} = \frac{\sum_{i=1}^{n} r_{bl}}{n} . \quad (4)$$

При проведении расчетов получили среднюю толщину покрытия у образцов с полимерным покрытием – 73 мкм, а у образцов с полимерным покрытием, нанесенным на неорганический подслой, среднее значение толщины составило 154 мкм.

Вывод: при проведении исследований на истирание, с учетом погрешности в среднем значении до 5 %, была определены толщины полимерно-порошковых покрытий с учетом подслоя и без. Согласно полученным результатам значения толщины покрытий у образцов с нанесенным ппк составили в среднем 73 мкм, а с полимерно-порошковым покрытием и предварительно нанесенным неорганическим подслоем – 154 мкм.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Яковлева А.Д. Порошковые краски, технология покрытий, 2001. – с. 12-16.

2. 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, № 1 (34).

3. ГОСТ 4784-2019 Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки: дата введения 01.09.2019. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 8 с.

4. ГОСТ 31993-2013 Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия: дата введения 01.08.2014. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 3 с.

5. Руководство по эксплуатации. Устройство абразивного шарового истирания константа Ш2. 12.10.2021. – Саратов: Ока, 2021 – 27-28с.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ОТХОДОВ ПОЛИСТИРОЛА И МОДИФИЦИРОВАННОГО ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ

Невская В.А., Растегаев О.Ю.
Научный руководитель: д.х.н., профессор Растегаев О.Ю.

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

Аннотация. *Получены композиционные материалы из растворов отходов полистирола в качестве связующего и наполнителя – модифицированного тяжелыми металлами (медью, никелем, железом, кобальтом) полититаната калия, которые изучены физико-химическими методами.*

Ключевые слова: *отходы полистирола, полититанат калия, тяжелые металлы, медь, никель, железо, кобальт, физико-химические методы, композиционный материал*

В современных технических изделиях широко применяются функциональные композитные и нанокомпозитные материалы с полимерными связующими, которые позволяют развиваться современной технологии в направлении разработки новых функциональных изделий, в связи с этим разработки новых видов нанокомпозитных материалов, которые могли бы обладать разнообразными механическими, оптическими свойствами, высокой каталитической активностью и другими практически важными свойствами, уделяется большое внимание.

В качестве исходного компонента для синтеза таких материалов может быть использован аморфный полититанат калия, а в качестве полимерного связующего отходы полистирола [1-5].

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 $см^{-1}$.

Рентгеновский фазовый анализ проведен на дифрактометре ARL X'TRA фирмы Thermo Scientific (Швейцария) с использованием CuKα-излучения ($\lambda CuK\alpha$ = 0,15412 нм) в диапазоне углов 2Θ (5-60°). 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).

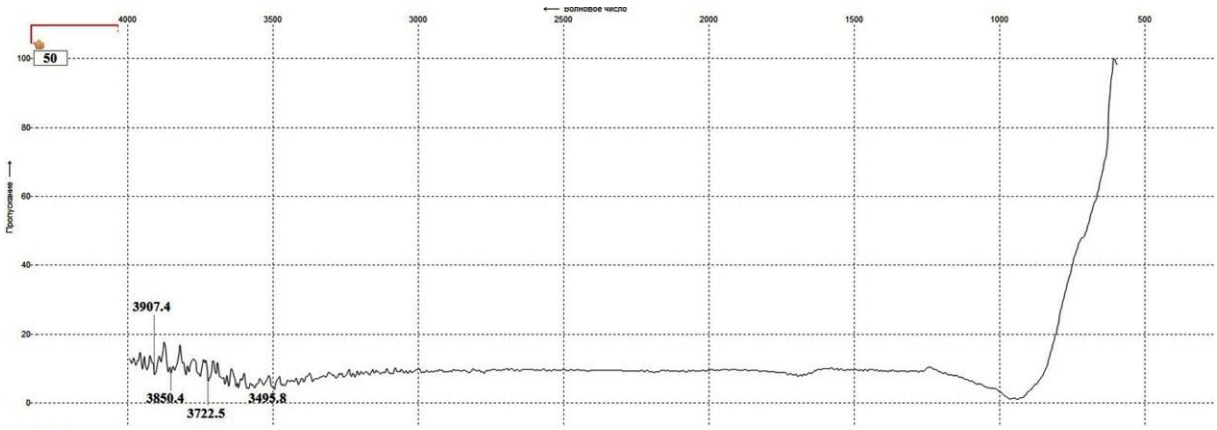


Рис. 1. ИК-спектр ПТК, модифицированного Cu (2+)

Рентгенофазовый анализ ПТК и ПТК, модифицированного Cu (2+), указывает на то, что кристаллические фазы в полученном продукте не появились; образцы являются аморфными (рис. 2).

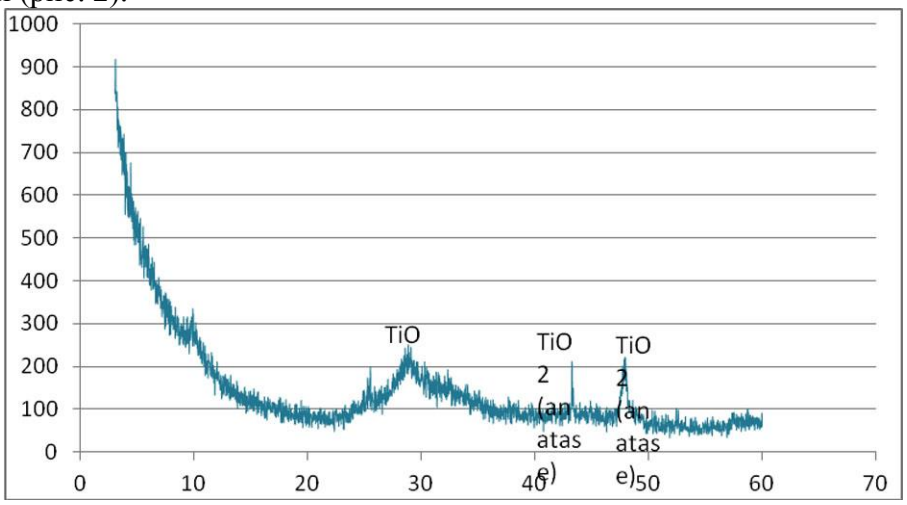


Рис. 2. РФА ПТК, модифицированного Cu (2+)

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).

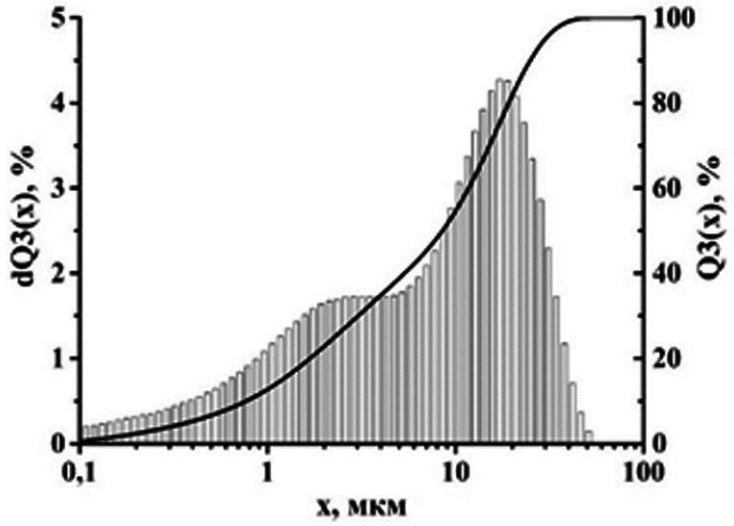


Рис. 3. Распределение частиц по размерам ПТК, модифицированного Cu (2+)

Аналогично проводилась модификация ПТК двухвалентными кобальтом, никелем, железом. Полистирол является широко используемым полимером для изготовления разнообразных композиционных материалов, при этом образуется большое количество отходов, переработка которых является актуальной задачей [5], поэтому мы использовали отходы упаковки из полистирола. Первоначально готовился 4-10 % раствор полистирола в различных малополярных растворителях и их смесях (углеводороды, хлорированные углеводороды, кетоны, спирты). Затем раствор полистирола и твердого порошка ПТК, взятого в количестве 3-10 % к массе полистирола, перетирался в шаровой мельнице в течение 2-30 мин, затем производился отлив пленки в специальной форме. Сушка пленок производилась в воздушной атмосфере при температуре 20÷70° С в течение 3÷100 часов (рис. 3). Физико-химические свойства пленок изучены методами ИК-спектроскопии, гравиметрии, РФА, микроскопии.

Рис. 4. Пленка полистирол – ПТК, модифицированный Co (2+)

Таким образом, разработана методика получения композиционных материалов, полученных из растворов отходов полистирола с модифицированными полититанатами калия тяжелыми металлами (медью, никелем, железом, кобальтом), которые изучены физико-химическими методами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gorokhovsky A.V., Escalante-García J.I., Sánchez-Monjarás T., Gutiérrez-Chavarría C.A. Synthesis of potassium polytitanate precursors by treatment of TiO_2 with

molten mixtures of KNO_3 and KOH // Journal of the European Ceramic Society. – 2004. – № 24. – P. 3541-3546.

2. Кособудский И.Д., Гороховский А.В., Никитина Л.В. Синтез нанокомпозиционных никельсодержащих соединений на основе полититаната калия // IX Международная научная конференция. – 2009. – С. 427.

3. Третьяченко Е.В., Смирнова О.А., Никитюк Т.В., Викулова М.А., Ковалева Д.С. Взаимодействие наноразмерных полититанатов калия с растворами солей переходных металлов // Башкирский химический журнал. – 2012. – Т. 19, № 1. – С. 38-41.

4. Гоффман В.Г., Гороховский А.В., Горшков Н.В., Телегина О.С., Ковнев А.В., Орозалиев Э.Э., Слепцов В.В. Импедансная спектроскопия полимерного композита на основе базового полититаната калия // Электрохимическая энергетика. – 2014. – Т. 14. № 3. – С. 141-148.

5. Полимерные композиционные материалы: учебное пособие. Часть 2 / сост. Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 130 с.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ХЕМОСОРБЕНТ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

Черников С.Н., Растегаев О.Ю.
Научный руководитель: д.х.н., профессор Растегаев О.Ю.

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

Аннотация. *Предложен высокоэффективный хемосорбент серосодержащих соединений и разработаны новые методики определения общей серы в атмосферном воздухе, промышленных выбросах и отходах с его использованием.*

Ключевые слова: *хемосорбент, серосодержащие соединения, общая сера, методики определения, атмосферный воздух, промышленные выбросы, отходы*

Объем производства серосодержащих соединений, например каучуков в России составил 1,7 млн.т. [1], из которых затем производятся серосодержащие композиты различного назначения. Рынок сероасфальтобетонов и серобетонов оценивается в 10 млн.т. [2]. При функционировании производств серосодержащих композиционных материалов в окружающую среду могут выделяться самые разнообразные многочисленные органические и неорганические соединения, поэтому важно разработать высокоэффективные хемосорбенты серосодержащих соединений, которые затем могут быть использованы при очистке материалов, производственных помещений и для разработки методик их определения в природных и промышленных средах, при этом разработка методик определения каждого конкретного серосодержащего соединения может занять несколько лет, поэтому целесообразно для экспрессной оценки состава объектов экологического контроля и мониторинга применить показатель «общая сера», как суммарное содержание серосодержащих соединений.

Необходимость введения данного показателя обусловлена химической спецификой поведения сероорганических соединений в окружающей среде, в частности – тиолы легко окисляются в дисульфиды, а затем сульфокислоты, а сульфиды – в сульфоксиды, сульфоны и также сульфокислоты [3], т. е. одни серосодержащие соединения в отличие от других классов органических соединений находятся в смеси с другими серосодержащими веществами.

Учитывая тот факт, что серосодержащие соединения претерпевают быстрые взаимные превращения, необходимо было разработать универсальный адсорбент для всех классов серосодержащих соединений в различных агрегатных состояниях: соли сульфоновых кислот и аминосульфидов – в виде пыли, высококипящие тиолы, сульфиды, сульфоксиды – в виде аэрозолей и в виде газов. Известно, что для улавливания пылей и аэрозолей эффективно применяются фильтры АФА-ВП, которые в свою очередь не задерживают газы и пары легколетучих жидкостей [4]. Для решения проблемы улавливания газов и паров, были использованы химически модифицированные фильтры. Для выявления наиболее эффективного химически модифицированного сорбента, был проведен ряд экспериментов. В качестве носителя хемосорбента были использованы фильтры типа «Молескин».

В экспериментах по изучению эффективности хемосорбции в качестве модельного вещества был применён этандитиол-1,2. Эксперименты по установлению сорбционной емкости определяли методом «отдувки» до появления «проскока». Газовоздушную смесь, содержащую определённое количество этандитиола-1,2, прокачивали через модифицированные фильтры с помощью аспиратора, варьируя скорость аспирирования, порядок размещения и количество фильтров.

В ходе протекающих на фильтре реакций этандитиол-1,2 химически связывался и переходил в форму, легко растворимую в соляной кислоте. После экстракции с фильтра проводили окисление полученного комплексного соединения и определяли содержание серы в экстракте турбидиметрически. Как показал эксперимент, наиболее эффективными оказались фильтры, пропитанные модифицирующим раствором, состоящим из хлорида цинка и формалина, со степенью сорбции 96-97 %.

Разработанные хемосорбенты могут быть использованы в аппаратах очистки различных газовоздушных сред, для предохранения материалов и реактивов от загрязнения серосодержащими соединениями, для очистки уже загрязненных материалов, для разработки методик определения серосодержащих соединений на различных объектах.

Для целей установления общего уровня содержания серосодержащих соединений в атмосферном воздухе, промышленных выбросах и отходах были разработаны отсутствующие ранее методики анализа указанных соединений как показатель «общая сера». Определение общего уровня содержания серосодержащих соединений необходимо для составления и проверки материального баланса, и в конечном итоге – для установления соблюдения технологического процесса. Кроме того, превышение величин общего содержания серосодержащих соединений над суммарным содержанием отдельно анализируемых индивидуальных соединений будет указывать на образование ранее неизвестного вещества, что позволит повысить уровень аналитического контроля за технологическим процессом производства или переработки отходов.

Для оценки состояния промышленных выбросов и атмосферного воздуха разработана «Методика выполнения измерений содержания серы общей в промышленных выбросах и атмосферном воздухе турбидиметрическим методом». Базовая схема проведения анализа состояла в хемосорбции серосодержащих веществ на фильтрах, экстракции серосодержащих веществ из фильтров, их окисление до сульфатов с последующим турбидиметрическим окончанием с хлоридом бария. При разработке методики в качестве модельных соединений были использованы гидрохлорид 2-(диэтиламино) этилмеркаптана и этандитиол-1,2.

Минерализация модельных соединений с использованием азотной кислоты для перевода серы в сульфат–ион не дала положительных результатов, поэтому окисление проводили комплексным составом окислителей в более жестких условиях: нитратом

калия и перекисью водорода в щелочной среде, доводя сухой остаток после выпаривания раствора до сплавления.

Правильность оценивалась методом «введено – найдено». Экспериментально полученная эффективность окисления составила 99 %. Для проведения пробоотбора предложены комбинированные фильтры, состоящие из 2-х фильтров, АФА–ВП и химически модифицированного фильтра из ткани «Молескин».

Для перевода органической серы в сульфатную предложена минерализация путём окислительно-щелочного сплавления с помощью азотнокислого калия и перекиси водорода в щелочной среде. Данный метод позволяет разрушить органическую составляющую вещества и перевести серу в сульфат, что позволяет провести измерение взвеси сульфата бария турбидиметрическим методом.

$$HCl*(C_2H_5)_2N\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}S\text{-}H + 14KNO_3 + 10H_2O_2 + 16NaOH \longrightarrow$$
$$Na_2SO_4 + 6Na_2CO_3 + 26H_2O + NaNO_2 + 14KNO_2 + NaCl$$

Диапазон измеряемых концентраций определялся, исходя из значений санитарно-гигиенических нормативов, нормативов ПДВ ряда предприятий химической, нефтехимической, пищевой промышленности, и составил от 0,001 до 10,0 мг/м^3 [5].

Методика выполнения измерений массовой доли общей серы в отходах производства фотометрическим методом основана на той же методологии, что и методика для атмосферного воздуха и позволяет определять серу в отходах в диапазоне от $1{,}0\cdot10^4$ до $10{,}0\cdot10^4$ мг/кг [6].

Апробация указанных методик на реальных пробах атмосферного воздуха, промышленных выбросов и отходов позволяет рекомендовать их для использования в программах экологического государственного и производственного контроля и мониторинга производств композиционных материалов.

Разработанные хемосорбенты могут быть использованы в самых различных отраслях: аппаратах очистки различных газовоздушных сред, для предохранения материалов и реактивов от загрязнения серосодержащими соединениями, для очистки уже загрязненных материалов, для разработки методик определения серосодержащих соединений на различных объектах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Интернет-компания «4Точки» https://www.4tochki.ru/about/.

2. Мотин Н.В., Васильев Ю.Э., Шубин А.Н., Алехина М.Н., Ткачев В.П. О целесообразности создания новой подотрасли промышленности – серных строительных композитов. НефтеГазоХимия. № 1 2016. С. 8-13. (WWW.OG-CHEMISTRY.RU).

3. Химия окружающей среды. Под ред. Бокриса Дж.О.М. М.: Химия, 1983. т. 5. 720 с.

4. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов. М.: Химия, 1996. 317 с.

5. Методика выполнения измерений содержания серы общей в промышленных выбросах и атмосферном воздухе турбидиметрическим методом, МВИ № 031-01-243-07.

6. Методика выполнения измерений массовой доли общей серы в отходах производства фотометрическим методом МВИ № 031-02-118-04.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СТАБИЛИЗАТОРА ДЛЯ НАНОРАЗМЕРНОГО СЕЛЕНА

Рехман З.А., Блинов А.В., Пирогов М.А., Аскерова А.С.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Блинова А.А.

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

Аннотация. *В статье представлен химический метод синтеза наноразмерного селена, стабилизированного полисахаридами. Наночастицы получали методом восстановления в водной среде с использованием селенсодержащего прекурсора – селенистой кислоты. В качестве стабилизаторов использовали соединения, относящиеся к поверхностно-активным веществам, полисахаридам, аминокислотам и белкам. Для исследования стабилизации проводили визуальную оценку полученных образцов, а также измеряли средний гидродинамический радиус и электрокинетический потенциал полученных частиц.*

Ключевые слова: *селен, полисахариды, средний гидродинамический радиус, устойчивость частиц*

В последнее время исследования наночастиц различных металлов, оксидов и органических соединений, приобретают все большую актуальность. Селен является важным микроэлементом, который способен даже в малых дозах влиять на физиологические процессы в организме [1]. Наибольшее влияние он оказывает на работу эндокринной системы, а также является составным элементом антиоксидантных ферментов глутатионпероксидазы.

Наночастицы селена обладают большей биодоступностью по сравнению с органической или неорганической формой [2]. Однако использование наноселена имеет ограничения, так как в водной среде он коагулирует, поэтому нуждается в стабилизации различными соединениями. Так, для стабилизации используют поверхностно-активные вещества, биополимеры, спирты [3].

Целью данного исследования является определение оптимального стабилизатора для наночастиц селена.

Наночастицы получали методом химического восстановления в водной среде. Стабилизаторами выступали поверхностно-активные вещества – кокамидопропилбетаин, цетилтриметиламмония бромид, лауретсульфат натрия, *Kolliphor HS 15*, белки – бычий сывороточный альбумин, желатин, полисахариды – метилцеллюлоза, гидроксиэтилцеллюлоза В30К, хитозан, амилопектин, аминокислота – *L*-цистеин, в качестве восстановителя использовали аскорбиновую кислоту, а селенсодержащим прекурсором являлась селенистая кислота.

Исследование размера полученных наночастиц селена проводили методом динамического рассеяния света (*DLS*) на приборе Photocor-Complex (ООО «Антек-97», Российская Федерация), а исследование ζ-потенциала проводили методом акустической и электроакустической спектроскопии на установке *DT-1202* (*Dispersion Technology Inc.*, США). Результаты представлены в таблице.

Анализ полученных данных показал, что среди поверхностно-активных веществ оптимальным стабилизатором является кокамидопропилбетаин с радиусом 10 нм и электрокинетическим потенциалом +12,71 мВ, среди полисахаридов – хитозан (радиус – 25 нм и потенциал – 15,53 мВ), среди белков – бычий сывороточный альбумин (радиус – 24 нм и потенциал – 19,87 мВ).

Результаты исследования образцов наночастиц селена

№	Стабилизатор	Средний гидродинамический радиус, нм	ζ-потенциал, мВ
1	Кокамидопропилбетаин	10	+12,71
2	Цетилтриметиламмония хлорид	18	+28,04
3	Лауретсульфат натрия	16	-43,61
4	*Kolliphor HS 15*	15	-5,74
5	Бычий сывороточный альбумин	24	19,87
6	Желатин	122	-4,37
7	Метилцеллюлоза	28	4,03
8	Гидроксиэтилцеллюлоза B30K	544	1,26
9	Хитозан	25	15,53
10	Амилопектин	63	-9,54
11	*L*-цистеин	106	-5,16

Стоит отметить, что на основе исследования среднего гидродинамического радиуса и ζ-потенциала оптимальным стабилизатором среди всех выбранных веществ является амфифильное поверхностно-активное вещество – кокамидопропилбетаин.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00120, https://rscf.ru/project/23-16-00120/.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Rayman M.P. Selenium intake, status, and health: A complex relationship // Hormones. – 2020. – Т. 19. – № 1. – С. 9-14.

2. El-Ramady H. et al. Selenium and nano-selenium biofortification for human health: Opportunities and challenges // Soil Systems. – 2020. – Т. 4. – № 3. – С. 57.

3. Разработка метода синтеза наночастиц селена, стабилизированных Koliphor HS 15 / З.А. Рехман, Д.Г. Маглакелидзе, А.В. Блинов [и др.] // Актуальные вопросы современного материаловедения: Материалы X Международной молодежной научно-практической конференции, 2023. – С. 170-173.

ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ ИОНАМИ Mn РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ

Верченов Д.А.[1], Жуковский Л.И.[1], Васильева А.А.[1], Макаров А.А.[2], Третьяченко Е.В.[2], Максимова Л.А.[2]
Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент Саунина С.И.

[1]Челябинский государственный университет, г. Челябинск
[2]Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

Аннотация. *В работе сравниваются результаты термических превращений в полититанате калия (ПТК), модифицированного ионами Mn^{2+} различной концентрации. Приведены качественные объяснения физико-химических процессов, сопровождающихся термическими эффектами.*

Ключевые слова: *полититанат калия, марганец, голландитная структура, термические эффекты*

Полититанат калия (ПТК) имеет слоистую структуру, что позволяет легко проводить интеркаляцию ионов Mn в его межслоевое пространство в процессе модифицирования в водных растворах. Одновременно происходит частичное протонирование ПТК за счет протекания ионообменных процессов $(K^+)_{ПТК} \leftrightarrow (H_3O^+)_{р\text{-}р}$. При увеличении pH модифицирующего раствора на поверхности частиц ПТК формируются слои наночастиц оксидно–гидроксидных комплексов MnO_x-$Mn(OH)_2$. Последующая термообработка способствует формированию из протонированных частиц структур анатаза с последующим образованием фазы рутила [1]. Увеличение содержания Mn в модифицированном ПТК приводило к образованию твердых растворов, подобных голландиту [2]. Оставшийся Mn образует различные фазы оксидов марганца, бирнессит δ-MnO_2– слоистая структура, в межслое которой могут находиться H^+ и K^+ [3].

Объектами исследования являются образцы ПТК, модифицированные сольюмарганца ($MnSO_4 \cdot 5H_2O$) с различной концентрацией (из расчета 2 и 3 моль на 10 г ПТК).

Термические измерения проводили на синхронном термическом анализаторе STA 449 F5 Jupiter в интервале температур от 30 до 1100° С, скорость нагрева образцов составляла 10 град/мин. На рис. 1 представлены результаты термического анализа образца ПТК–Mn (2 моль).

В области температур от 50 до 220° С, кривая ДТГ, идет удаление физически сорбированной воды. Отсутствует эффект в районе ~250° С, соответствующий переходу $Mn(OH)_2 \rightarrow MnOOH$. Пик на кривой ДТГ, T_{max}~357° С, мы относим к вероятному удалению H_3O^+ из протонированной формы бирнессита δ-MnO_2. Пик (ДТГ), T_{max}~400° С, согласно [4] может соответствовать образованию в образце TiO_2(B). Процесс, отраженный на кривой ДТГ, T_{max}~546° С, протекает с уменьшением массы образца ПТК-Mn (2 моль). Возможен переход TiO_2(B) в TiO_2–анатаз.

Термический эффект на кривой ДСК, T_{max}~603° С, состоит из одного эндо- и двух экзоэффектов (Т~540-630° С). Начало левого крыла (Т~540° С) – вклад эндотермического эффекта, протекающего с уменьшением массы. Экзотермический эффект (Т~560° С) без изменения массы связан с кристаллизацией анатаза. Экзоэффект (Т~580-630° С) с увеличением массы – формирование структуры типа голландита. Потерю массы образца в интервале 884-900° С (кривая ДТГ) относим к образованию $MnTiO_3$. Полагаем, что уменьшение массы образца в области Т~1025° С (кривая ДТГ) – переход $3Mn_2O_3 \rightarrow 2Mn_3O_4 + 0{,}5O_2$.

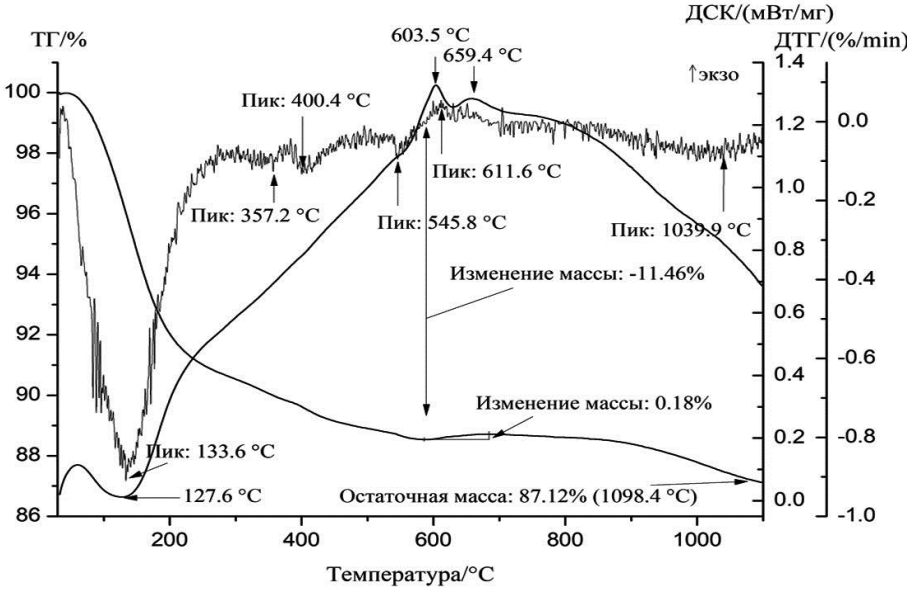


Рис. 1. Кривые ТГ, ДСК, ДТГ образца ПТК-Mn (2 моль)

На рис. 2 представлены результаты термического анализа образца ПТК–Mn (3 моль).

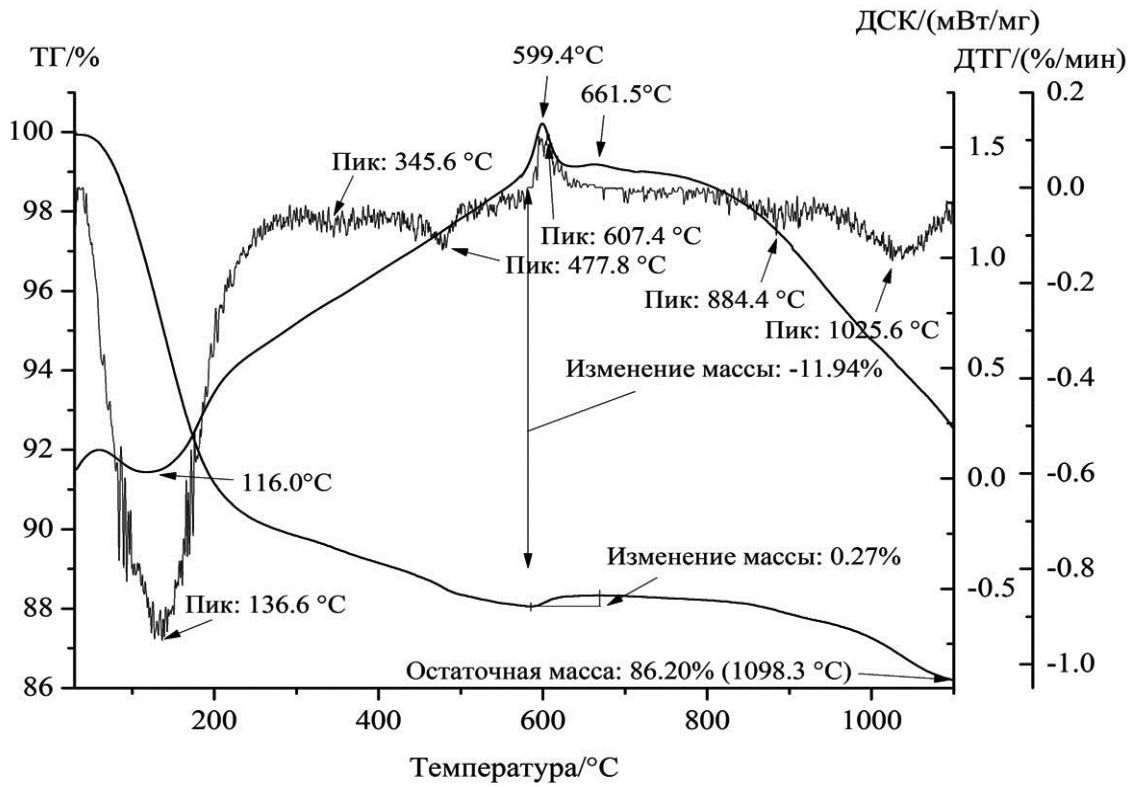


Рис. 2. Кривые ТГ, ДСК, ДТГ образца ПТК-Mn (3 моль)

Термические эффекты, кривая ДТГ, протекающие до температуры ~345° С, аналогичны для образца ПТК–Mn (2 моль). Пик T_{max}~478° С, кривая ДТГ, возможно отражает переход $2MnOOH \rightarrow Mn_2O_3+H_2O$.

Экзотермический эффект на кривой ДСК, T_{max}~599° С, с увеличением массы – формирование структуры типа голландита. Но в отличие от образца ПТК–Mn (2 моль) он не содержит других термических эффектов. Экзотермический эффект (ДСК) T_{max}~661° С и пики 884° С и 1026° С (ДТГ) соответствуют превращениям, как и в образце ПТК–Mn (2 моль). Были рассчитаны площади экзоэффектов. Для образца ПТК–Mn (2 моль): для первого экзоэффекта (S_1), выделенного и относящегося к формированию структуры типа голландита в интервале ~580-630° С, S_1 = 2,21 мм^2/мг, для второго экзоэффекта, T_{max}~659° С, S_2 = 0,45мм^2/мг. Для образца ПТК–Mn (3 моль) для экзоэффекта T_{max}~599° С, S_1 = 2,90 мм^2/мг; T_{max}~661° С, S_2 = 0,16 мм^2/мг. Из соотношения площадей следует, что в образце ПТК–Mn (3 моль) структуры типа голландита образуется в 1,3 раза больше, чем в образце ПТК–Mn (2 моль). Содержание образующейся фазы во втором экзоэффекте образца ПТК–Mn (2 моль) в 2.3 раза больше, чем в образце ПТК–Mn (3 моль). Так как отношения площадей S_1 к S_2 в образцах 2 и 3 моль Mn различно, то превращения при Т~661° С не зависят от превращений при Т~599° С.

Фазовый состав образцов ТО 900° С: ПТК-Mn (2 моль) – $KMnTi_3O_8$, $MnTiO_3$, TiO_2–рутил; ПТК–Mn (3 моль) – $KMnTi_3O_8$, $MnTiO_3$, Mn_2O_3.

Изменение мольного содержания Mn влияет не только на фазовый состав образцов в процессе термообработки, но и на количество образующейся фазы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gorokhovsky A.V. Kinetic analysis of the crystallization processes in the protonated potassium polytitanates / A.V. Gorokhovsky, S.I. Saunina, D.A. Zakharyevich [*et al*] // Journal of Advanced Materials and Technologies. – 2023. – Vol. 8. – № 1. – P. 030-040.

2. Gorokhovsky A.V. Synthesis and electric properties of the high-k ceramic composites based on potassium polytitanate modified by manganese / A.V. Gorokhovsky, S.I. Saunina, L.A. Maximova, E.V. Tretyachenko // Research on Chemical Intermediates. – 2022. – Vol. 3. – P. 1227-1248.

3. Sun W. Non-equilibrium crystallization pathways of manganese oxides in aqueous solution / W. Sun, D.A. Kitchaev, D. Kramer, G. Ceder // Nature Communications. – 2019. – Vol. 10. – № 1. – P. 1-9.

4. Fleischmann S. Interlayer separation in hydrogen titanates enables electrochemical proton intercalation / S. Fleischmann, Y. Sun, N.C. Osti [*et al*] // J. Mater. Chem. A. – 2020. – Vol. 8. – P. 412-421.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ Ti-Al-B-N

Бондарев А.Е., Манохин С.В.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Сафонов А.О.

Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж

Аннотация. *Композитные материалы для покрытия, как правило, содержат два и более слоя или фазы. Такие многослойные покрытия становятся все более востребованными, так как они имеют возможность изменения состава и получения новых заданных характеристик. Знание структуры покрытия представляет значительный интерес для определения особенностей алгоритма «обработка-структура-характеристики» и интенсификации разработки инновационных композитных материалов. При этом комплексная фазовая и химическая характеристики таких структурированных композитов в большинстве случаев до конца не исследованы. В представленной работе показаны результаты исследований систем различных композитных покрытий на основе Ti-Al-B-N.*

Ключевые слова: *покрытие, слой, фаза, характеристика, элемент*

Современные композитные покрытия представляют собой многослойные системы на основе кристаллической структуры. Такие покрытия могут формироваться из различного рода паровых фаз. Структурирование с получением многослойных композитных материалов приводят к возможности вариативности заданных характеристик, повышению физико-механических свойств и обеспечению создания самоизменяющихся покрытий с точки зрения трибологических параметров.

Все необходимые измерения были проведены методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии при неизменной энергии анализатора. При этом применялась энергия 20 эВ с шагом 0,1 эВ. В качестве поверхности для измерения заряда применялся углеводород с энергией связи 250 эВ. Перед началом исследований поверхностный слой оксида убирали направленным пучком ионов аргона с энергией 2,5 кэВ. Аппрок-

симация графика кривой осуществлялась нелинейной аппроксимацией на основе известного метода наименьших квадратов.

В представленном исследовании значительная часть экспериментов была посвящена системам композиционных покрытий на основе Ti-BN и Ti-Al-B-N. Для анализа использована равновесная фазовая номограмма Ti-BN [1]. При исследовании Ti-Al-B-N эту номограмму представлялось возможным изменить с учетом замещения Al на Ti, как представлено на рис 1.

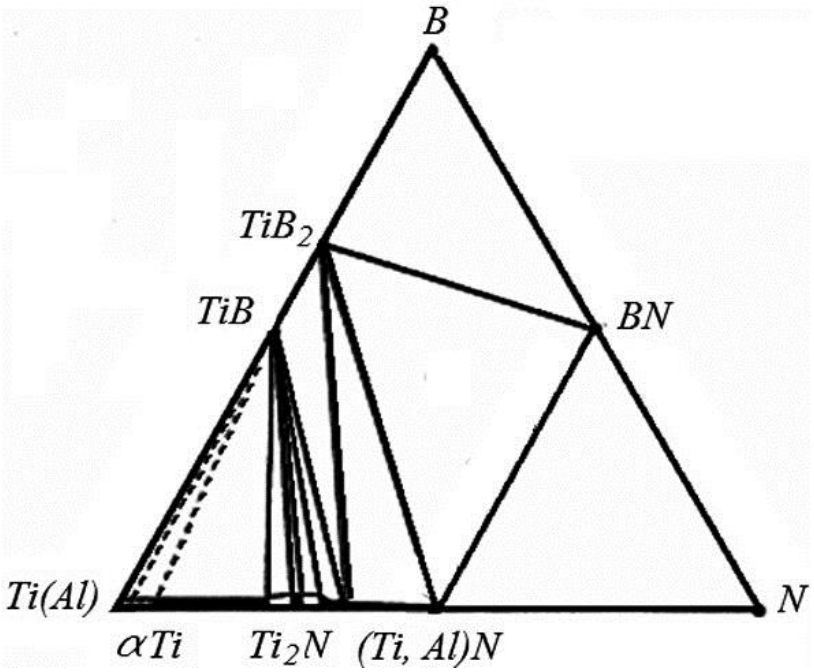


Рис. 1. Равновесная фазовая номограмма

Анализ представленной номограммы позволяет предположить, что Ti-B-N и Ti-Al-B-N имеют много перспективных фаз. Покрытия, полученные из составов по квазибинарным слоям Ti(Al)N-TiB_2, Ti(Al)N-BN, Ti(Al)N, TiB_2, BN имеют определенный интерес, как для исследователей, так и для производителей покрытий.

Покрытия Ti-Al-B-N были получены путем нанесения элементов методом электронно-лучевого испарения с составами, лежащими на «стороне треугольника» (Ti,Al)N-BN. Температура подложки составляла 500° С. Химический состав полученных покрытий был измерен методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Данные приведены в таблице.

Химический состав покрытий

Номер образца	Химический состав			
	Ti	Al	B	N
1	10,2	11,4	29,2	49,2
2	16,9	9,0	26,5	47,6
3	25,4	10,1	16,1	48,4
4	36,3	8,1	6,3	49,3
5	39,2	7,2	4,3	49,3

Согласно фазовой номограмме, покрытие 1 имеет полученный фазовый состав 43 % (Ti,Al)N и 56 % BN. Следует отметить, что доля (Ti,Al)N повышается с повышением доли другого покрытия – до 92 % для покрытия 5. Также во всех экспериментальных покрытиях можно ожидать некоторую долю TiB_2. Полученные по результатам исследований рентгеновские спектры показаны на рис. 2.

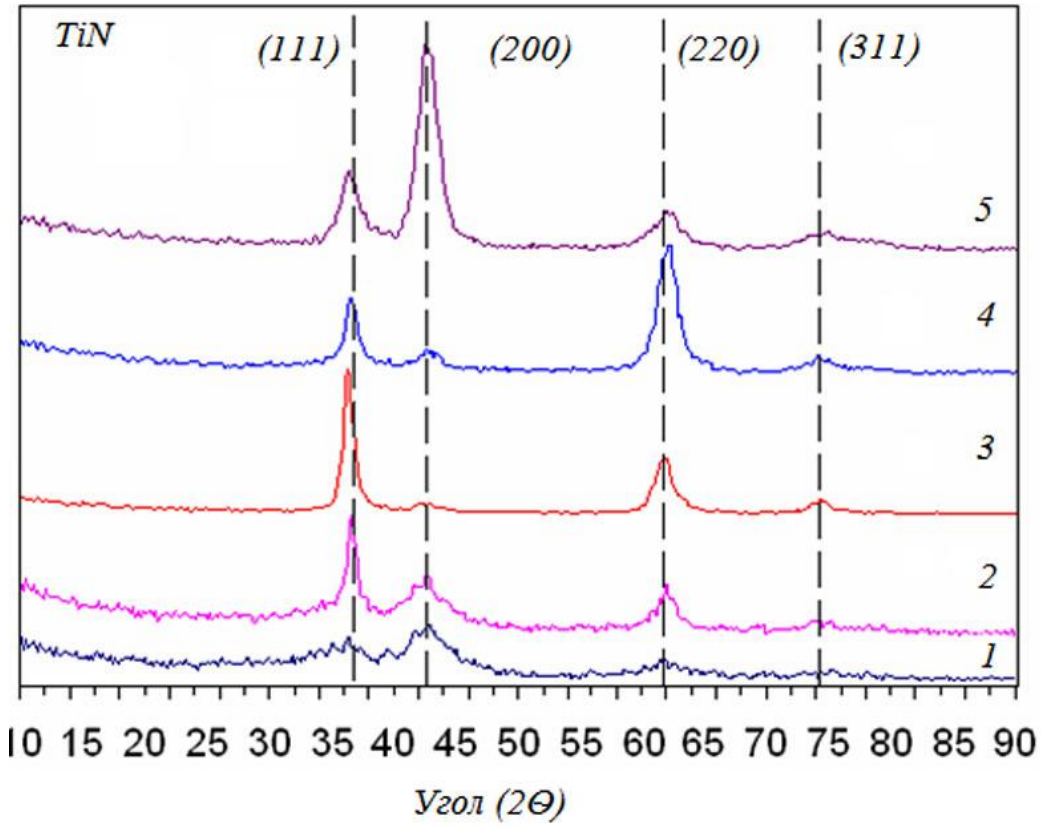


Рис. 2. Спектры экспериментальных образцов

Из результатов проведенных исследований следует отметить, что положения зафиксированных пиков B 191,5 эВ и 188,6 эВ, а также положения пиков N 395,9 эВ и 398,0 эВ хорошо коррелируются с известными теоретическими данными для Ti-Al-N и B-N [2]. Чтобы добиться необходимого соответствия пика для B и N необходим еще один компонент, соответствующий субоксидным зернам. Сравнительный анализ доли фазы, рассчитанной по фазовой номограмме, с фактически имеющейся в покрытиях, представленной в таблице 1 показал достаточно точное соответствие. Это относится как к исследуемым покрытиям, так и другим покрытиям Ti-BN, которые содержат трехфазный состав, состоящий из комбинаций Ti, B_2 и N [3].

Таким образом, механические характеристики экспериментальных покрытий Ti-Al-B-N оказались достаточно высокие. Они показывают повышение физико-механических показателей по отношению к применяемым Ti-N и Ti-Al-N в исследованиях на механическую обработку со смазкой. Наблюдалось повышение характеристики с ростом содержания (Ti,Al)N. При этом по предварительным расчетам покрытие с содержанием (Ti,Al)N 90 ат.% позволяет увеличение срока службы изделий более чем в 2 раза. Введение небольшого количества B в композит (Ti,Al)N не имеет отрицательного воздействия на механические свойства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kelly G.E. Methods of defend of properties of hard coatings [Text] / G.E. Kelly, D. Bayer // Surf. Mod. Tech. – 2018. – № 6. – С. 169-187.
2. Bergmann J. Titanium nitride coating surfaces to improve tool performance and reduce wear [Text] / J. Bergmann, R. Vogel, R. Krink // Tool Journal. – 2020. – № 5. – С. 12-17.
3. Vick C. Coatings improve tool and increase productivity [Text] / C. Vick // Engineering – 2020. – № 26. – С. 44-52.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ Ti-B-C

Бондарев А.Е., Манохин С.В.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Сафонов А.О.

Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж

Аннотация. *Для получения многофазной структуры композиционного покрытия необходимо создание движущей силы образования фаз. Поэтому рассмотрение фазовой номограммы является обязательным этапом процесса проектирования композиционного покрытия. По причине того, что методы осаждения парообразной фазы характеризуются достаточно высокой интенсивностью закалки, их можно отнести к неравновесным процессам. Для полного описания связи «обработка-структура-свойство» были определены особенности получения метастабильных фаз и признаки наличия дефектной структуры.*

Ключевые слова: *покрытие, композит, материал, износ, характеристика*

Для новых покрытий, имеющих достаточно хорошую устойчивость к износу при скольжении во время контакта, перспективным является уменьшения коэффициента трения [1]. Этого можно достичь в результате синтеза твердой и смазывающей фаз в исследуемом покрытии.

Фазовая номограмма экспериментального покрытия на основе Ti-B-C показывает значительный интерес нанесения композитных покрытий, имеющих твердую фазу TiB_2 и фазу C с высоким коэффициентом скольжения (рис. 1).

Покрытия Ti-B-C были получены путем магнетронного напыления на подложки TiB_2 и C с рабочей температурой подложки 150° C.

Составы композитных покрытий, показанные на рис. 1 определены методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Все исследуемые покрытия располагаются вблизи линии TiB_2-C, но дефицит B привел к их расположению в трехфазной области TiB_2-TiC-C. Концентрация углерода в исследуемых образцах увеличивалась с 17 до 88 ат.%.

Спектры для композитных покрытий показаны на рис. 2. Единственной имеющейся кристаллической фазой является TiB_2. При этом отсутствуют пики, определяющие наличие TiC. Размеры частиц, определенные по пикам (001) и (101) снижаются от 9,4 нм при 17 ат.% углерода до 1,8 нм при 64 ат.% углерода. При повышении содержания углерода покрытие приобретает аморфные свойства [2].

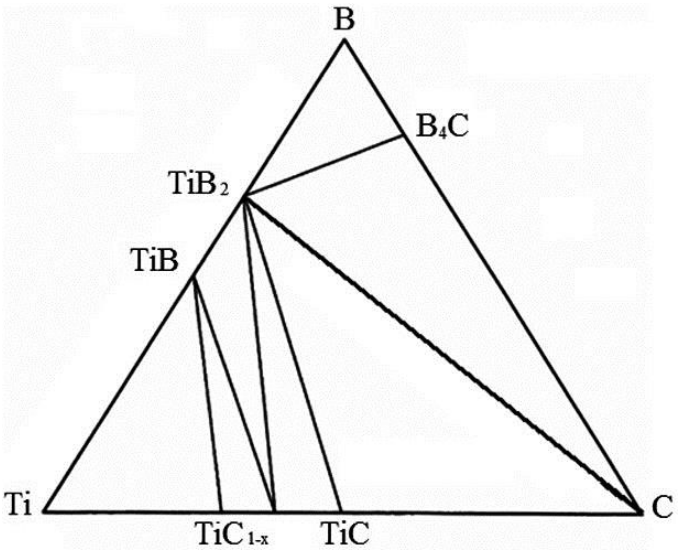


Рис. 1. Фазовая номограмма исследуемого покрытия на основе Ti-B-C

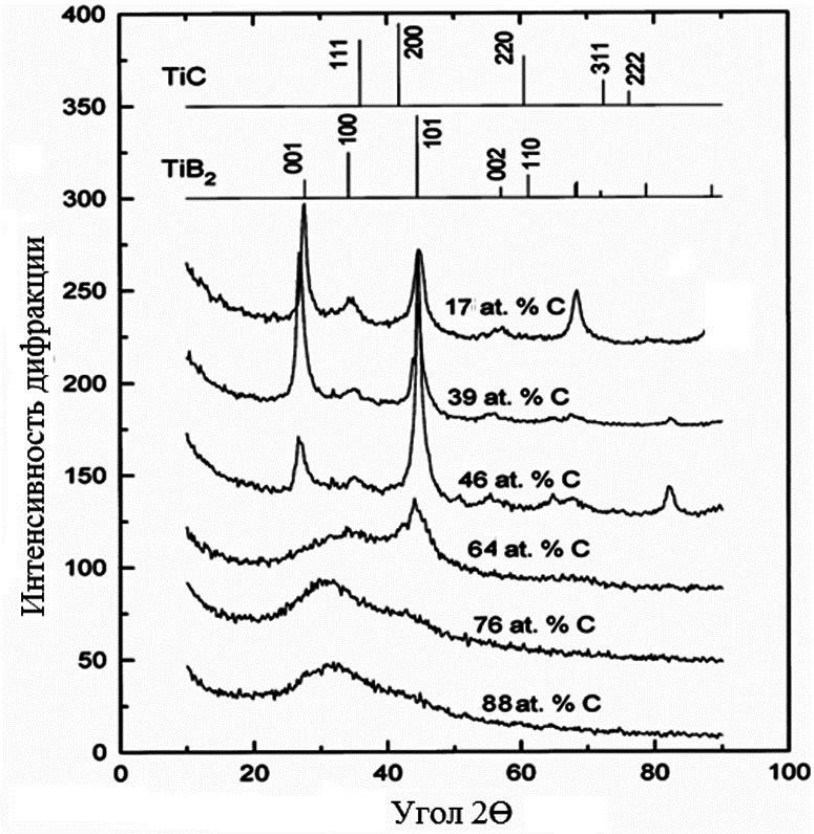


Рис. 2. Спектры экспериментальных покрытий на основе Ti-B-C

Следует отметить, что TiB_2 (001) и (002) пики переходят в направлении меньших углов дифракции 2Θ, а (100) – в направлении увеличения углов дифракции 2Θ с ростом концентрации C. Отмечено, что пик C состоит из двух составляющих (при 283,0 и 282,9 эВ), а пик B – из одной при 187,0 эВ. Пик при TiC (энергия связи 282,0 эВ), отсутствует.

Структуры пиков были идентичные для всех исследуемых композитных покрытий. Компонент C при 282,0 эВ представляет собой фазу алмазоподобного углерода. Уг-

лерод при 282,9 эВ не имеет выраженного сдвига пика с повышением концентрации углерода. При этом энергия связи пика B заметно переходит в направлении более высоких уровней с повышением концентрации C. Учитывая, что электроотрицательности C, Ti, B соответственно равны 2,55, 1,54, 2,04, а пики для TiC и C составляют 282,0 285,6 и 287,2 эВ соответственно. При этом положение C при 282,9 эВ определяет наличие связи C с Ti и B.

В отличие от композита Ti-B-N композитное покрытие Ti-B-C содержит состав не соответствующий фазовой номограмме. Однако, зарубежные ученые по результатам проведенных исследований предсказали образование Ti-B-C для идентичных составов при рассматриваемых температурах осаждения [3].

В результате лабораторных экспериментов установлено, что образование Ti-B-C вместо TiB_2 негативно сказывается на изменении механических свойств разрабатываемого композитного покрытия. Эффект уменьшения трения можно зафиксировать только при уровне содержания C выше 55-60 ат.%.

Ниже этого уровня образуется недостаточное количество смазочной фазы. Повышения концентрации Ti-B-C приводило к значительному увеличению коэффициента трения. Композитное покрытие с 60 ат.% C имело наилучшие комбинированные характеристики твердости (20 ГПа) и низкого трения (< 0,2), что является перспективным для разработки промышленных образцов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kelly G.E. Methods of defend of properties of hard coatings / G.E. Kelly, D. Bayer // Surf. Mod. Tech. – 2018. – № 6. – С. 169-187.

2. Bergmann J. Titanium nitride coating surfaces to improve tool performance and reduce wear] / J. Bergmann, R. Vogel, R. Krink // Tool Journal. – 2020. – № 5. – С. 12-17.

3. Gill B.J. Designing and producing engineering surfaces [Text] / B.J. Gill // Carbide. – 2017. – № 12. – С. 122-130.

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ ХРОМА С ЗАДАННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Бондарев А.Е.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Сафонов А.О.

Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж

Аннотация. *Значительное количество защитных композитных покрытий имеют в основе керамические соединения, характеризующиеся высокими твердостью и относительно низкой упругостью. Высокое соотношение этих показателей позволяет обеспечить требуемую износостойкость для достаточно широкого спектра задач. В работе ставилась цель создания покрытия с заданными характеристиками, обладающими сравнительно высокой твердостью при одновременно относительно небольшом модуле упругости, аналогичном уровню металлической основы.*

Ключевые слова: *износостойкость, композит, материал, покрытие, упругость, фаза, характеристика*

По причине того, что снижение размера зерна приводит к определенному повышению твердости, наноструктурирующие композиты, имеющие металлические связи, могут привести к получению покрытий с достаточно высокой твердостью. Это обеспечивает высокие значения ударной вязкости, модуля продольной упругости и модуля сдвига аналогичные по значениям металлической подложке [1].

Равновесная номограмма Cr–Cu, представленная на рис. 1, показывает относительно небольшую растворимость Cr в Cu. Оказалось, что реактивное напыление хрома приводит к тому, что около 16 ат.% N входит в фазу Cr в виде Cr(N).

Следует отметить, что Cu плохо образует нитридный компонент. Особенность формирования этих композитных покрытий состояла в нанесении путем реактивного распыления кристаллитов Cr(N) при внедрении в аморфный компонент.

Составы Cr/Cu представлены на рис. 2. Атомное содержание Cu находилось в интервале от 3 до 61 ат.%, концентрация N изменялась от 15 до 25 ат.%.

Рентгеновские инфракрасные спектры показали, что композитные покрытия Cr-Cu-N имеют две кристаллические фазы – Cr(N) и Cr_2N.

Повышение концентрации Cu до 25 ат.% привело к образованию наиболее перспективной структуры с хорошими физико-механическими характеристиками. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия показала достаточно широкий пик, что не позволяет сделать объективный вывод о структуре. Фазовый состав полученных кристаллитов не может точно определен по номограмме.

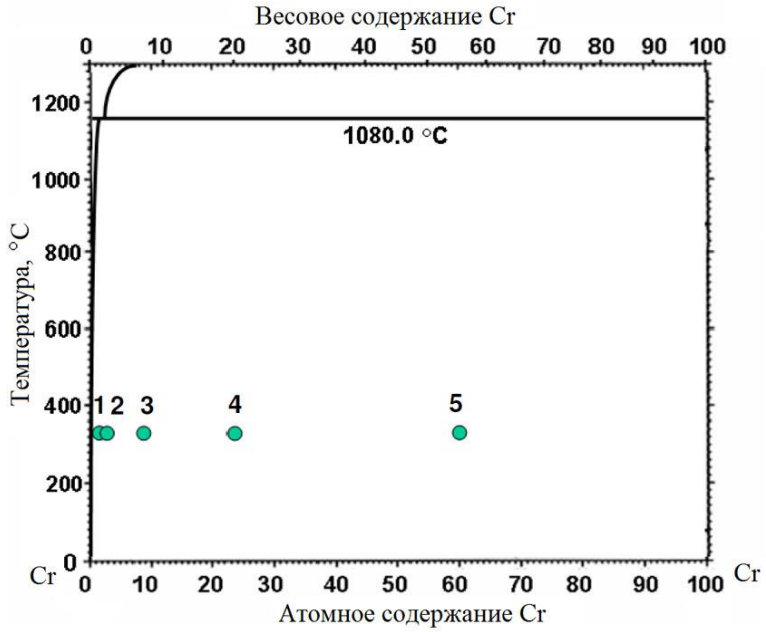


Рис. 1. Равновесная фазовая диаграмма Cr-Cu

С высокой вероятностью он состоит из смеси Cr(N) и Cr_2N. При изучении структуры с помощью электронного микроскопа образованные кристаллиты характеризуется однородным составом с их выраженной ориентацией [2]. При этом средний размер зерен кристаллитов составляет ориентировочно 2 нм.

Для теоретического определения формирования структуры в исследуемых покрытиях, представилось целесообразным выполнить аналитические расчеты. Они необходимы с целью определения предельного содержания Cu, достаточного для формирования полного монослойного композитного покрытия из Cr в теоретическом представлении структуры *nc*-Cr/*a*-Cu. Расчеты были выполнены при условии,

что монослой Cu имеет менее плотную квадратную структуру и более плотную гексагональную структуру.

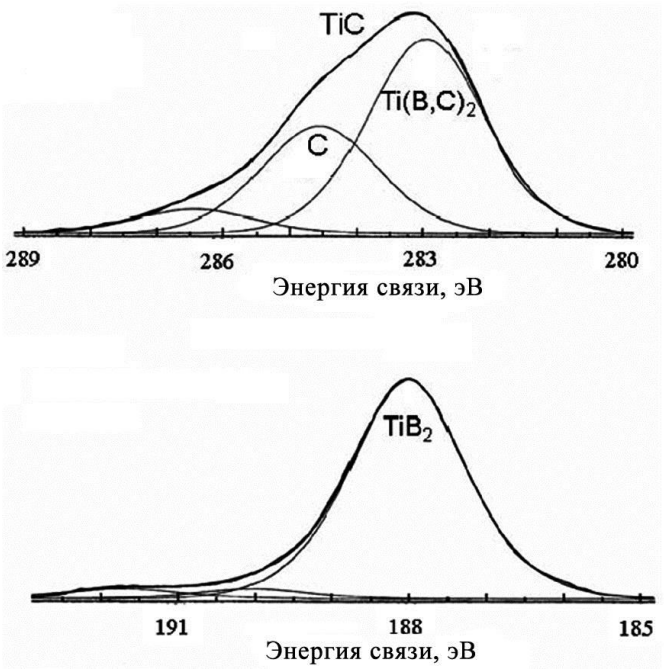


Рис. 2. Энергия связи Cr/Cu

Практически плотность структуры с большой долей вероятности имеет плотную упаковку. Это является причиной образования плотности структуры между двумя имеющимися расположениями. Для зерен в формы куба требуемая для образования монослойного композитного покрытия концентрация C_{Cu} (ат.%) простой кубической структуры Cr с диаметром зерен $d_з$ рассчитывается по формуле (1):

$$C_{cu} = \left(\frac{\pi r_{cr}^3}{\pi r_{cr}^3 + \sqrt{3pd\pi r_{cu}^2}} \right) \cdot 100, \quad (1)$$

где r_{Cr} = 0,125 нм – атомный радиус хрома; r_{Cr} = 0,128 нм – атомный радиус меди; p – плотность упаковки.

Для гексагональной упаковки содержание меди определяется по формуле (2):

$$C_{cu} = \left(\frac{2\pi r_{cr}^3}{2\pi r_{cr}^3 + \sqrt{3pd\pi r_{cu}^2}} \right) \cdot 100, \quad (2)$$

Например, для диаметра зерна размером 3 нм вышеуказанные уравнения дают соответственно концентрации Cu 15,48 и 17,51 ат.% для кубической и гексагональной формы упаковки. Все композитные структуры в зависимости от диаметра зерна будут давать идентичные результаты соотношения объема к общей площади поверхности [3]. В результате экспериментов можно сделать следующий вывод. Покрытие с 25 ат.% Cu показало наилучшие показатели в экспериментах на ударный износ и на возвратно-поступательное движение. Зафиксированная ударопрочность оказалась в 2,8 раза больше, чем у других композитных покрытий Cr-Cu-N. Полученные экспериментальные покрытия имеют реальные перспективы для создания промышленных образцов деталей, работающих при динамических нагрузках. При этом дальнейшие исследования и оптимизация зависят от заданных характеристик.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Bergmann J., Vogel R., Krink R. Titanium nitride coating surfaces to improve tool performance and reduce wear // Tool Journal. – 2020. – № 5. – С. 12-17.

2. Vick C. Coatings improve tool and increase productivity // Engineering – 2020. – № 26. – С. 44-52.

3. Fohle D., Wenberg E. General aspects for tribological applications of particle coatings // Wear. – 2019. – № 130 (1). – С. 275-288.

СПОСОБНОСТЬ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРОТИВОСТОЯТЬ КОРРОЗИИ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Сахарова Е.С.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Пахомова С.А.

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

Аннотация. *Проведено исследование на коррозионную стойкость алюминиевого сплава марки 8176 в таких средах, как хлорид натрия (NaCl), масло СЖР-3 и в условиях повышенной влажности (H_2O). Экспериментально установленные зависимости показывают снижение массы образцов алюминиевой проволоки при их выдержке в течение определенного времени и позволили оценить коррозионную стойкость сплава.*

Ключевые слова: *алюминиевый сплав, химический состав, проволока, коррозионная стойкость*

Введение. Кабельная продукция используется для передачи энергии и информации. Она применяется в различных системах, включая электрические, электронные, радиотехнические и оптоволоконные. В производстве кабельной продукции в основном используют медь, алюминий и их сплавы для изготовления токопроводящих жил [1-3].

Алюминиевые сплавы, помимо чистого алюминия, содержат различные легирующие добавки. Их свойства непосредственно зависят от структуры, которая определяется процессами деформации, термической обработки и легирования. Сплавы алюминия успешно устраняют практически все недостатки чистого алюминия, включая его низкую стойкость к механическим воздействиям. Это делает их все более востребованными в кабельной промышленности.

Одним из требований, предъявляемым к металлам и сплавам, из которых изготавливают токопроводящие жилы, является коррозионная стойкость материала к различным окружающим средам.

Цель работы заключается в исследовании коррозионной стойкости алюминиевого сплава 8176 в кабельных изделиях.

Материал и методика исследования. Объектом исследования служила проволока диаметром 0,5 мм токопроводящей жилы из алюминиевого сплава 8176. Катанка диаметром 9,5 мм получена методом СЛиПП (совместное литье и прокатка прессование) и далее подвергнута волочению для получения проволоки требуемого размера сечения [2, 4].

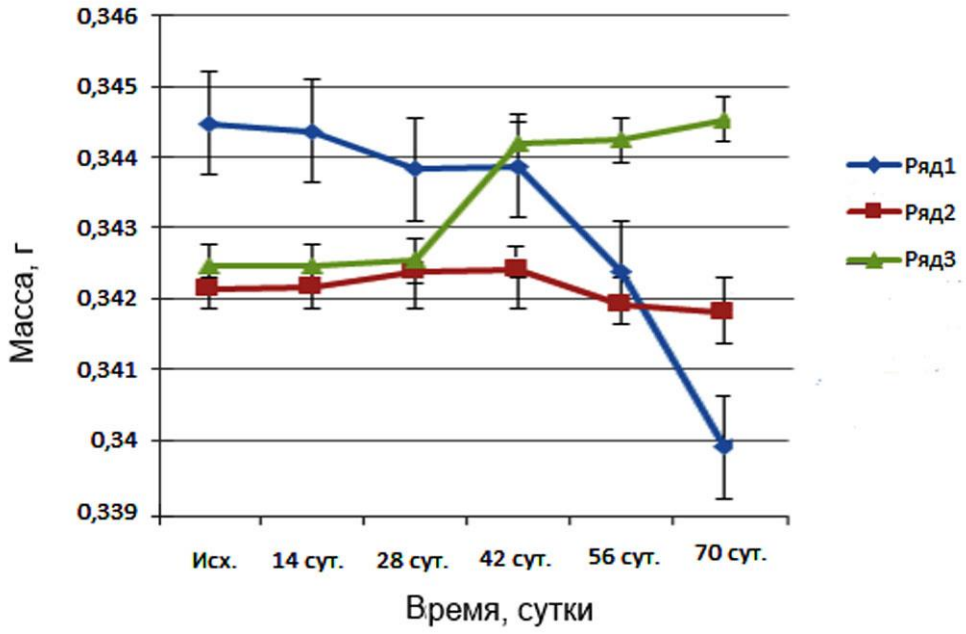
Данный сплав обладает повышенными прочностными свойствами и высокой пластичностью за счет легирования алюминия железом (таблица), а также удовлетворительным уровнем пожарной безопасности по сравнению с чистым алюминием [1, 5-7].

Химический состав алюминиевого сплава 8176

Массовая доля %, не более									
Основа	Примеси							Прочие компоненты, не более	
Al	Fe	Cu	Si	Mg	Cu	Zn	Ga	каждый	всего
остальное	0,40-0,65	–	0,07	0,02	0,01	0,04	0,02	0,03	0,15

Исследование коррозионной стойкости проводилось в соответствии с ГОСТ 9.913-90 в трех средах: щелочная среда (NaOH и $Ca(OH)_2$), масло (СЖР – 3) и в условиях повышенной влажности (H_2O). Подготавливалось 3 образца (на каждую среду) длиной 60-65 см, закрученные в пружину, для определения изменения массы образца.

Поверхность образцов подготавливали к проведению испытания, обезжиривая их органическими растворителями (нефрасом по ТУ 38.401-67-108). Далее образцы взвешивали 3-5 раз для определения их изначального веса и маркировали, чтобы потом можно было отследить потери массы каждого образца. Использовались аналитические весы фирмы VIBRA HT.



Изменения массы образцов во время их выдержки в каждой исследуемой среде: ряд 1 – хлорид натрия (NaCl); ряд 2 – масло (СЖР-3); ряд 3 – повышенная влажность (H_2O)

Результаты экспериментов и обсуждение. Процесс коррозии алюминиевого сплава заключается во взаимодействии исследуемого образца с окружающей его средой. В результате этого взаимодействия происходит самопроизвольное постепенное разрушение сплава в окружающей среде [1, 8, 9]. Однако в некоторых средах алюминий и его сплавы образуют на поверхности защитную оксидную пленку, что препятствует растворению образцов в окружающей среде.

Результаты исследований (рисунок) показали, что все среды взаимодействуют с исследуемыми образцами.

Масса образцов интенсивно уменьшается в течение всего времени выдержки. Раствор NaCl также взаимодействует с алюминиевым сплавом, приводя к его растворению и коррозии, однако не интенсивно. Поначалу масса практически не изменялась, однако потом начала убывать. В среде машинного масла СЖР-3 образцы не меняли своей массы. В воде исследуемые образцы сначала своей массы не меняли, однако потом она начала увеличиваться. Это происходило в результате недостаточного удаления образовавшейся на поверхности образцов пленки и погрешности измерений.

Заключение. По результатам исследований можно сделать выводы о том, что алюминиевый сплав 8176 имеет хорошую коррозионную стойкость в таких средах как масло СЖР и при повышенной влажности, но низкую коррозионную стойкость в растворе NaCl, имитирующем морской климат.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Харламенков А.С. Кабельная продукция их алюминиевых сплавов как альтернатива меди // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. – 2018. – Т. 27, № 6. – с. 70-72.

2. Быков Ю.А., Унчикова М.В., Пахомова С.А., Помельникова А.С., Силаева В.И. Методика выбора материала и технологии термической обработки деталей машиностроения // Заготовительные производства в машиностроении. 2015. № 8. С. 43-47.

3. Лопарев В.В. Алюминий и его сплавы для отечественной кабельной промышленности // Кабели и провода. – 2022. – № 6. – С. 12-25.

4. Pakhomova S.A., Povalyayev A.I. Silicon nitride-based ceramic composite materials for corrosion-resistant rolling bearings // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1, Advances in Composite Science and Technologies. Сер. «Advances in Composite Science and Technology» 2019. С. 012040. DOI:10.1088/1757-899X/683/1/012040.

5. Коррозионностойкие и жаростойкие материалы. Коррозионная стойкость легких конструкционных сплавов в различных средах. Курс лекций: учеб. пособие для вузов / Ракоч А.Г., Бардин И.В.; Министерство образования и науки РФ, Национальный исслед. технол. ун-т «МИСиС», Кафедра защиты металлов и технологии поверхности. – М.: Издат. Дом МИСиС, 2011. – 77 с.: ил. – Библиогр.: с. 77. – ISBN 978-5-87623-557-2.

6. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии / под ред. И.В. Семеновой – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.

7. Pakhomova S. Surface modification of low carbon steel to improve corrosion resistance // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Сер. «Modern Power Engineering, MPMB 2020» 2020. С. 012001. doi:10.1088/1757-899X/963/1/012001.

8. Горобец А.В., Филиппова Т.М. Алюминий как материал для монтажа электрического кабеля // Сборник научных трудов Ангарского Государственного Технического Университета. – 2020. – № 17. – С. 204-210.

9. Пешков И.Б. Состояние и перспективы применения алюминия в кабельной промышленности // Кабели и провода. – 2009. – № 1 (314). С. 7-9.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОЛОКОН ПОЛИКАПРОЛАКТОНА МИКРОЧАСТИЦАМИ ВАТЕРИТА МЕТОДОМ ФАЗОВОГО АНАЛИЗА

Короневский Н.В., Великанов И.С., Сергеева Б.В., Андреев А.А.,
Гукова В.И., Рябов Е.А.
Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Сергеев С.А.

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов

Аннотация. *Проведено исследование влияния времени ультразвуковой обработки, а также концентраций рабочих растворов солей хлорида кальция и карбоната натрия на фазовый состав композитного тканеинженерного каркаса из волокон поликапролактона, минерализованных микрочастицами карбоната кальция.*

Ключевые слова: *микрочастицы карбоната кальция, волокна поликапролактона, регенеративная медицина*

Переработанный в тканеинженерный каркас поликапролактон (ПКЛ) и выращенные на его поверхности частицы карбоната кальция ($CaCO_3$) модификации ватерит возможно использовать в областях медицины, в частности в травматологии и ортопедии [1-4]. Подобные композитные материалы являются биоразлагаемыми и могут быть заселены клетками с последующим формированием живой ткани.

Синтез волокон поликапролактона осуществлялся последовательным нанесением десяти слоёв волокон полимера со средним диаметром 100 ± 50 нм методом электроспининга.

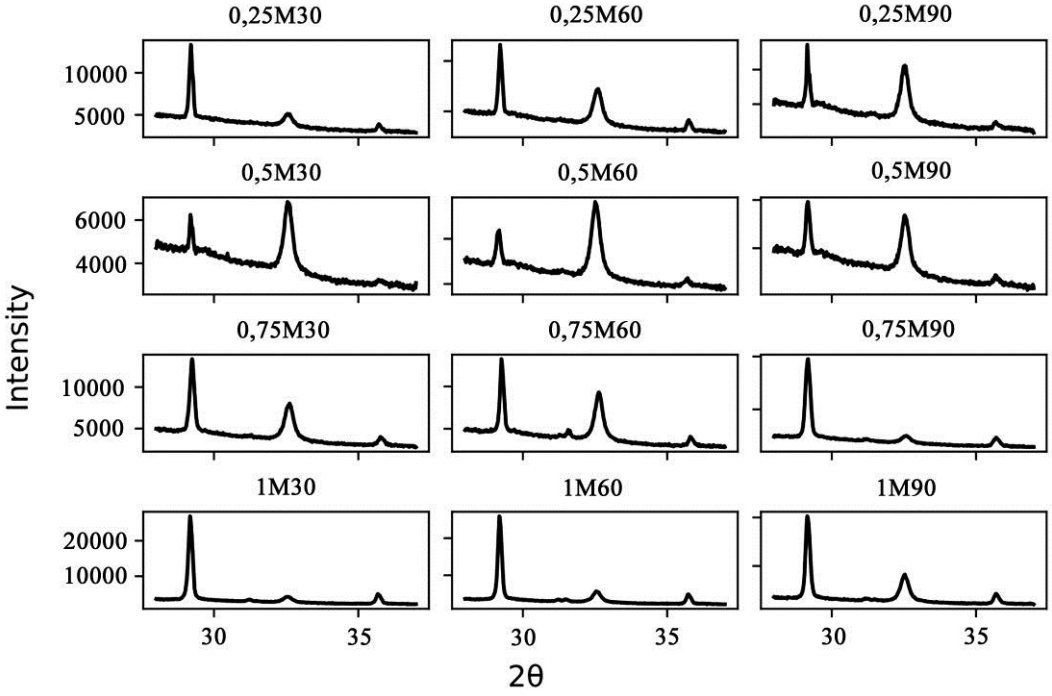
Минерализация ПКЛ микрочастицами карбоната кальция проводилась по алгоритму, являющемуся оптимизированной версией представленного в работе [2]. Образец волокон помещали в пробирку с 1 мл раствора хлорида кальция и обрабатывали ультразвуком в течение 1 мин. Затем в процессе УЗ обработки в пробирку добавляли 1 мл раствора карбоната натрия. Спустя минуту пробирку извлекали из ультразвуковой ванны и оставляли в состоянии покоя на одну минуту, после чего помещали в сушильный шкаф на 15-20 минут. Для обеспечения однородности покрытия процесс проводился трижды.

При синтезе проводилось варьирование концентраций растворов солей (от 0,25 до 1 моля) и времени обработки ультразвуком (от 30 до 90 секунд), поэтому для синтезированных образцов ввели маркировку в соответствии с табл. 1. Цифры перед «М» обозначают концентрацию растворов рабочих солей в молях, после – время УЗ обработки в секундах.

Таблица 1

Маркировка синтезированных образцов

Ultrasonic treatment time (sec) / Concentration of working salt solutions (M)	30 sec	60 sec	90 sec
0,25M	0,25M30	0,25M60	0,25M90
0,5M	0,5M30	0,5M60	0,5M90
0,75M	0,75M30	0,75M60	0,75M90
1M	1M30	1M60	1M90



Рентгеновские дифрактограммы исследуемых образцов в интервале 2θ от 27º до 37º для случаев разных концентраций рабочих растворов и времени УЗ-обработки

Для проведения анализа фазового состава использовали рентгеновский дифрактометр ДРОН-8Т (АО «ИЦ» Буревестник», Россия, Санкт-Петербург). Измерения рентгеновских дифрактограмм проводили «на просвет» с использованием CuKα-излучения. Анализ качественного состава осуществляли с применением базы данных PDF-2 версии 2021 года. Соотношение между фазами определяли по результатам анализа рентгеновских дифрактограмм методом Ритвельда.

Для проведения исследования дифрактограммы были уточнены в интервале 2θ от 27º до 37º, время экспозиции увеличено. На представленных дифрактограммах характерные пики 29,3º и 36º соответствуют кальциту [5], 32,8º соответствует ватериту [6]. При концентрации 0,5 М массовая доля ватерита относительно всей массы карбоната кальция существенно больше, чем кальцита при любой длительности ультразвуковой обработки.

При концентрации рабочих растворов 0,25 М увеличение времени УЗ-обработки увеличивает и массовую долю ватерита. На дифрактограммах образцов с концентрацией 1 М и 0,75 М заметно явное преобладание кальцита.

Значения массовой доли кальцита относительно всей массы карбоната кальция в исследуемых образцах в зависимости от концентрации рабочих растворов солей и времени УЗ обработки в процентах представлены в таблице 2.

Таблица 2

Массовая доля кальцита в исследуемых образцах в зависимости от концентрации рабочих растворов солей и времени УЗ-обработки

Ultrasonic treatment time (sec) / Concentration of working salt solutions (M)	30 sec	60 sec	90 sec
0,25M	50 %	27 %	88 %
0,5M	10 %	7 %	14 %
0,75M	31 %	23 %	72 %
1M	76 %	62 %	41 %

Высокая массовая доля кальцита в частицах карбоната кальция соответствует образцам 0,25М30, 0,25М90, 0,75М90, 1М30, 1М60, 1М90, что позволяет сделать вывод о нецелесообразности использования концентраций растворов в 1 моль. Образцы 0,25М60, 0,75М30 и 0,75М60 также демонстрируют существенные значения массовой доли кальцита, превышающие 20 %. Наименьшие доли имеют образцы 0,5М.

В результате проведённых исследований было установлено, что образцы, полученные из растворов солей хлорида кальция и карбоната натрия с концентрацией 0,5М обладают наименьшим процентным содержанием кальцита при любом времени УЗ-обработки из рассмотренных в сравнении с образцами, полученными при иных параметрах синтеза. Планируется использовать данный материал с наночастицами магнетита в СВЧ диапазоне [7-9].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Koronevskiy N.V., Savelyeva M.S., Lomova M.V. et al. Composite mesoporous vaterite-magnetite coatings on polycaprolactone fibrous matrix // Izvestiya of Saratov University. Physics. – 2022. – Vol. 22 (1). – P. 62-71.

2. Koronevskiy N.V., Inozemtseva O.A. et al. Investigation of the process of recrystallization calcium carbonate microparticles grown on polycaprolactone nanofibers using scanning electron microscopy and X-ray diffraction // Izvestiya of Saratov University. Physics. – 2023. – Vol. 23 (2). – P. 179-187

3. Короневский Н.В., Иноземцева О.А., Сергеева Б.В. и др. Оптимизация процесса минерализации волокон поликапролактона микрочастицами ватерита // Перспективные материалы. 2024. № 6. С. 1-9.

4. Короневский Н.В., Сергеев С.А., Ломова М.В., Савельева М.С. Патент 2761321 РФ. Способ минерализации органических волокон поликапролактона микрочастицами карбоната кальция. Опубл. 07.12.2021.

5. Yaseen S.A., Yiseen G.A., Li Z. Elucidation of calcite structure of calcium carbonate formation based on hydrated cement mixed with graphene oxide and reduced graphene oxide // ACS omega. – 2019. – V. 4. – P. 10160.

6. Chong K.Y., Chia C.H., Zakaria S., Sajab M.S. Vaterite calcium carbonate for the adsorption of Congo red from aqueous solutions. // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2014. – Vol. 2 (4). – P. 2156-2161.

7. Сергеев С.А., Гулманов Э.Э., Сергеев Р.С. Исследование свойств водотопливных эмульсий с наночастицами магнетита на сверхвысоких частотах // В мире научных открытий. – 2014. – № 4 (52). – С. 148-160.

8. Сергеев С.А., Михайлов А.И., Горин Д.А. и др. Коллоиды магнетита: получение и исследование свойств в СВЧ диапазоне // Полупроводниковая электроника и молекулярные нанотехнологии: Сборник статей. – Саратов: «Наука», 2013. – С. 214-228.

9. Сергеев С.А., Короневский Н.В., Гулманов Э.Э., Сергеев Р.С. Исследование свойств неорганических нановолокон с микрочастицами CaCO3 на сверхвысоких частотах // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2017. – Т. 1. – С. 155-159.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОЛОКОН ПОЛИКАПРОЛАКТОНА НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

Короневский Н.В., Андреев А.А., Хайрушев И.В., Гукова В.И., Сергеева Б.В.
Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Сергеев С.А.

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов

Аннотация. *В работе проведено исследование влияния изменения концентрации водных растворов хлорида кальция и карбоната натрия и времени ультразвуковой обработки волокон на морфологию поверхности образцов минерализованных волокон методом сканирующей электронной микроскопии.*

Ключевые слова: *волокна поликапролактона, микрочастицы карбоната кальция, сканирующая электронная микроскопия*

Передовым направлением развития регенеративной медицины [1-2] является разработка новых биомедицинских материалов на основе функционализированных полимерных матриц, отвечающих таким требованиям как биосовместимость, биоразлагаемость, возможность колонизации каркаса клетками [3].

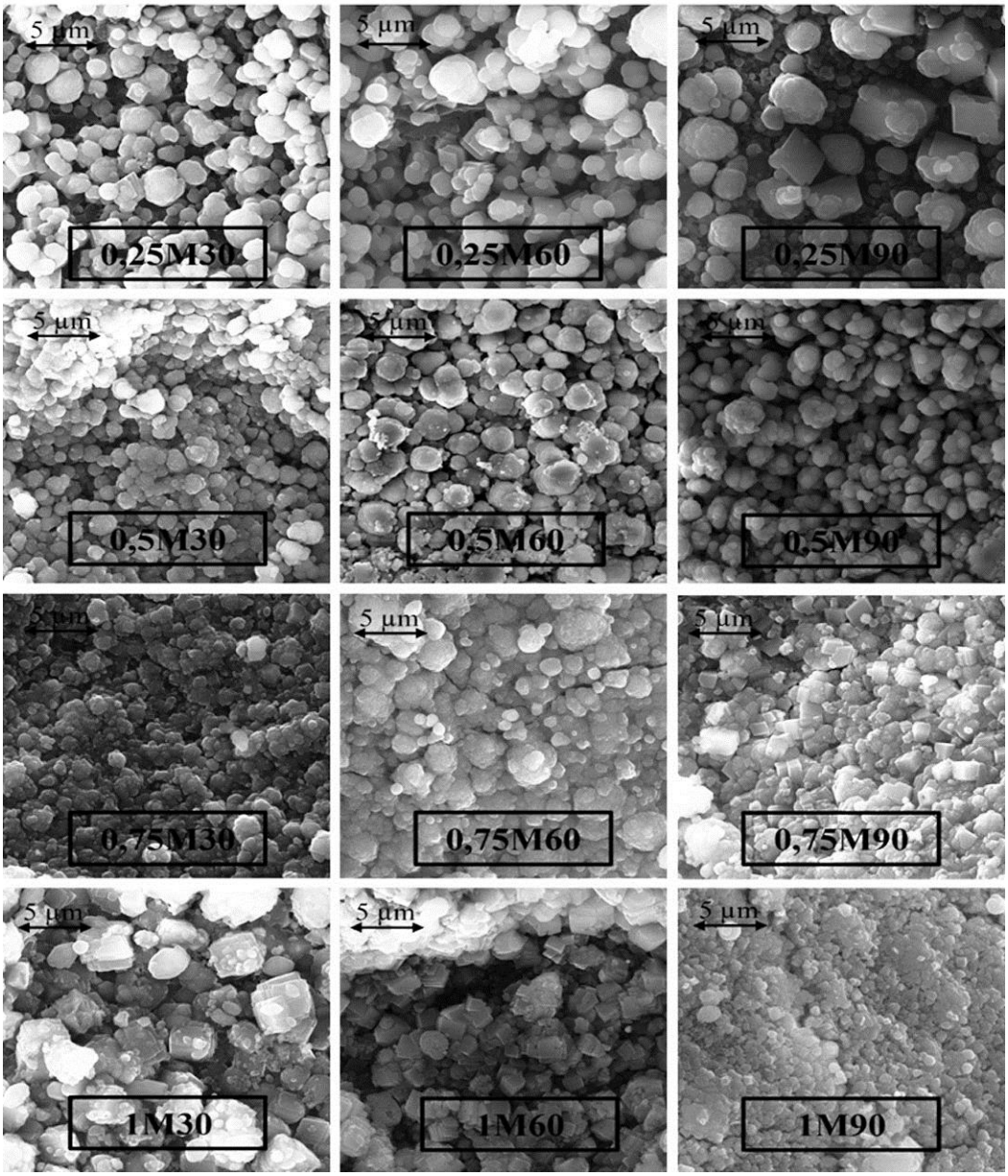
Композитный материал может быть получен на основе волокон поликапролактона [4] с минерализованными на его поверхности частицами карбоната кальция модификации ватерит [5-9]. Высокая пористость и развитая поверхность микрочастиц ватерита делает возможной загрузку лекарственных средств в поры микрочастиц [10].

С помощью метода сканирующей электронной микроскопии было исследовано влияние концентраций исходных водных растворов хлорида кальция ($CaCl_2$) и карбоната натрия (Na_2CO_3), а также времени ультразвуковой обработки на процесс минерализации волокон поликапролактона (ПКЛ) микрочастицами ватерита.

Из полученных методом электроформования волокон ПКЛ (средний диаметр 100 ± 50 нм) был синтезирован нетканый материал последовательным нанесением на подложку десяти слоёв волокон ПКЛ.

Минерализация волокон ПКЛ микрочастицами карбоната кальция ($CaCO_3$) была проведена по следующему алгоритму [11]. Процесс минерализации проводили трижды. Концентрации рабочих растворов изменяли от 0,25 до 1 моля, время УЗ обработки – от 30 до 90 секунд.

Морфологию поверхности полученных образцов исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (Mira II LMU фирмы «TESCAN») в режиме вторичных электронов. На рисунке представлены СЭМ изображения поверхности образцов синтезированного композитного материала. Была введена маркировка образцов, где первое число обозначает концентрацию раствора, второе – время обработки ультразвуком (в секундах).



СЭМ изображения образцов после проведения трёхкратной минерализации при варьировании концентраций рабочих растворов и времени УЗ-обработки

Обработка полученных СЭМ изображений была проведена посредством программного обеспечения Image J. Для определения среднего размера сформированных микрочастиц карбоната кальция в каждом технологическом цикле анализу подвергали 500 микрочастиц. Результаты проведённого анализа представлены в таблице.

Средний диаметр микрочастиц ватерита, синтезированных при изменении концентрации рабочих растворов и времени УЗ обработки

Ultrasonic treatment time (sec) / Concentration of salt solutions (M)	30 sec	60 sec	90 sec
0,25 M	1,2 ± 0,4 μm	1,2 ± 0,4 μm	0,7 ± 0,2 μm
0,5 M	0,8 ± 0,5 μm	1,1 ± 0,3 μm	1,3 ± 0,3 μm
0,75 M	0,8 ± 0,4 μm	1,1 ± 0,6 μm	0,5 ± 0,1 μm
1 M	0,7 ± 0,3 μm	0,8 ± 0,4 μm	0,7 ± 0,2 μm

Микрочастицы образцов 0,25М30 и 0,25М60 обладают бóльшим средним диаметром, что свидетельствует об относительно небольшой эффективной площади поверхности для адсорбции. Наименьшим размером обладают микрочастицы ватерита образцов 0,5М30, 0,75М30 и 0,25М90. Образцы 0,25М90, 0,75М90, 1М30, 1М60, 1М90 имеют на поверхности включения кальцита, что может оказывать влияние на процесс перекристаллизации ватерита в кальцит. Для образцов 0,5М30, 0,75М30 и 0,75М60 отклонение микрочастиц от среднего размера превышает 50 %, что указывает на неоднородность покрытия и усложняет процесс практического применения композитного материала.

Таким образом, были изучены параметры минерализации частицами карбоната кальция (ватерита) волокон поликапролактона. Показано, что образцы, полученные из водных растворов хлорида кальция и карбоната натрия с концентрацией 0,5 М и временем ультразвуковой обработки 60 и 90 секунд обладают бóльшей однородностью по сравнению с образцами, полученными при других параметрах синтеза.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Wei W., Dai H. Articular cartilage and osteochondral tissue engineering techniques: Recent advances and challenges // Bioactive mater. – 2021. – V. 6 (12). – P. 4830-4855.

2. Thadepalli S. Review of multifarious applications of polymers in medical and health care textiles // Mater. Today: Proc. – 2022. – V. 55. – P. 330.

3. Grayson W., Martens T., Eng G. et al. Biomimetic approach to tissue engineering // Seminars in cell & development. biol. – 2009. – V. 20. – P. 665.

4. Koronevskiy N.V., Savelyeva M.S., Lomova M.V. et al. Composite mesoporous vaterite-magnetite coatings on polycaprolactone fibrous matrix // Izvestiya of Saratov University. Physics. – 2022. – V. 22 (1). – P. 62-71.

5. Koronevskiy N.V., Inozemtseva O.A., Sergeeva B.V. et al. Investigation of the process of recrystallization calcium carbonate microparticles grown on polycaprolactone nanofibers using scanning electron microscopy and X-ray diffraction // Izv.of Saratov Uni. Phys. – 2023. – V. 23 (2). – P. 179-187.

6. Короневский Н.В., Сергеев С.А., Ломова М.В., Савельева М.С. Патент 2761321 РФ. Способ минерализации органических волокон поликапролактона микрочастицами карбоната кальция. Опубл. 07.12.2021.

7. Koronevskiy N.V., Inozemtseva O.A. et al. Investigation of the process of recrystallization calcium carbonate microparticles grown on polycaprolactone nanofibers using scanning electron microscopy and X-ray diffraction // Izvestiya of Saratov University. Physics. – 2023. – Vol. 23 (2). – P. 179-187.

8. Сергеев С.А., Короневский Н.В. и др. Исследование свойств неорганических нановолокон с микрочастицами $CaCO_3$ на сверхвысоких частотах // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2017. – Т. 1. – С. 155.

9. Короневский Н.В., Сергеев Р.С., Савельева М.С., Сергеев С.А. Синтез и исследование свойств микрочастиц $CaCO_3$, выращенных на неорганических волокнах и модифицированных наночастицами Fe_3O_4 // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2017. – Саратов: Саратовский источник, 2017. – С. 120-123.

10. Trushina D.B., Borodina T.N., Belyakov S., Antipina M.N. Calcium carbonate vaterite particles for drug delivery: Advances and challenges // Materials Today Advances. – 2022. – V. 14. – P. 100214.

11. Savelyeva M.S., Abalymov A.A., Lyubun G.P. et al. Vaterite coatings on electrospun polymeric fibers for biomedical applications // Journal of Biomedical Materials Research Part A. – 2017. – V. 105(1). – P. 94-103.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО КОНТРАСТА ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ВМЕШАТЕЛЬСТВЕ ПРИ ЗАМЕНЕ МЕЖПОЗВОНОЧНОГО ДИСКА

Сергеев А.Н.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Пичхидзе С.Я.

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

Аннотация. *Статья содержит исследование контраста на примере полученного рентгеновского изображения, а также моделирование изделия имплантата позвонка с проверкой и анализом его механических свойств.*

Ключевые слова: *контраст, моделирование, межпозвоночный диск*

С развитием вычислительной техники появилось множество инструментов и программных сред, которые помогают специалистам из разных областей делать их работу лучше и быстрее. Например, для инженеров-проектировщиков таким инструментом является компьютерное моделирование. Оно помогает инженеру исследовать изделие на различные характеристики и свойства, не создавая реальной модели, что в свою очередь позволяет экономить деньги, материал, и время на разработку и снижает риски.

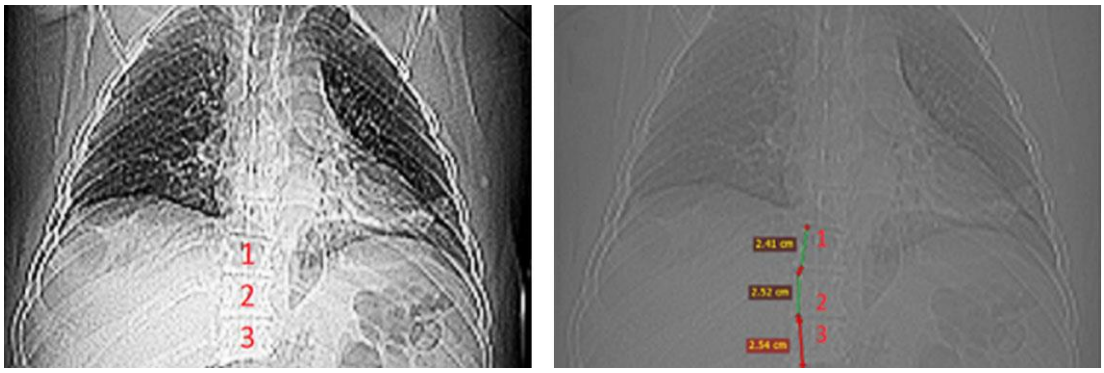
В качестве примера поставлена задача по замене межпозвоночного диска. Хирург обращается к инженеру разработать для пациента имплантат. Нужно подобрать материал и форму изделия так, чтобы он приблизился к механическим свойствам кости, не говоря уже о биосовместимость материала (реагирование организма на инородный материал). Моделирование в этом случае позволяет провести исследование проектируемого имплантата без риска для здоровья человека.

Чтобы исследовать позвоночник человека понадобиться рентгенографический анализ. Рентгеновские лучи позволяют провести исследование внутренней структуры объекта (в том числе человеческого организма). Лучи, проходя через объект исследования, проецируют на специальную пленку или бумагу (в современном оборудований используются датчики) изображение степени их ослабления после прохождение сквозь структуру, формируя картину внутренней структуры. Таким образом, наглядно изображается исследуемый объект и появляется возможность его измерить, но чтобы исключить помехи в измерениях следует обратиться к изменению контраста изображения. Специальные настройки контраста помогают лучше разобрать и изучить структуру и рассчитать позвонки, находящиеся в организме человека.

Цель работы: исследование замещения позвонков при использовании контраста и компьютерного моделирования.

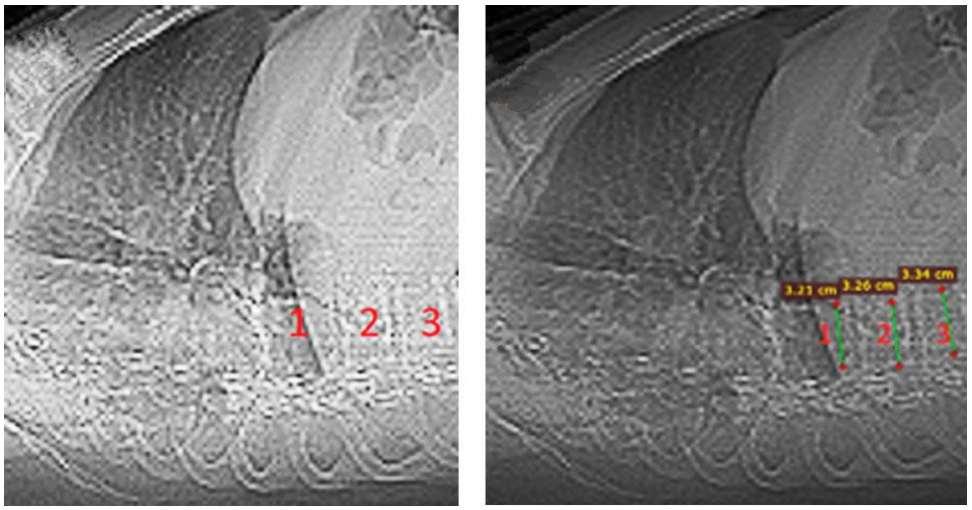
В качестве объекта исследования взяты нижние позвонки грудного отдела Th 9, Th 10 и Th11, рис. 1, 2. Для проведения исследования над рентгеновскими снимками использовалось программное обеспечение RadiAnt DICOM Viewer. Оно позволяет провести замеры исследуемых позвонков и менять контраст рентгеновского изображения.

Далее создавалась компьютерная модель имплантата в системе позвонков Th 9 – позвонок – Th 11 с помощью программного обеспечения SolidWorks 2024 с пакетом Flow Simulation, рис. 3. За основу бралась модель известного сетчатого имплантата для межтелового спондилодеза, материал эндопротеза – цирконий. Результаты расчета НДС приведены в табл. 1. По значениям рассчитанного значения запаса прочности от нагрузки на позвонки построен график, рис. 7. Рабочий диапазон модели составляет 200-500 Н.



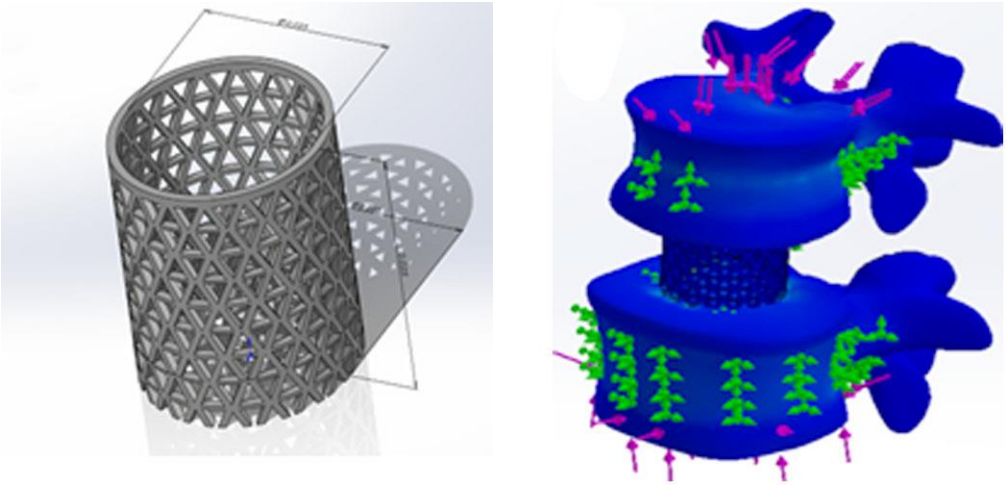
а б

Рис. 1. Рентгеновский снимок грудной клетки (вид сзади), где: 1 – позвонок Th 9; 2 – позвонок Th 10; 3 – позвонок Th 11 (а – до изменения контраста; б – после изменения контраста)



а б

Рис. 2. Рентгеновский снимок грудной клетки (вид справа), где:
1 – позвонок Th 9; 2 – позвонок Th 10; 3 – позвонок Th 11
(а – до изменения контраста; б – после изменения контраста)

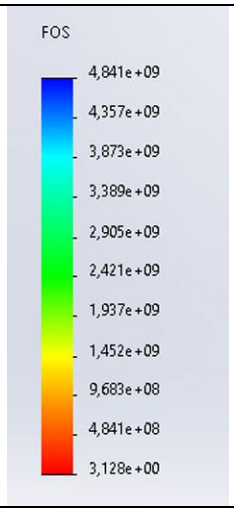
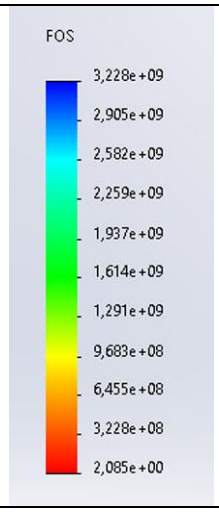
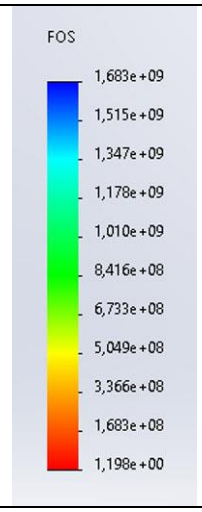
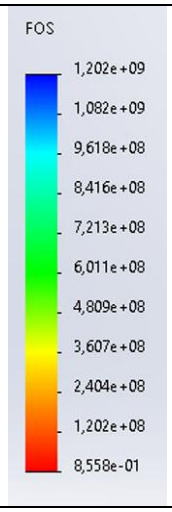


а б

Рис. 3. Компьютерная модель: а – имплантата;
б – системы позвонок Th 9 – имплантат – позвонок Th 11

Таблица 1

Эпюры напряжений

Нагрузка, Н			
200	300	500	700
			

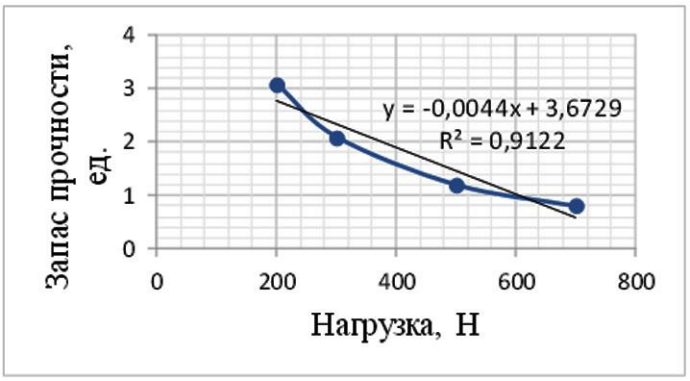


Рис. 4. Зависимость запаса прочности от нагрузки на позвонки

На второй стадии работы для наглядности реализована 3D-печать позвонков и сетчатого имплантата эндопротеза из ABS-пластика, рис. 5.

Рис. 5. 3D-модель системы позвонок Th 9 – имплантат – позвонок Th 11

Выводы: при сочетании технологий изменения контраста изображения и компьютерного моделирования успешно решена задача по замене дефектного позвонка.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Егиазарян К.А. Травматология и ортопедия / К.А. Егиазарян, И.В. Сиротина − М.: ГЭОТАР − Медиа, 2019. − 576 с.

2. Патент № 2520799 РФ, МПК A61F 2/44, A61B 17/56. Телескопический протез тела позвонка и способ его имплантации: № 2013112401/14; заявл. 19.03.2013; опубл. 27.06.2014 / Чертков А.К., Чертков А.А., Чертков К.А., Гусев Д.А.

3. Патент № 215580 РФ, МПК A61F2/44, Телескопический телозамещающий имплантат позвоночника: № 2022116113; заявл. 2022.06.14; опубл. 2022.06.14 / Небогатиков Р.С., Войко А.В., Костин К.Б., Викулова М.А., Пичхидзе С.Я.

4. https://medbiotech.by/implantaty_dlya_megtelovogo_spondilodeza_setchatye_meshi/.

5. Сергеев А.Н., Пичхидзе С.Я. Сочетание рентгеновского контраста и хирургического вмешательства при замене межпозвоночного диска / Сборник трудов X Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий» (24 апреля 2024 года). − М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2024. − Т. II. – 6 с.

ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ И КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НАНОРАЗМЕРНЫХ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ХИТОЗАНОМ

Серов А.М., Татов А.В.[1], Голик Д.Б.[2]
Научный руководитель: к.т.н., доцент Блинов А.В.

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

Аннотация. *В статье была изучена морфология поверхности и кристаллическая структура наноразмерных медьсодержащих соединений, которые были стабилизированы хитозаном.*

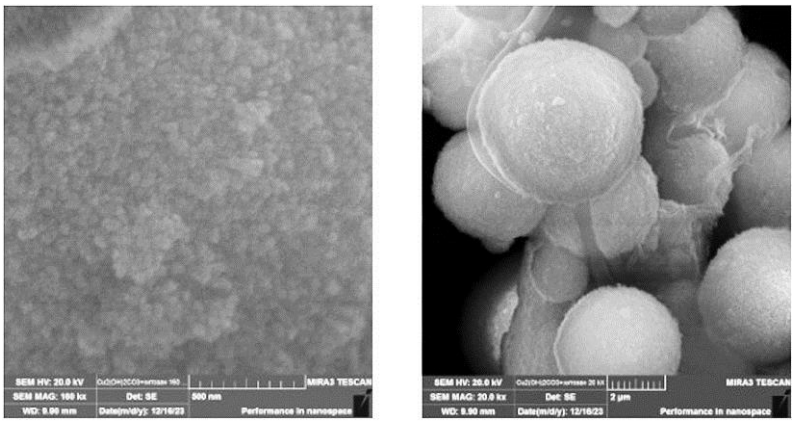
Ключевые слова: *наноматериалы, медьсодержащие соединения, хитозан*

В настоящее время наноматериалы благодаря своим многочисленным преимуществам, которые возникают при переходе в нанометровый диапазон, стали перспективными материалами в таких областях, как медицина, фармацевтика, электроника и др. В последнее время большой интерес проявляется к разработке методов синтеза и изучению свойств наноразмерных медьсодержащих соединений. Связано это с тем, что наночастицы меди находят применение в катализе, оптических, сенсорных и электронных устройствах, также открываются широкие возможности для создания новых препаратов с высокой биологической активностью для применения в экологии, медицине и сельском хозяйстве [1, 2]. Наночастицы меди легко смешиваются с различными полимерами и относительно стабильны как с точки зрения химических, так и физических свойств. Они могут быть особенно ценными противомикробными агентами, поскольку их можно получать с чрезвычайно высокой площадью поверхности и необычной кристаллической морфологией, что позволяет использовать материалы на их основе в медицине [3]. Таким образом, ввиду важности медьсодержащих соединений было принято решение изучить морфологию поверхности и кристаллическую структуру наноразмерных медьсодержащих соединений, стабилизированных хитозаном.

Синтез образцов проводили химическим методом. В качестве прекурсора и осадителя использовали ацетат меди и карбонат аммония, в роли стабилизатора природный полимер хитозан [4]. Синтез проводили в водной среде.

Исследование микроструктуры полученных образцов проводили на сканирующем электронном микроскопе MIRA-LMH. Также была изучена кристаллическая структура, исследования которой проводились рентгенодифрактометрическим методом на рентгеновском дифрактометре «PANanytical Empyrean» (фирма-изготовитель «PANalytical B.У», Нидерланды).

В результате были получены микрофотографии образца наноразмерного карбоната меди (рис. 1).



а б

Рис. 1. СЭМ-микрофотографии образца наноразмерного карбоната меди, стабилизированного хитозаном: а – увеличение в 20 000 раз; б – увеличение в 160 000 раз

Анализ полученных данных показал, что образец состоит из сферических агрегатов диаметром от 3 до 6 мкм, образованных из наночастиц от 30 до 85 нм.

В результате рентгенодифрактометрического анализа получена дифрактограмма образца наноразмерного карбоната меди, стабилизированного хитозаном (рис. 2).

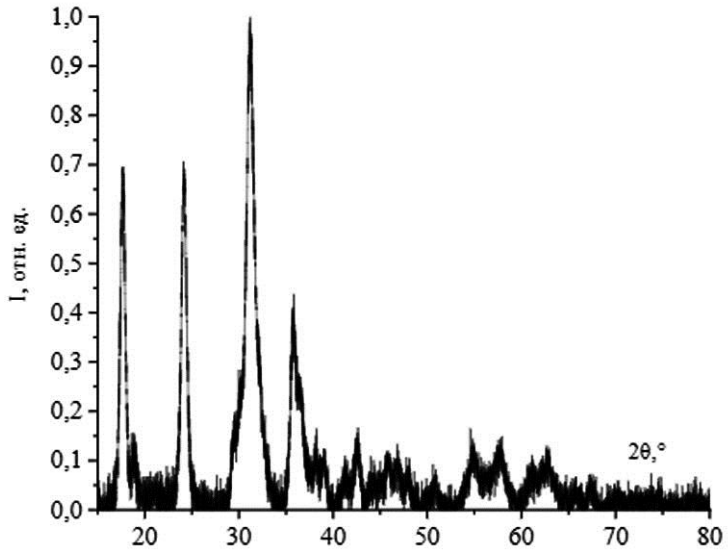


Рис. 2. Дифрактограмма образца наноразмерного карбоната меди, стабилизированного хитозаном

Анализ полученной дифрактограммы показал, что фазовый состав образца наноразмерного карбоната меди составляет основной карбонат меди с химической формулой $Cu_2(OH)_2CO_3$.

Таким образом, в рамках данной работы были получены образцы наноразмерных медьсодержащих соединений, стабилизированных хитозаном. У образцов была изучена морфология поверхности и кристаллическая структура.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FSRN-2023-0037).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шахнов В.А. Наноразмерные структуры: классификация, формирование и исследование. – М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2008.

2. Лучинин В.В. Введение в индустрию наносистем // Нано- и микросистемная техника. – 2007. – № 8. – С. 2-7.

3. Veerapandian M., Sadhasivam S., Choi J., Yun K. Glucosamine functionalized copper nanoparticles: Preparation, characterization and enhancement of anti-bacterial activity by ultraviolet irradiation // Chemical Engineering Journal. 2012. V. 209. P. 558-567.

4. Няникова Г.Г., Маметнабиев Т.Э. Области применения хитозана // Известия СПбГТИ (ТУ). 2007. № 2.

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОЙ КЛЕЕНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Морозов А.К.
Научный руководитель: старший преподаватель Скорская Ю.Н.

Калужский филиал МГТУ имени Н.Э. Баумана, г. Калуга

Аннотация. *В статье предложена клееная конструкция наиболее эффективного режущего инструмента для обработки зубчатых колес с внутренними зубьями. Проанализировано влияние температурных полей на клеевое соединение.*

Ключевые слова: *червяк фрезы, инструментальная рейка, профиль, клеевое соединение*

Важной задачей инструментальной отрасли является экономия вольфрамосодержащих инструментальных материалов. В связи с этим одним из направлений в инструментальном производстве является разработка и внедрение инструментов составной конструкции. В составных конструкциях фрез режущие элементы, которые соединяются методом сварки или пайки, возникают большие внутренние остаточные напряжения после термообработки, вызванные неодинаковыми коэффициентами линейного расширения деталей конструкции.

В результате этого происходит деформация конструкции, что отрицательно сказывается на точности инструмента. По сравнению с пайкой и сваркой, склеивание является более технологичным способом, благодаря соединению всех деталей конструкции в единое целое за счет химической реакции, протекающей в клее при его отверждении.

Проведенные во ВНИИинструменте теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать общую методику проектирования клеевого соединения в режущем инструменте, которая включает следующие основные этапы:

1. Разработку конструкции корпуса инструмента и режущего элемента с учетом особенностей нагружения клеевого соединения силой резания и воздействия на него теплового потока из зоны резания.

2. Выбор клея и установление соответствующей ему технологии склеивания исходя их типа инструмента и условий его эксплуатации.

3. Разработку конструкции и оптимизацию геометрических параметров клеевого соединения.

4. Расчет клеевого соединения на прочность и ресурс, исходя из условий хранения режущего инструмента.

На базе кафедры МК1 «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ имени Н.Э. Баумана авторами была поставлена и решена следующая задача: разработать клееную конструкцию червячной фрезы, предназначенной для нарезания колес с внутренними зубьями и состоящую из корпуса и комплекта зубчатых реек. Крепление реек в корпусе произвести клеем после их термической обработки. Для правильного выбора основных элементов конструкции фрез провести расчеты на прочность клеевого соединения.

Программа, разработанная на кафедре, позволила автоматизировать следующие этапы расчета конструкции червячной фрезы (исходные данные: m = 10 мм, $d_{пос}$ = 60 мм, L = 102,6 мм, $d_{нар}$ = 250 мм):

1. Расчет профильного угла исходного контура фрезы их условия выравнивания длин правой и левой частей линии зацепления [1-4,7].

2. Расчет длины фрезы и вписывание ее значения в допустимые пределы путем уменьшения коэффициента высоты ножки колеса [5, 6].

3. Выбор длины профилирующего участка фрезы из соображения вписывания погрешности профиля и огранки зуба колеса в допустимые пределы [8-12].

Авторами был проведен расчет прочности клеевого соединения в режущем инструменте, который показал, что условию прочности удовлетворяет однокомпонентный эпоксидный клей марки УП 5-207, обеспечивающий термостойкость до 250° С с прочностными характеристиками $\tau_{ед.}$ = 250 кгс/см^2.

Работа в симуляторах позволила произвести исследование температурных полей реек фрезы (рис. 1, 2, 3).

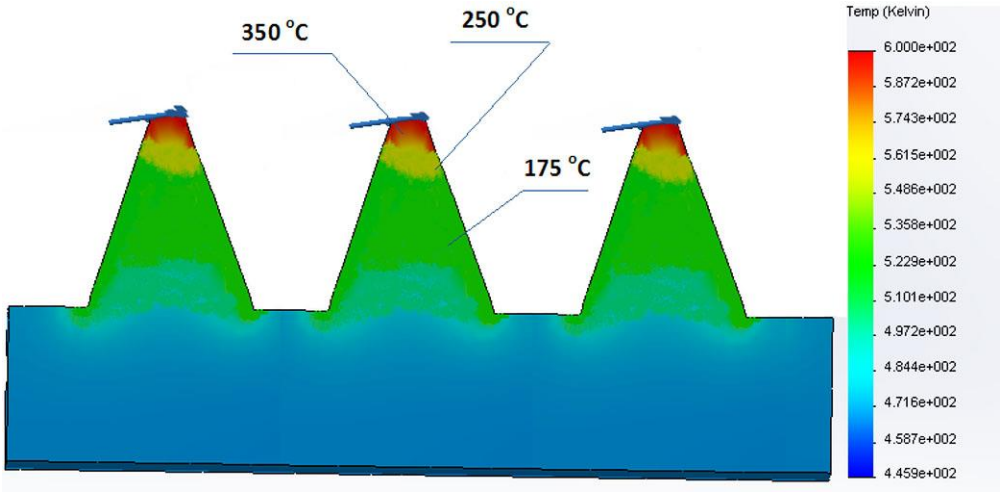


Рис. 1. Температурное поле в приклеенной режущей пластине (вид сверху)

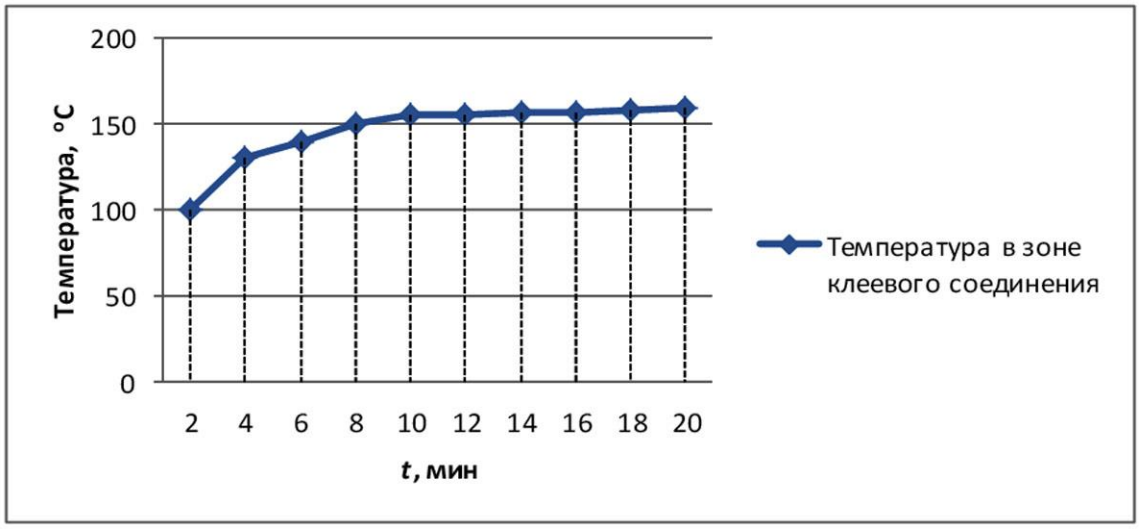


Рис. 2. Температура на поверхности пластины в зоне клеевого шва

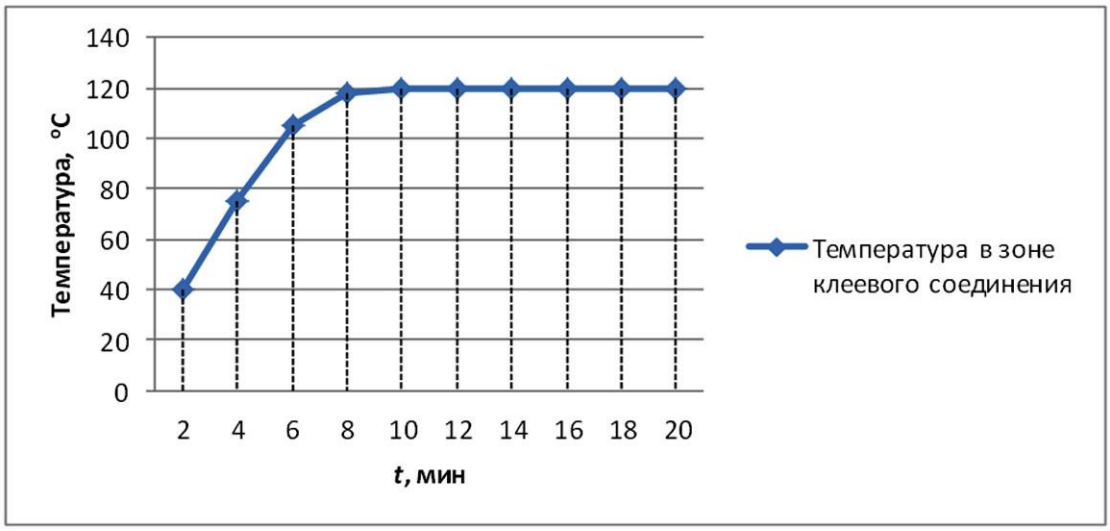


Рис. 3. Температура на поверхности корпуса в зоне клеевого шва

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что наибольший нагрев происходит на вершинах реек при врезании 350° С, а по мере приближения к клеевому шву температура уменьшается и не превышает критической температуры 250° С.

Авторы решили поставленную задачу: была разработана новая конструкция клееной червячной фрезы, предназначенной для обработки зубчатых колес внутреннего зацепления. Такая конструкция позволила обеспечить экономию быстрорежущей стали в сравнении с цельной фрезой (около 60 кг на одну фрезу), а также повышение стойкости за счет улучшения качества исходного металла (снижение балла карбидной неоднородности).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Архипов А.А., Баландин А.Д. Оптимизация формы зубьев обкатных инструментов для обработки внутренних эвольвентных колёс // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении: тез. докл. Всероссийской научно-технической конференции. Калуга, 2000, С. 13.

2. Баландин А.Д. Минимизация погрешностей профиля червячной модульной фрезы, вызванных радиальным затылованием // Вестник машиностроения, 1978, № 4.

3. Баландин А.Д. Задача сопряжения простых поверхностей // Социально-экономические проблемы управления производством, создание прогрессивных технологий, конструкций и систем в условиях рынка: тез. докл. Российской научно-технической конференции – Калуга, 1995. – С. 146.

4. Пиковская Н.И., Глотов С.А. Шлифование эвольвентных червяков плоским торцом круга // Станки и инструмент, 1999, № 6, С. 29.

5. Рыжов Д.С. Профилирование дисковых инструментов для обработки винтовых поверхностей // Создание прогрессивных технологий, конструкций и систем и социально-экономические проблемы производства: тез. докл. Всероссийской научно-технической конференции. – Калуга, 1998. – С. 36.

6. Семёнов В.В. Профилирование круга для вышлифовки винтовых канавок на концевом инструменте // Станки и инструменты, 1974, № 10, С. 32.

7. Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н. Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машиностроение, 1963. – 952 с.

8. Слав Л.И. Профилирование дисковой фрезы для обработки винтовой поверхности // Станки и инструмент, 1978, № 5, С. 28-29.

9. Татаренко В.Н., Робаковский Я.Н., Куликовский С.Ю. Исследование параметров установки дискового инструмента при обработке винтовых поверхностей // Станки и инструмент, 1980, № 2, С. 29-31.

10. Цепков А.В. Профилирование затылованных инструментов. – М.: Машиностроение, 1979. – 149 с.

11. Щегольков Г.А. Дискретизация профиля изделия при автоматизированном проектировании фасонных режущих инструментов // Станки и инструмент, 1993, № 5, С. 16-20.

12. Simon V. Grinding Wheel Profil for Hob Relief Grinding // Journal of Mechanical Design. – 1982, October, № 4. – s. 18-28.

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ И БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ

Мельников А.А., Матвеева А.В., Коленко И.В., Углова В.Е.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Студеникина Л.Н.

Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж

Аннотация. *В работе определены основные показатели композитных материалов на основе поливинилового спирта (ПВС) различной степени гидролиза и полисахаридов различной природы (декстрин, крахмал, целлюлоза, клетчатка кофейного зерна). Установлена корреляция между показателями композитов и характером частиц наполнителя, наиболее гомогенная система ПВС с декстрином, при этом она обладает максимальной диффузной емкостью и сохраняет максимальную прочность при влагонасыщении, гетерогенные системы на основе ПВС с грубодисперсными частицами клетчатки формируют неоднородную структуру, что сопровождается дефектообразованием и низкой прочностью.*

Ключевые слова: *водорастворимая упаковка, биоразлагаемая упаковка, поливиниловый спирт, полисахариды*

В последние годы рынок водорастворимой и биоразлагаемой пластиковой упаковки демонстрирует значительный рост и, как ожидается, будет продолжать расширяться, при среднегодовом темпе роста от 5 до 10 % по оценке различных экспертов. Сырьем для получения экоупаковки могут служить как возобновляемые природные биоресурсы, так и искусственно синтезированные вещества [1]. В настоящее время основная доля производства компостируемых (биоразлагаемых) пленок приходится на такие полимеры как: полимолочная кислота, полигидроксибутират, полибутилена сукцинат, полибутилена адипата терефталат. Эти полимеры демонстрируют хорошие потребительские свойства (прозрачность, прочность, влаго- и термостойкость и пр.), поэтому находят широкое применение на практике.

Значительную долю рынка биопластика также занимают материалы на основе термопластичного крахмала (для производства пленок крахмал обычно подвергают компаундированию с полимерами, обеспечивающими эластичность материала). Для производства водорастворимых упаковочных материалов используют синтетический поливиниловый спирт (ПВС), а также в некоторых случаях – природные полимеры (белки, полисахариды).

Тем не менее, существующим биоразлагаемым и водорастворимым упаковочным материалам присущи некоторые недостатки: высокая стоимость, низкие потребительские свойства, специфические условия разложения и пр. [2]. Одной из перспектив развития отрасли является компаундирование синтетических и природных полимеров, что позволит не только снизить себестоимость, но и улучшить эксплуатационные показатели материалов [3].

Цель – разработка водорастворимых и биоразлагаемых композитных материалов на основе природных и синтетических полимеров.

Объекты исследования: 2 марки ПВС – 17-99 (содержание ВА-групп 1 мас.%) и 17-88 (содержание ВА-групп 12 мас.%), и 4 вида полисахаридов (ПС): КК – крахмал кукурузный, МЦ – микроцеллюлоза (древесная, лиственных пород), Д – декстрин кукурузный, КФ – клетчатка кофейного зерна.

Композиты получали путем совмещения 5 % раствора ПВС и дисперсии полисахарида в соотношениях ПВС:ПС соответственно 75:25 и 50:50 масс.%, полученную суспензию перемешивали в течение 5 минут при температуре 40° С, далее в смесь добавляли пластификатор – глицерин, в количестве 10 мас.% от массы (ПВС+ПС) и гомогенизировали перемешиванием в течение минуты. Далее пластифицированные суспензии отливали на подложки размером 9,5 х 7 см и обезвоживали на воздухе в течение 24-48 часов.

Методы исследования: прочностные показатели определяли по ГОСТ 11262-17 с помощью разрывной машины РМ-50 с программным обеспечением «StretchTest». Водопоглощение – по ГОСТ 4650-2014, сорбцию водяного пара – по изменению массы предварительно обезвоженных образцов, помещенных в эксикатор с водой.

В результате проведенного исследования установлено, что жидкофазное наполнение грубодисперсными полисахаридами высокогидролизованных ПВС может сопровождаться значительным дефектообразованием композитов («сжатием»), что не наблюдается для материалов на основе низкогидролизованных ПВС; среди исследуемых материалов композиты состава «ПВС-декстрин» обладают максимальной гомогенностью, сорбционной емкостью и прочностью, также довольно высокие показатели демонстрирует крахмалонаполненный ПВС, при этом декстрин и крахмал обеспечивают сохранение прочности и эластичности композитов при влагонасыщении; наполнение ПВС грубодисперсной клетчаткой значительно снижает прочностные показатели материала, особенно во влажной среде.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Студеникина Л.Н. Получение высоконаполненного крахмалом полиэтилена с использованием модифицирующих добавок. Дисс. на соискание уч. степени канд. технич. наук. ВГУИТ. Воронеж. 2012.

2. Студеникина Л.Н., Домарева С.Ю., Голенских Ю.Е., Матвеева А.В. Особенности высоконаполненных композитов на основе различных марок поливинилового спирта. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83. № 1 (87). С. 316-322.

3. Студеникина Л.Н., Корчагин В.И., Иушин В.О., Мельников А.А. Влияние природы наполнителя на свойства композита «поливиниловый спирт: полисахарид». Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. № 1. С. 111-118.

ПОЛУЧЕНИЕ РЕАКЦИОННО-СПЕЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ SiC

Сулим Ю.С.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Пантелеев И.Б.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург

Аннотация. *В данной статье рассматривается получение керамического карбидокремниевого материала методом реакционного спекания. Представлено сравнительное исследование физико-механических свойств полученных материалов.*

Ключевые слова: *карбид кремния, горячее шликерное литье, реакционное спекание*

Целью данной работы является получение материалов на основе карбида кремния методом горячего шликерного литья с последующим реакционным спеканием (силицированием) полученных отливок. Для литья применяются термопластичные шликеры, которые обратимо переходят из жидкого в твердое агрегатное состояние и обратно под воздействием температур.

Горячее шликерное литье – это процесс, при котором нагретый шликер становится текучим и заливается под давлением в формы из металла. После охлаждения образец из извлекается из формы. Этот метод используется широко из-за его высокой производительности и способности создавать детали без пор со сложной геометрией. В отливках частицы порошка связываются термопластичной связкой [1-2].

В ходе данной работы шликер изготавливали из смеси порошка карбида кремния и алмаза с добавлением временной технической связки (ВТС) на основе парафина с добавлением воска и олеиновой кислоты. Для гомогенизации смеси и удаления воздуха шликер перемешивали с одновременным вакуумированием в течение 1 часа. Далее производили литье под давлением 5,5 бар при температуре 80° С на установке горячего шликерного литья «ЭКОН-УГШЛ». Полученные заготовки сушили для удаления ВТС.

Образцы отливались в форме балок высотой 10 мм, шириной 4 мм, длиной 70 мм.

В ходе эксперимента шликеры приготавливались на основе композиционных керамических порошков четырех составов, различающихся по количеству углеродного компонента.

Таблица 1

Составы приготовленных шликеров

№	Состав	Количество ВТС, масс. % (от общей массы шликера)
1	SiC M40 70 % + SiC M5 30 % + C 5 %	17
2	SiC M40 70 % + SiC M5 30 % + C 10 %	18
3	SiC M40 70 % + SiC M5 30 % + C 15 %	20
4	SiC M40 70 % + SiC M5 30 % + C 20 %	23

Вследствие того, что углерод плохо смачивается парафином, с его увеличением в исходной смеси порошков при приготовлении шликера необходимо вводить большее количество ВТС. Таким образом, достигается определенная текучесть шликера, при которой возможно получение литых образцов.

Исходя из экспериментальных данных, можно сделать вывод, что чем больше фракция порошка, на основе которого приготавливается шликер, тем большее количество ВТС необходимо ввести для получения шликера с нужной вязкостью.

Для сушки литых образцов используется силикагель. В процессе сушки образцы выдерживаются при температуре около 90° С. Время выдержки зависит от количества связки, которую необходимо удалить (от 3 до 5 %). При остатке связки более 5 % заготовка повреждается при спекании, а при остатке менее 3 % становится хрупкой и крошится.

Процесс реакционного спекания проводили в подготовленных для этого графитовых контейнерах. Их предварительно обкладывали графитовой фольгой, после чего на графитовую фольгу наносили смесь нитрида бора с изопропиловым спиртом. После испарения спирта на нитрид бора выкладывали образцы и обсыпали их чистым кусковым кремнием (в количестве 80 мас. % от массы образцов). Заготовки спекали при температуре 1600° С в течение 10 минут в вакууме [2].

Методом рентгенофазового анализа был определен фазовый состав полученных спеченных образцов. Рентгенограмма полученного спеченного образца представлена на рис. 1.

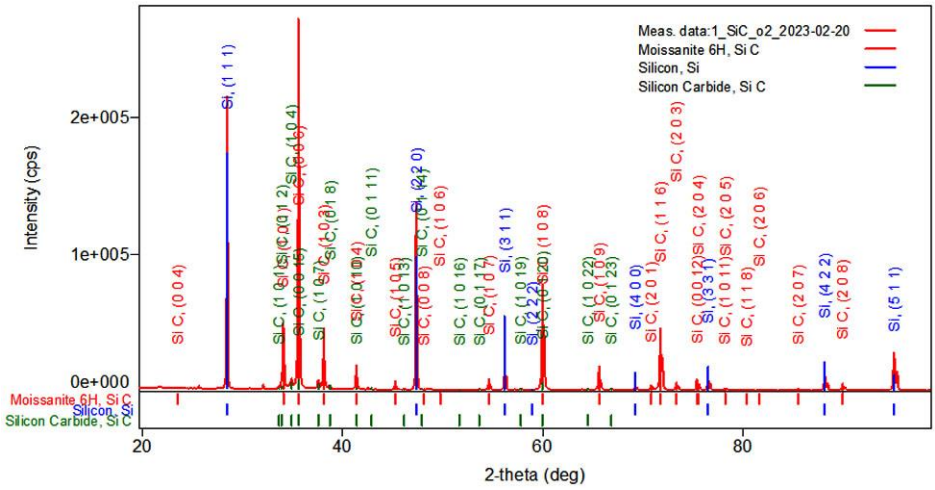


Рис. 1. Дифрактограмма спеченного образца с углеродной добавкой 10 масс. %

По результатам рентгенофазового анализа установлено, что в материале присутствуют фазы Si куб, α-SiC (6H-SiC) и β-SiC [2].

Микроструктура полученного материала, представленная на рисунке 2, изучалась с помощью сканирующего электронного микроскопа.

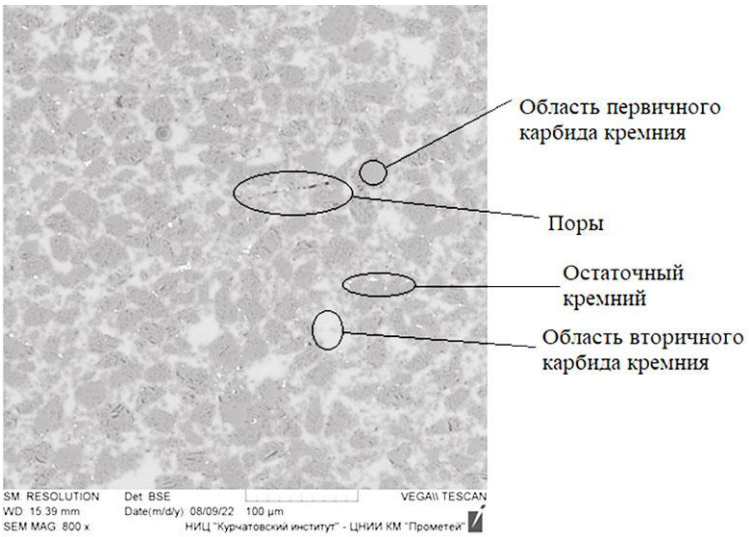


Рис. 2. Микроструктура спеченного литого образца с 10 масс. % углерода

Структура реакционно-спеченного карбида кремния представляет из себя первичный карбид кремния, связанный между собой вторичным карбидом кремния [3].

В таблице 2 приведены результаты исследования физико-механических свойств спеченных образцов.

Таблица 2

Физико-механические свойства реакционно-спеченных материалов

Образец	($\rho \pm 0{,}02$), г/см^3	($П \pm 0{,}1$),%	($V_{зв} \pm 100$), м/с	($E_{упр} \pm 20$), ГПа	($\sigma_{изг} \pm 20$), МПа	($HV \pm 1$), ГПа
1	2,86	< 0,4	8600	211	204	20
2	2,91	< 0,4	8880	228	228	21
3	2,93	< 0,4	8930	234	220	21
4	2,93	< 0,4	8950	235	191	20

Измерение прочностных характеристик, спеченных литых образцов показало, что прочность на изгиб спеченных отливок сначала возрастает (5-10 масс. % углеродной добавки), а затем с увеличением количества углерода до 20 масс. % снижается. Максимальной прочностью на изгиб обладают образцы состава 2.

Также изучено влияние углеродной добавки на прочность на изгиб спеченных прессованных образцов: при увеличении углеродной добавки от 5 до 15 масс. % прочность на изгиб образцов возрастает. Однако при 20 масс. % углерода прочность образцов резко снижается, что приводит к их разрушению при пескоструйной обработке и непригодности для дальнейших исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гнесин Г.Г. Карбидокремниевые материалы: учебное пособие / Г.Г. Гнесин. – Москва: Металлургия, 1977. – 217 с.

2. Карбид кремния: технология, свойства, применение / О.А. Агеев, А.Е. Беляев, Н.С. Болтовцев [и др.] // Харьков: «ИСТМА». 2010. – 532 с.

3. Шикунов С.Л. Получение композиционных материалов на основе карбида кремния силицированием углеродных матриц / С.Л. Шикунов, В.Н. Курлов // Журнал технической физики. – 2017. – Т 87. – № 12. – С. 1871-1878.

НАНОТЕХНОЛОГИИ В ФАРМАЦЕВТИКЕ

Сумзина О.С.

Херсонский государственный педагогический университет, г. Херсон

Аннотация. *Нанотехнологии вносят значительный вклад в фармацевтическую промышленность, открывая новые возможности для разработки и доставки лекарств. Наноматериалы обладают уникальными свойствами, такими как размер на нанометровом уровне, большая площадь поверхности и высокая реакционная способность, которые позволяют создавать новые системы доставки лекарств, улучшать биодоступность и таргетировать доставку лекарств. В этой статье рассматриваются различные применения нанотехнологий в фармацевтике, включая доставку лекарств, таргетинг рака и регенеративную медицину. Особое внимание уделяется потенциальным преимуществам, таким как улучшенная растворимость, стабильность и биодоступность лекарств, а также более эффективное и адресное лечение. Статья также обсуждает текущие проблемы и будущие направления исследований в области применения нанотехнологий в фармацевтике.*

Ключевые слова: *нанотехнологии, фармацевтика, доставка лекарств, таргетинг рака, регенеративная медицина, улучшенная растворимость, стабильность, биодоступность*

Нанотехнологии оказывают революционное влияние на фармацевтическую промышленность, открывая новые возможности для разработки и доставки лекарств. Наноматериалы, обладающие уникальными свойствами, такими как размер на нанометровом уровне, большая площадь поверхности и высокая реакционная способность, позволяют создавать новые системы доставки лекарств, улучшать биодоступность и таргетировать доставку лекарств.

В этой статье рассматриваются различные применения нанотехнологий в фармацевтике, включая доставку лекарств, таргетинг рака и регенеративную медицину.

Научные тезисы

Нанотехнологии в фармацевтике

Нанотехнологии открывают новые возможности для разработки и доставки лекарств благодаря уникальным свойствам наноматериалов. направлений современности. В государственной политике прослеживается активная заинтересованность в расширении наноиндустрии в Российской Федерации, подтверждением этому может служить создание такой структуры, как «РОСНАНО», целого ряда федеральных целевых программ по развитию наноиндустрии [1-3].

Наноматериалы обладают размером на нанометровом уровне, большой площадью поверхности и высокой реакционной способностью, что позволяет создавать новые системы доставки лекарств, улучшать биодоступность и таргетировать доставку лекарств.

Доставка лекарств с использованием нанотехнологий может улучшить растворимость, стабильность и биодоступность лекарств.

Наночастицы могут быть покрыты специальными оболочками или лигандами, которые позволяют им связываться с конкретными клетками или тканями. Это улучшает таргетинг лекарств и снижает побочные эффекты.

Нанотехнологии играют важную роль в таргетинге рака.

Наночастицы могут быть сконструированы для нацеливания на раковые клетки, используя различные механизмы, такие как пассивный таргет (через повышенную про-

ницаемость и удержание в опухолях) или активный таргет (через связывание с рецепторами на поверхности раковых клеток).

Нанотехнологии также используются в регенеративной медицине для восстановления поврежденных тканей и органов.

Наноразмерные материалы могут служить каркасами для роста клеток, доставлять факторы роста и генетический материал для стимуляции регенерации тканей.

Хотя нанотехнологии имеют большой потенциал в фармацевтике, существуют некоторые проблемы, которые необходимо решить, такие как разработка биосовместимых и биоразлагаемых наноматериалов и обеспечение контролируемого высвобождения лекарств из наночастиц.

Вывод:

Нанотехнологии представляют собой мощный инструмент для революционизации разработки и доставки лекарств. По мере преодоления текущих проблем и дальнейшего развития технологий мы можем ожидать новые прорывы в лечении заболеваний и улучшение качества жизни пациентов.

Доставка лекарств

Нанотехнологии позволяют разрабатывать новые системы доставки лекарств, которые могут улучшить растворимость, стабильность и биодоступность лекарств. Наночастицы могут быть покрыты специальными оболочками или лигандами, которые позволяют им связываться с конкретными клетками или тканями. Это улучшает таргетинг лекарств и снижает побочные эффекты.

Например, липосомы являются наноразмерными пузырьками, которые могут инкапсулировать лекарственные препараты и доставлять их в определенные клетки или ткани. Это может улучшить эффективность лечения и снизить токсичность для здоровых тканей.

Таргетинг рака

Нанотехнологии также играют важную роль в таргетинге рака. Наночастицы могут быть сконструированы для нацеливания на раковые клетки, используя различные механизмы, такие как пассивный таргет (через повышенную проницаемость и удержание в опухолях) или активный таргет (через связывание с рецепторами на поверхности раковых клеток).

Это позволяет доставлять высокие дозы лекарств непосредственно в опухоль, что приводит к более эффективному лечению и меньшим побочным эффектам. Например, наночастицы, несущие доксорубицин, показали улучшенную противоопухолевую активность и сниженную кардиотоксичность по сравнению с традиционными методами доставки.

Регенеративная медицина

Нанотехнологии также используются в регенеративной медицине для восстановления поврежденных тканей и органов. Наноразмерные материалы могут служить каркасами для роста клеток, доставлять факторы роста и генетический материал для стимуляции регенерации тканей.

Например, Наноразмерные волокна могут имитировать внеклеточный матрикс и направлять рост новых тканей. Наночастицы также могут быть использованы для доставки стволовых клеток в повреждённые области, где они могут дифференцироваться и восстанавливать функции тканей.

Текущие проблемы и будущие направления

Хотя нанотехнологии имеют большой потенциал в фармацевтике, все ещё существуют некоторые проблемы, которые необходимо решить. Одна из проблем заключается в разработке биосовместимых и биоразлагаемых наноматериалов. Другая проблема заключается в обеспечении контролируемого высвобождения лекарств из наночастиц.

Будущие исследования будут сосредоточены на разработке новых систем доставки лекарств на основе нанотехнологий, улучшении таргетинга и оптимизации контролируемого высвобождения лекарств. Также ожидаются дальнейшие достижения в области использования нанотехнологий в регенеративной медицине.

В целом, нанотехнологии в фармацевтике имеют огромный потенциал для революционизации разработки и доставки лекарств. По мере преодоления текущих проблем и дальнейшего развития технологий мы можем ожидать новые прорывы в лечении заболеваний и улучшение качества жизни пациентов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Постановление Правительства Российской Федерации № 498 от 2 августа 2007 г. «О федеральной целевой программе «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008-2010 годы».

2. Постановление № 777 от 22 октября 2008 г. «О внесении изменений в федеральную целевую программу «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008-2010 годы».

3. Распоряжение Правительства РФ № 1188-р от 25.08.2006 г. «О программе координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в Российской Федерации».

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕЙ СПЕКАЮЩЕЙ ДОБАВКИ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ КЕРАМИКИ YAG:Ce

Супрунчук В.Е., Бедраков Д.П., Бражко Е.А.

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

Аннотация. *В работе представлены результаты исследования влияния кремнийсодержащей спекающей добавки TEOS на фазовый состав иттрий-алюминиевого граната, легированного ионами Ce^{3+}. Порошки-прекурсоры оксидных композиций были синтезированы гетерофазным осаждением в условиях отклонения от стехиометрии. На этапе мокрого помола керамического порошка в часть образцов была введена спекающая добавка TEOS в количестве 0,5 масс.%. Установлено, что кремнийсодержащая спекающая добавка приводит к снижению доли примесных фаз в структуре иттрий-алюминиевого граната, легированного катионами церия.*

Ключевые слова: *YAG:Ce, параметр кристаллической решетки, фазовый состав, спекающая добавка, SiO_2, TEOS*

Сегодня актуальным является поиск и оптимизация технологии создания новых функциональных материалов для оптоэлектроники и фотоники, среди которых можно выделить люминесцентную керамику. Люминесцентная керамика на основе иттрий-алюминиевого граната (YAG), активированного ионами Ce^{3+} является наиболее известным и современным керамическим сцинтиллятором [1], также может быть использована в качестве преобразователя излучения [2]. Несмотря на то, что керамика YAG:Ce известна давно [3], остается открытым вопрос повышения светоотдачи такого материала. Одним из способов достижения данной цели является увеличение концентрации легирующей примеси Ce^{3+}. Однако кроме концентрации церия, на эффективность люминесценции YAG: Ce^{3+} могут влиять дефекты микроструктуры

керамики, такие как пористость и включение примесных фаз типа Al_2O_3 , Y_2O_3 , YAP и других [4], что определяется методикой синтеза, применяемой спекающей добавки и технологическими особенностями получения [5, 6].

Для определения влияния спекающей добавки SiO_2 на фазовый состав керамического порошка были выбраны оксидные композиции при варьировании отклонения от стехиометрии, состав которых представлен в таблице 1. В рамках данного исследования порошки-прекурсоры были получены методом гетерофазного осаждения в аммиачной среде солей элементов входящих в состав гранта. Керамические порошки получали отжигом порошков-прекурсоров при температуре 1200° С на воздухе. Каждый образец делили на две части: ВТ-серия и В-серия. Для ВТ-серии спекающую добавку SiO_2 вводили в виде ТЕОС в количестве 0,5 масс.% на стадии мокрого помола керамического порошка. В качестве размольной среды использовался изопропиловый спирт.

Для В-серии мокрый помол осуществляли без внесения спекающей добавки. Все образцы высушивали сушились при температуре 60° С до уровня влажности не более 2 %. Затем при помощи одноосного прессования изготавливались диски диаметром 15 мм и толщиной 3 мм, которые прокаливали в вакууме при температуре 1625° С, шлифовали до толщины 1 мм и исследовали методом рентгенофазового анализа (РФА).

Таблица 1

Составы оксидных композиций

Шифр образца	Номинальный состав оксидной композиции	Избыток алюминия (ф.ед.)
ВТ1/В1	$Y_{3,004}Ce_{0,02}Al_{4,976}O_{12}$	-0,024
ВТ2/В2	$Y_{2,98}Ce_{0,02}Al_5O_{12}$	0
ВТ3/В3	$Y_{2,974}Ce_{0,02}Al_{5,006}O_{12}$	0,006
ВТ4/В4	$Y_{2,962}Ce_{0,02}Al_{5,018}O_{12}$	0,018

На рис. 1 представлены рентгенограммы образцов серии ВТ-серии (а) и В-серии (б). Примесные фазы оксида церия (CeO_2) и иттрий-алюминиевого перовскита (YAP) были зарегистрированы на пределе обнаружения в образце В1. В данной оксидной композиции появление примесной фазы YAP обусловлено избытком иттрия.

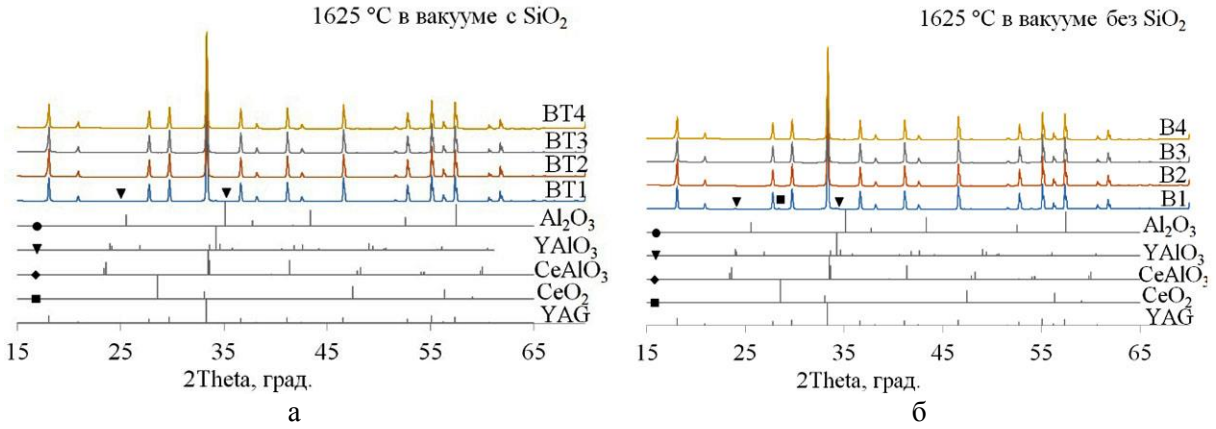


Рис. 1. Рентгенограммы образцов: а – ВТ-серии; б – В-серии

Поскольку катионы церия встраиваются на место иттрия, то в случае избытка второго возникновение фазы CeO_2 является вполне закономерным явлением. При вве-

дении в данный состав спекающей добавки (SiO_2) доля примесных фаз уменьшилась, в подтверждение чего свидетельствует снижение интенсивностей рефлексов, связанных с фазой YAP. Что же касается фазы CeO_2, то в образце ВТ1 её количество было ниже порога обнаружения.

В образцах В2, В3 и В4, а также у их аналогов, содержащих спекающую добавку ВТ2, ВТ3 и ВТ4, примесных фаз не обнаружено. Этот результат находится свидетельствует о том, что для керамических порошков, состав которых описывается общей формулой $Y_{3-x}Al_{5+x}O_{12}$, где -0,02 < x < 0,02, примесные фазы лежат ниже порога обнаружения методом РФА. Анализ данных о параметрах кристаллической решетки (*a*), представленных в таблице 2, показал, что изменение катионного состава оказывает влияние на величину *a*.

Наименьшее значение *a* = 12,0113 Å было зарегистрировано для образца В2 с номинальным стехиометрическим составом $Y_{2,98}Ce_{0,02}Al_5O_{12}$. В образцах с избытком иттрия параметр кристаллической решетки был выше за счет образования дефектов замещения Y_{Al}. В образцах с избытком алюминия (В3, В4) значение а были также немного выше, чем в образце В5.

Таблица 2

Результаты рентгенофазового анализа

Шифр образца	Параметр *a*, Å	Основная фаза	Примесная фаза	Шифр образца	Параметр *a*, Å	Основная фаза	Примесная фаза
В1	12,0135	YAG	CeO_2 + $YAlO_3$	ВТ1	12,0125	YAG	$YAlO_3$
В2	12,0093	YAG	–	ВТ2	12,0103	YAG	–
В3	12,0097	YAG	–	ВТ3	12,0113	YAG	–
В4	12,01074	YAG	–	ВТ4	12,0115	YAG	–

Увеличение параметра кристаллической решетки в образцах с избытком алюминия может быть связано с внедрением ионов Al^{3+} в междоузлия кристаллической решетки. Сопоставление параметров кристаллических решеток образцов В-серии и ВТ-серии указывает на то, что кремний также может встраиваться в междоузлия кристаллической решетки, что приводит к незначительному повышению параметра *a*.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в условиях избытка ионов иттрия в структуре иттрий-алюминиевого граната, легированного катионами церия кремнийсодержащая спекающая добавка приводит к снижению доли примесных фаз (CeO_2, YAP).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного задания (FSRN-2022-0015) с использованием научного оборудования центра коллективного пользования Северо-Кавказского федерального университета.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Osipov V.V. et al. Fabrication, optical and scintillation properties of transparent YAG:Ce ceramics // Opt. Mater. 2017. Vol. 71. P. 98-102.

2. Zhu Q.Q. et al. Transparent YAG:Ce ceramic with designed low light scattering for high-power blue LED and LD applications // J. Eur. Ceram. Soc. Elsevier, 2021. Vol. 41, № 1. P. 735-740.

3. Zych E. et al. Luminescence properties of Ce-activated YAG optical ceramic scintillator materials // J. Lumin. 1997. Vol. 75, № 3. P. 193-203.

4. Liu J. et al. Influence of non-stoichiometry on solid-state reactive sintering of YAG transparent ceramics // J. Eur. Ceram. Soc. 2015. Vol. 35, № 11. P. 3127-3136.

5. Tarala V.A. et al. Optical properties of non-stoichiometric YAG: Ce luminescent ceramics // Opt. Mater. 2023. Vol. 143. P. 114231.

6. Vorona I. et al. Effect of MgO doping on the structure and optical properties of YAG transparent ceramics // J. Eur. Ceram. Soc. 2020. Vol. 40, № 3. P. 861-866.

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ И ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ БИОСОВМЕСТИМЫХ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ СМОЛ BIOMED

Сытник А.Э., Тимофеев М.Н.
Научный руководитель: Тимофеев М.Н.

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

Аннотация. *В статье рассматривается применение фотополимерных смол BioMed Flex 80A и BioMed Elastic 50A в различных областях. Эти смолы обладают уникальными свойствами, которые делают их привлекательными для использования в различных отраслях.*

Ключевые слова: *биосовместимость, фотополимерные смолы, смолы BioMed, 3D-печать, медицина*

Фотополимерные смолы – это материалы, которые затвердевают под воздействием ультрафиолетового излучения. Они используются для создания 3D-моделей и прототипов. Компания Formlabs представила BioMed Flex 80A Resin и BioMed Elastic 50A Resin, предназначенные для создания эластомерных, биосовместимых медицинских устройств и моделей. Эти инновационные продукты предлагают более широкие возможности для 3D-печати в производстве медицинских компонентов и моделей, а также в медицинских учреждениях.

В прошлом специалистам в данной сфере приходилось применять сложные процессы формования силиконовых изделий, что часто сопряжено с высокими затратами времени и ресурсов или обращением к дорогостоящим контрактным производителям. Однако благодаря BioMed Flex 80A Resin и BioMed Elastic 50A Resin удается сочетать преимущества традиционных эластомерных и биосовместимых материалов с удобством использования и оптимизированным рабочим процессом 3D-принтеров компании Formlabs.

Оба новых материала успешно прошли испытания в соответствии с международными стандартами ISO 10993 и USP Class VI и производятся на заводе, зарегистрированном в FDA и сертифицированном согласно стандарту ISO 13485. Это обеспечивает медицинским работникам возможность использовать данные продукты с высокой степенью уверенности [1].

Пополнение библиотеки биосовместимых материалов компании Formlabs открывает новые перспективы для применения 3D-печати в различных рабочих процессах и областях, повышая качество обслуживания пациентов, снижая издержки и расширяя возможности медицинской индустрии.

Основное различие между этими смолами заключается в их эластичности. BioMed Elastic 50A Resin более эластична, чем BioMed Flex 80A Resin [2]. Это означает, что она может выдерживать большее количество деформации без разрушения. Оба ма-

териала могут использоваться в случаях, когда предполагается длительный контакт с кожей, в том числе со слизистой оболочкой [3].

Преимущества смол BioMed Elastic 50A Resin и BioMed Flex 80A Resin перед другими аналогами:

– Прочность и эластичность. Обе смолы обладают высокой прочностью и эластичностью, что делает их подходящими для изготовления различных изделий, требующих гибкости и долговечности.

– Прозрачность. Обе смолы прозрачны, что позволяет использовать их для создания изделий с чётким контуром и детализацией.

– Биосовместимость. Обе смолы сертифицированы по стандартам ISO 10993 и USP Class VI, что подтверждает их биосовместимость и безопасность для использования в медицинских целях.

– Широкий спектр применения. Обе смолы могут использоваться в различных областях, таких как строительство, ремонт, искусство и творчество.

– Долговечность. Обе смолы устойчивы к воздействию окружающей среды, что обеспечивает долговечность изделий, изготовленных с их помощью.

– Удобство в использовании. Обе смолы легко наносятся и обрабатываются, что упрощает процесс изготовления изделий.

– Сертификация. Обе смолы имеют необходимые сертификаты, подтверждающие их качество и безопасность.

Таблица 1

Данные о свойствах материала BioMed Flex 80A

Свойство	Значение
Предел прочности при растяжении	7,2 МПа
Напряжение при 50 % удлинении	2,6 МПа
Напряжение при 100 % удлинении	4,5 МПа
Удлинение при разрыве	135 %
Прочность на разрыв	22 кН/м
Твёрдость по Шору	77-80A

Таблица 2

Данные о свойствах материала BioMed Elastic 50A Resin

Свойство	Значение
Предел прочности при растяжении	2,3 МПа
Удлинение при разрыве	150 %
Прочность на разрыв	22 кН/м
Твёрдость по Шору	50A

Таким образом, смолы BioMed Elastic 50A Resin и BioMed Flex 80A Resin обладают высокой прочностью, прозрачностью и биосовместимостью, что делает их подходящими для различных областей применения, в том числе в медицине.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Официальный сайт «Midjourney». [Электронный ресурс]. – URL: https://formlabs.com/ru/materials/medical/ (дата обращения: 12.05.2024).

2. Веб-ресурс «Machine Design». [Электронный ресурс]. – URL: https://www.machinedesign.com/medical-design/article/21275296/formlabs-formlabs-introduces-flexible-biomed-and-dental-resins (дата обращения: 12.05.2024).

3. Веб-ресурс «EAC». [Электронный ресурс]. – URL: https://www.eacpds.com/ resource-center/biomed-flex-80a-resin-biomed-elastic-50a-resin/ (дата обращения: 12.05.2024).

МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ТИТАНА И ГИДРОКСИАПАТИТА

Таскаринова А.Т.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Пичхидзе С.Я.

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

Аннотация. *В работе представлен анализ спектров распределения напряжений, перемещений, деформаций, запаса прочности и эпюры распределения напряжений в конструкции модифицированных дентальных имплантатов, а также расчет запаса прочности. Проведено исследование плазменного напыления титана и гидроксиапатита на поверхность имплантата.*

Ключевые слова: *моделирование, имплантат, прочность, деформация, адгезия*

При работе биомеханических узлов трения, испытывающих знакопеременные нагрузки, происходит преждевременный износ деталей данного узла. Детали деформируются, происходит вырывание металла с поверхности, образуются зазоры, что приводит к выходу механизма из строя. Как правило, для данных механизмов требуются высокие качественные и прочностные характеристики, такие как твердость, износостойкость, коррозионная стойкость. Зачастую для повышения перечисленных качественных и прочностных параметров требуется лишь формирование на рабочей поверхности функционального защитного покрытия или модифицированного поверхностного слоя [1, 2].

В настоящее время не существует универсального способа упрочнения поверхности деталей. Различные методы предназначены для разных условий эксплуатации обработанных деталей. Рациональный выбор метода нанесения покрытия зависит от физико-химических и механических свойств упрочняемого материала [3].

Одним из эффективных и широко применяемых методов нанесения биокомпозиционных защитных покрытий является плазменное напыление, позволяющее получать покрытия из различных биоактивных материалов с оптимальными показателями адгезии, пористости и морфологии, способствующими остеоинтеграции [4].

В этой связи целью данной работы являлось исследование напряженно-деформированного состояния имплантируемой конструкции, а также исследование плазменного напыления титана и гидроксиапатита на поверхность имплантата.

1. Описание методики эксперимента и моделирования НДС

За основу в работе был выбран один из самых распространённых внутрикостных имплантатов AnyOne, рис. 1. Моделирование проводили с использованием программного продукта SolidWorks.

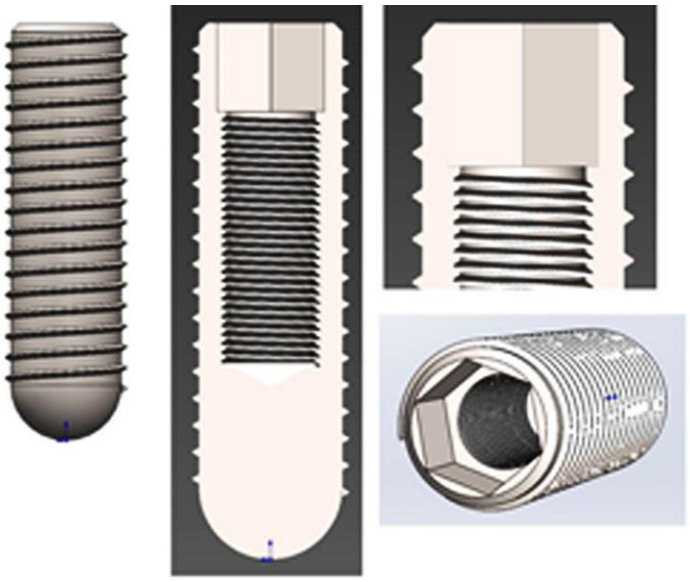
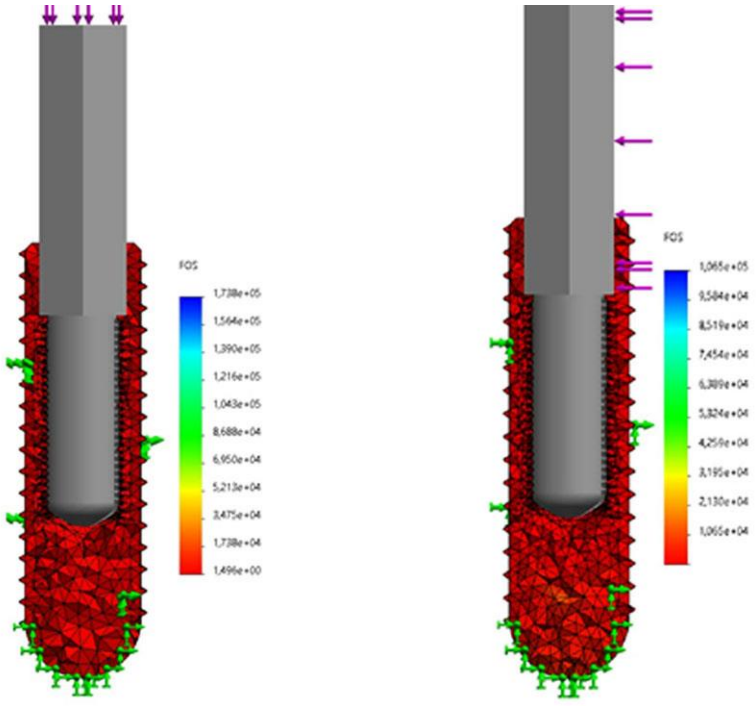


Рис. 1. Имплантат AnyOne

Для проведения исследований напряженно-деформируемого состояния НДС в процессе жевательной нагрузки на имплантат были построены модели имплантата AnyOne и штока, имитирующего абатмент с целью точного задания начальных условий исследования.

Материалом имплантатов AnyOne являлся титан марки ВТ1-00. Шток/абатмент задавался как жесткий объект для исключения его из расчета внутренних напряжений и возможности установки абатментов из различных материалов (сплавы титана, кобальт-хрома и керамик).



а б

Рис. 2. Запас прочности имплантата AnyOne, где: а – результаты испытаний при вертикальной нагрузке, б – результаты испытаний при горизонтальной нагрузке

Начальными условиями исследования были: жесткая фиксация опор, резьбы (на рисунках показана зелеными стрелочками), вертикальное или горизонтальное прямолинейное нормально-направленное вертикальное или горизонтальное усилие 3 кН и 1 кН, соответственно.

Анализ спектров распределения напряжений, перемещений, деформаций, запаса прочности и эпюры распределения напряжений Design Insight показал результаты, представленные в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты испытаний при вертикальной нагрузке

Параметр	Напряжение, МПа	Перемещение, мм	Деформация	Запас прочности	Распространение напряжений
Максимальное значение	250	$6{,}5 \times 10^{-4}$	$1{,}6 \times 10^{-3}$	–	–
Среднее значение	170	$4{,}5 \times 10^{-4}$	$1{,}0 \times 10^{-3}$	1,5	–
Зона распределения	Внутренняя резьба, шейка имплантата	Внутренняя резьба, шейка имплантата	Внутренняя резьба, шейка имплантата	Внутренняя резьба, шейка имплантата	Внутренняя резьба, шейка имплантата

Таблица 2

Результаты испытаний при горизонтальной нагрузке

Параметр	Напряжение, МПа	Перемещение, мм	Деформация	Запас прочности	Распространение напряжений
Максимальное значение	735	$2{,}0 \times 10^{-3}$	$3{,}5 \times 10^{-3}$	–	–
Среднее значение	450	$1{,}2 \times 10^{-3}$	$2{,}6 \times 10^{-3}$	1,5	–
Зона распределения	Основание шейки имплантата, внешняя резьба, основание внутренней резьбы	Основание шейки имплантата, внешняя резьба, основание внутренней резьбы	Основание шейки имплантата, внешняя резьба, основание внутренней резьбы	Основание шейки имплантата, внешняя резьба, основание внутренней резьбы	Основание шейки имплантата, внешняя резьба, основание внутренней резьбы

Математический расчет, начальные условия, методы фиксации и приложения сил полностью идентичны испытанию образца до модернизации.

После анализа результатов можно заключить, что основная нагрузка приходится на шейку имплантата, следовательно, было принято решение модернизировать именно эту область.

В качестве упрочняющих элементов, конструкцию имплантата предлагается подвергнуть плазменному напылению, а также были предложены ребра жёсткости на шейке имплантата, однако не единым контуром, а в виде 12 отдельных элементов (лепестков). Такое решение позволит не только распределить напряжения и увеличить запас прочности, но и позволит надежнее зафиксировать имплантат в костной ткани благодаря нанесению пористого титанового покрытия (ВТ1-00) толщиной 100-200 мкм на всей внешней поверхности имплантата, предел текучести 250-380 МПа.

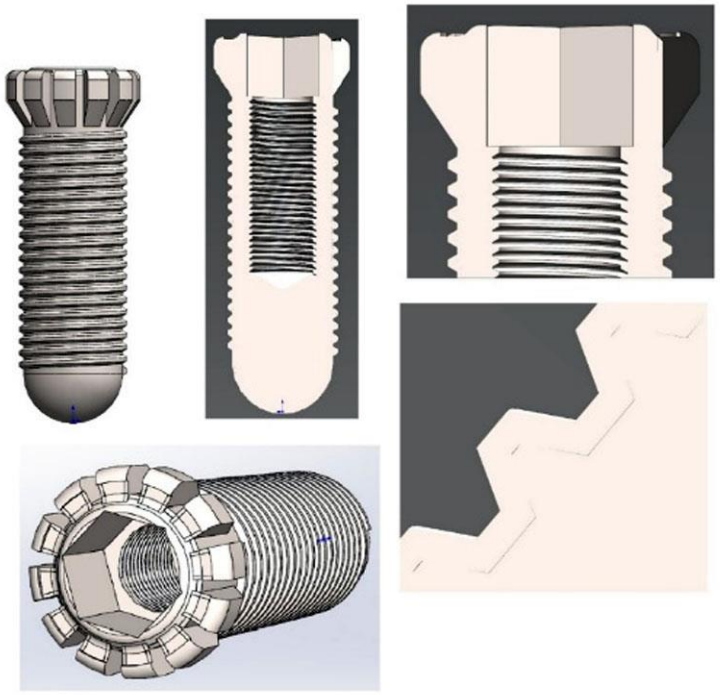
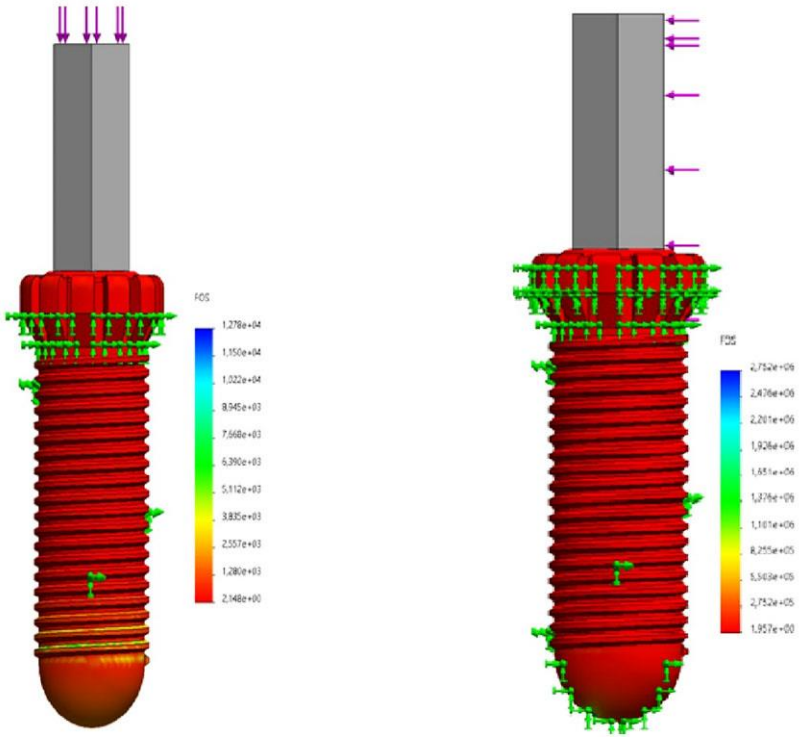


Рис. 3. Имплантат AnyOne Mod



а б

Рис. 4. Запас прочности имплантата AnyOne Mod, где: а – результаты испытаний при вертикальной нагрузке, б – результаты испытаний при горизонтальной нагрузке

Анализ спектров распределения напряжений, перемещений, деформаций, запаса прочности и эпюры распределения напряжений Design Insight показал следующие характеристики, представленные в табл. 3, 4.

Таблица 3

Результаты испытаний при вертикальной нагрузке

Параметр	Напряжение, МПа	Перемещение, мм	Деформация, мм	Запас прочности	Распространение напряжений
Максимальное значение	370	$6{,}0 \times 10^{-4}$	$1{,}7 \times 10^{-3}$	–	–
Среднее значение	110	$3{,}5 \times 10^{-4}$	$6{,}0 \times 10^{-4}$	2,1	–
Зона распределения	Равномерное распределение по всему внутреннему объему конструкции	Равномерное распределение по всему внутреннему объему конструкции	Равномерное распределение по всему внутреннему объему конструкции	Равномерное распределение по всему внутреннему объему конструкции	Равномерное распределение по всему внутреннему объему конструкции

Таблица 4

Результаты испытаний при горизонтальной нагрузке

Параметр	Напряжение, МПа	Перемещение, мм	Деформация	Запас прочности	Распространение напряжений
Максимальное значение	360	$1{,}2 \times 10^{-3}$	$1{,}4 \times 10^{-3}$	–	–
Среднее значение	96	$5{,}0 \times 10^{-4}$	$5{,}0 \times 10^{-4}$	1,9	–
Зона распределения	Равномерное распределение по всему объему шейки и нижней части внутренней резьбы	Равномерное распределение по всему объему шейки и нижней части внутренней резьбы	Равномерное распределение по всему объему шейки и нижней части внутренней резьбы	Равномерное распределение по всему объему шейки и нижней части внутренней резьбы	Равномерное распределение по всему объему шейки и нижней части внутренней резьбы

2 Плазменное напыление

В процессе исследования проводился анализ полученных образцов и с заданной погрешностью устанавливались характеристики напыления.

Морфология плазмонапыленных образцов Ti и ГА исследовалась на образцах из титана марки ВТ1-0, представляющих собой цилиндры диаметром 6,5 мм и высотой 1,5 мм; адгезию напыленных образцов исследовали на плоских образцах титана размером 10 × 30 × 2 мм.

Перед напылением ГА проводилась абразивно-струйная обработка поверхности образцов порошком электрокорунда «Белэкт» № 25 (ТУ 9391-094-45814830-2003) дисперсностью 150…350 мкм при давлении 0,2…0,5 МПа в течение 5 мин. Очистка от технологических загрязнений проводилась в водных растворах ПАВ и этилового спирта с применением УЗ-ванны «УЗУМИ-2».

Процесс плазменного порошкового напыления проводился на установке УПН-28. На поверхности образцов формировались слоистые покрытия системы Ti-ГА. Дистанция напыления составляла 50…180 мм, дисперсность порошкового материала – 30…100 мкм, сила тока дуги – 300…550 А [5, 6].

Пористость покрытий определялась согласно известной методике к анализатору изображений микроструктур АГПМ-6М ФУЛК 401163.001-01 программой «Микро-

шлиф» (рис. 2). Адгезионно-когезионную прочность плазмонапыленного покрытия определяли методом сдвига на испытательной универсальной машине ИР 5082-100. Образцы склеивали напыленными поверхностями при помощи эпоксидного клея «Henkel Loctite EA 3425» (выдерживает удельные нагрузки на разрыв до 40 МПа) и оставляли под грузом до полного высыхания.

Для обработки экспериментальных результатов плазменного напыления применяли Excel.

Результаты исследования напыления

Отдельный эксперимент по определению пористости покрытий представлен на рис. 5. Результаты практического исследования плазменного напыления представлены на рис. 6.

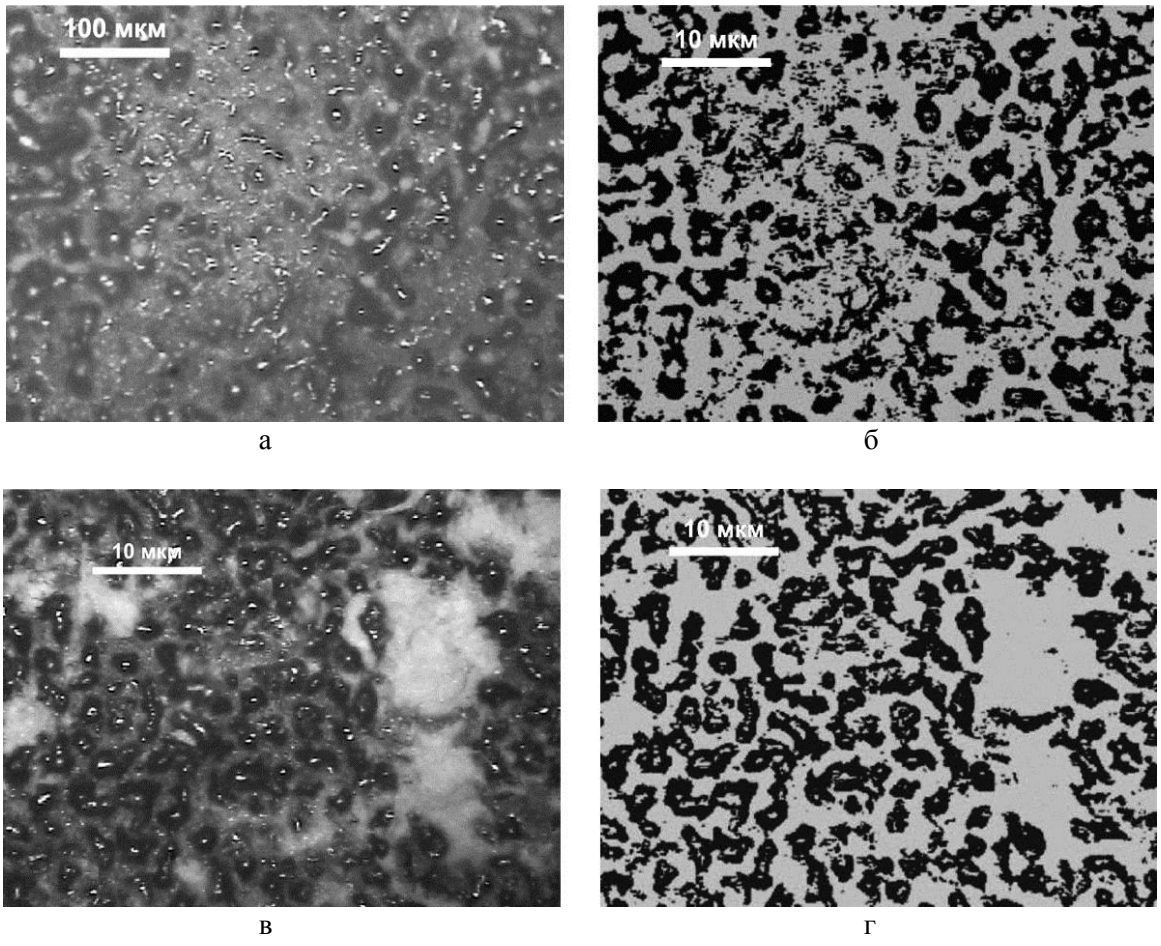


Рис. 5. Пример плазменного порошкового напыления Ti (а) и ГА (в), пористость полученных покрытий порошка титана 38 % (б) и ГА 40 % (г), ширина кадра 510 мкм

Анализ зависимостей поверхностной пористости плазменных титановых и гидроксиапатитовых покрытий, напыленных на основу имплантата из титана тока дуги плазматрона, дисперсности порошка и дистанции напыления показывает нелинейное влияние на адгезию покрытий.

Результаты исследования показали, что изменение тока дуги при напылении в меньшей степени влияет на адгезию, чем дистанция и дисперсность порошка. Максимального значения для титанового покрытая адгезия достигает при I = 450…550 А для титана и 350…450 А для гидроксиапатита, причем дальнейшее увеличение тока дуги не оказывает на нее сильного влияния.

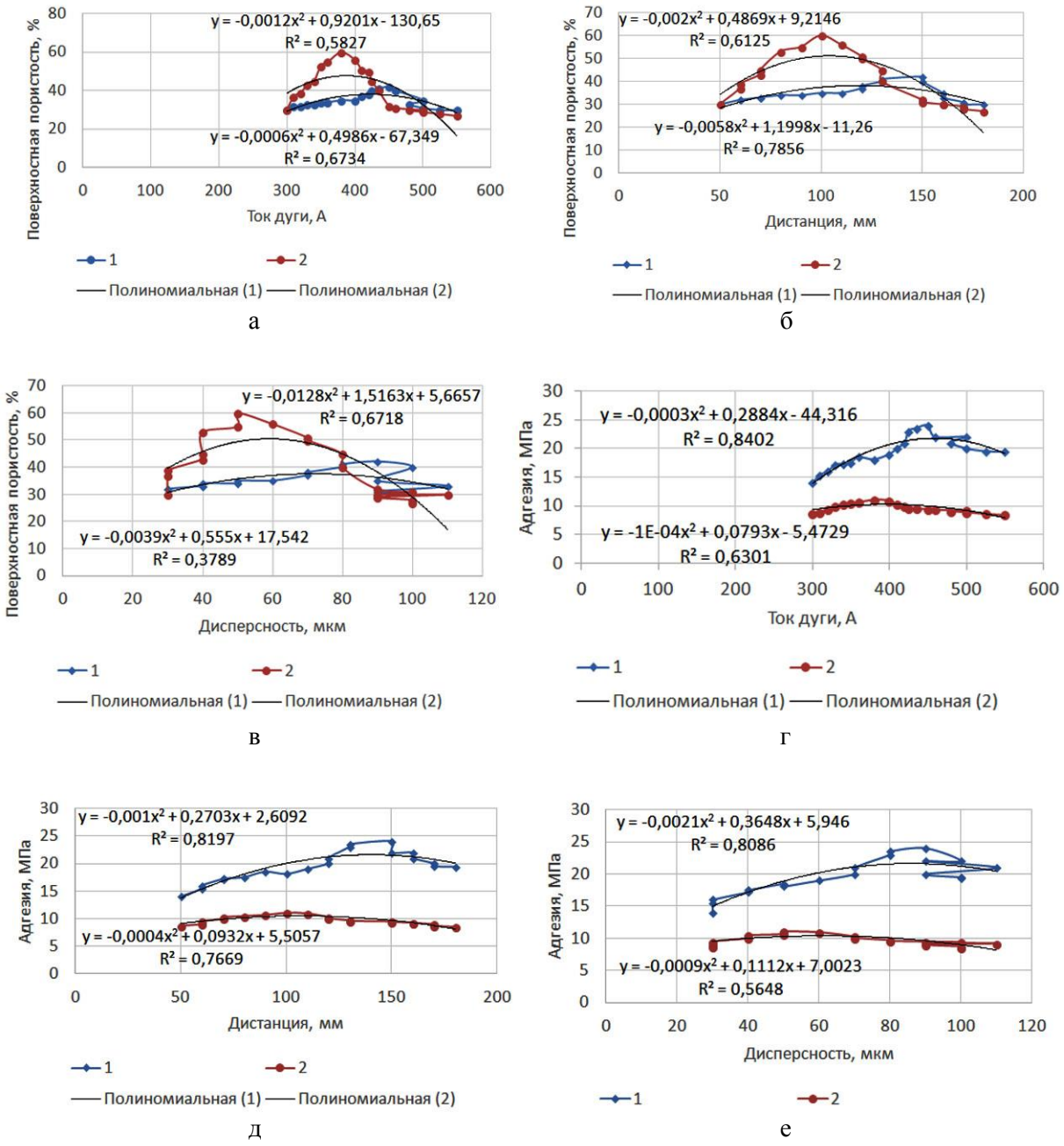


Рис. 6. Зависимость поверхностной пористости и адгезии Ti (1) и ГА (2) от тока дуги (а, г), дистанции напыления (б, д) и дисперсности порошка (в, е)

При увеличении тока возрастают температура частиц и степень их прогрева, поэтому увеличивается площадь контакта частиц с подложкой вследствие их лучшего растекания – в итоге адгезия увеличивается. Из графиков рис. 3 видно, что на малых дистанциях адгезия приближается к пониженному уровню до 14,0 МПа для Ti и до 8,7 МПа для ГА. С увеличением дистанции напыления частицы постепенно прогреваются и ускоряются. Повышается кинетическая энергия частицы, и возрастают ударное и напорное давления. Высокая адгезия порядка 23…24 МПа для Ti и 10…11,1 МПа для ГА создается при дистанциях 120...175 и 80…160 мм соответственно. С дальнейшим увеличением дистанции адгезия снижается. Это объясняется выходом из зоны максимального воздействия плазменной струи и в результате малой скоростью удара частиц о поверхность основы, а также значительным охлаждением частиц и снижением их скорости.

Графическая зависимость адгезии от дисперсности напыляемого порошка носит экстремальный характер, что указывает на существующие пределы размеров частиц для Ti 40-95 мкм, для ГА 40-100 мкм. Увеличение размеров частиц свыше 100 мкм ослабляет адгезию вследствие недостаточного прогрева распыляемых частиц в плазменной струе и малой деформации при ударе. Частицы менее 50 мкм обладают невысокой кинетической энергией, поэтому мало деформируются при ударе о подложку, напорное давление в контакте невелико, и в итоге мала прочность сцепления с подложкой.

При напылении мелких частиц до 40 мкм они сильно прогреваются, однако обладают невысокой кинетической энергией, поэтому мало деформируются при ударе о подложку, напорное давление в контакте невелико, и в итоге мала прочность сцепления с подложкой. При увеличении частиц возрастают их масса и силы инерции, поэтому частицы меньше тормозятся и с большей скоростью соударяются с подложкой. Это приводит к сильной деформации, увеличению площади контакта, возрастанию напорного давления. Увеличение размеров частиц свыше 100 мкм приводит к недостаточному прогреву распыляемых частиц в плазменной струе и их подплавлению.

В заключение отметим, что адгезия достигает наибольшего для данных условий напыления значений до 24,0 МПа для Ti и до 11,1 МПа для ГА.

Выводы: 1) рассмотрено НДС системы имплантата при вертикальном и горизонтальном прямолинейном нормально-направленном усилии 3 и 1 кН, соответственно. Результаты испытаний при вертикальной нагрузке и горизонтальном усилии показали, что модифицированная конструкция имплантата AnyOne Mod обладает большим запасом прочности, в отличие от исходного образца имплантата. Кроме того, для имплантируемой конструкции характерно более равномерное распределение нагрузки по всему объему шейки и нижней части внутренней резьбы.

2) Согласно полученным расчетным данным, рациональным сочетанием адгезионной прочности и пористости, характеризуются покрытия, сформированные при токе дуги 380…450А, дистанции напыления 100…150 мм и дисперсности титана 40…90 мкм. Близкие значения диапазонов наблюдаются и для ГА.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Фомин А.А. и др. Наноструктура покрытий из диоксида титана, модифицированного гидроксиапатитом, на медицинских титановых имплантатах // Медицинская техника. – 2013. – № 3. – С. 24.

2. Фомин А.А. и др. Характеристики прочности и пластичности титанового сплава ВТ16 после высокотемпературной обработки ТВЧ // Вопросы электротехнологии. – 2017. – № 1. – С. 122-126.

3. Фомин А.А. и др. Структура и микротвердость титановых покрытий на имплантатах после индукционно-термической обработки // Перспективные материалы. – 2016. – № 12. – С. 25-37.

4. Родионов И.В., Серянов Ю.В. Применение технологии анодного оксидирования при создании биосовместимых покрытий на дентальных имплантатах // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2006. – Т. 2. – № 1. – С. 77-87.

5. Баринов С.М., Комлев В.С. Биокерамика на основе фосфатов кальция. – М.: Наука, 2005. – 204 с.

6. Данильченко С.Н. Структура и свойства апатитов кальция с точки зрения биоминералогии и биоматериаловедения (обзор) // Вісник СумДУ. Серія Фізика, математика, механіка, 2007. № 2. – С. 33-59.

ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ НА СМОЛЕ

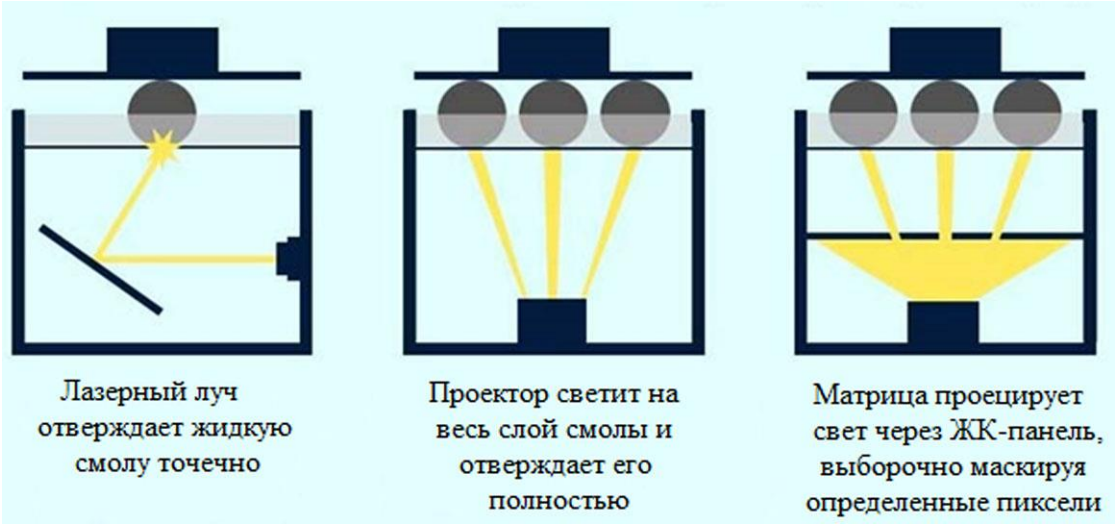
Терентьев О.В., Терентьев В.В.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Шемякин А.В.

Рязанский государственный агротехнологический университет, г. Рязань

Аннотация. *В статье представлены современные технологии 3D-печати с использованием в качестве основного компонента для изготовления деталей фотополимерных смол. Фотополимеризация с применением смолы для формирования изделия позволяет обеспечить достижения ряда преимуществ по сравнению с традиционными методами субтрактивного производства. Рассматриваемые технологические решения могут быть использованы в различных направлениях производственной деятельности.*

Ключевые слова: *фотополимеризация, аддитивное производство, 3D-печать, стереолитография*

3D-печать на смоле, в которой чаще всего применяется технология фотополимеризации в чанах, представляет собой технологию аддитивного производства [1-4], которая использует смолы для изготовления сложных объектов, напечатанных на 3D-принтере. В этих принтерах используется жидкая смола, которая отверждается (затвердевает) при воздействии источника ультрафиолетового света [5]. Продукты, производимые с помощью этих 3D-принтеров, имеют лучшую отделку поверхности, повышенную точность и прецизионность. Благодаря этим преимуществам 3D-принтеры на основе смолы приобрели широкое распространение в различных областях промышленности [6]. В настоящее время существует три поколения 3D-принтеров на основе смолы, которые рассматриваются ниже (рис. 1).



а) стереолитография б) цифровая обработка светом в) маскированная стереолитография

Рис. 1. Технологии 3D-печати на смоле

Первое поколение: стереолитографическая 3D-печать.

Стереолитография, или SLA, является первой технологией 3D-печати. В стереолитографическом 3D-принтере жидкая смола удерживается в чане и подвергается

воздействию лазерного источника, отражаемого на смоле с помощью набора зеркал или гальванометров (рис. 1, а). Термореактивная полимерная смола отверждается при воздействии лазера в последовательности точка-точка. Лазер отслеживает все поперечное сечение геометрии, чтобы завершить один слой. Этот процесс продолжается до тех пор, пока объект не будет напечатан полностью. Основным недостатком технологии SLA является то, что в ней используется лазер, который является точечным источником, который должен отслеживать отдельные точки, замедляя скорость печати.

Второе поколение: DLP-3D-печать.

Цифровая обработка светом или DLP – это технология 3D-печати, которая подпадает под категорию фотополимеризации в чанах. Это полимерный 3D-принтер второго поколения, который был разработан для решения основного недостатка SLA-принтеров – скорости печати. DLP-3D-принтеры [7] заменяют лазерный источник SLA световым проектором.

Проектор мигает изображением всего поперечного сечения, тем самым печатая сразу целый слой (рис. 1, б). Это обеспечивает более высокую скорость печати и представляет собой серьезное обновление по сравнению с традиционными стереолитографическими принтерами. Скорость печати не зависит от количества деталей на рабочей пластине, но может повлиять на качество деталей, так как ограниченное количество пикселей распределяется по количеству деталей. Еще один потенциальный недостаток заключается в том, что единственный источник проекции означает, что изображение может искажаться по мере приближения к краю рабочей пластины (аналогично краю экрана проектора).

Третье поколение: маскированная стереолитография.

Маскированная стереолитография, или mSLA – это полимерный 3D-принтер третьего поколения и дальнейшая эволюция технологий SLA и DLP. В mSLA источником света является светодиодная матрица, а не лазер или одна проекционная точка. В mSLA светодиодная матрица проецирует свет через ЖК-панель, выборочно маскируя определенные пиксели, позволяя пропускать свет только незамаскированным пикселям (рис. 1, в).

Отверждение происходит исключительно в секции без маски, что позволяет получать высокодетализированные отпечатки быстрее, чем традиционные принтеры SLA и DLP, сохраняя при этом исключительное качество печати за счет управления на уровне пикселей на протяжении всего процесса. Некоторые ограничения mSLA-принтеров заключаются в том, что они работают только для принтеров снизу-вверх и источник света должен быть достаточно мощным, чтобы пройти через ЖК-экран и отвердить смолу. Эта высокая мощность ухудшает состояние ЖК-экрана, который необходимо регулярно заменять, и он становится расходным материалом.

3D-печать на смоле имеет значительные преимущества перед другими аддитивными технологиями с точки зрения качества печати. Они способны печатать с разрешением до 10 микрон, а это означает, что данный 3D-принтер может печатать очень мелкие детали, снижая потребность в постобработке и увеличивая геометрическую сложность деталей [8]. Кроме того, высокое разрешение обеспечивает гладкую поверхность. Это открывает технологию 3D-печати смолой для более широкого спектра применений, таких как литье по выплавляемым моделям, изготовление пресс-форм и вставок.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мальчиков В.Н., Терентьев В.В. Перспективы применения аддитивных технологий в автомобилестроении // Новые технологии в учебном процессе и производстве: материалы XXI Международной научно-технической конференции. Рязань, 2023. С. 412-414.

2. Терентьев О.В., Терентьев В.В., Гречушкина Н.В. Аддитивные технологии в автомобильной промышленности // Новые технологии в учебном процессе и производстве: материалы XXI Международной научно-технической конференции. Рязань, 2023. С. 434-436.

3. Beniak J., Holdy M., Krizan P., Matus M. Research on Parameters Optimization for the Additive Manufacturing Process. Transp. Res. Procedia 2019, 40, 144-149. DOI:10.1016/ j.trpro. 2019.07.024.

4. Ngoc-Hien Tran, Van-Nam Nguyen, Anh-Vu Ngo, Van-Cuong Nguyen, Study on the Effect of Fused Deposition Modeling (FDM) Process Parameters on the Printed Part Quality // Journal of Engineering Research and Application, Vol. 7, Issue 12, (Part-2) December 2017, pp. 71-77. DOI: 10.9790/9622-0712027177.

5. Терентьев В.В. Аддитивные технологии в сельском хозяйстве // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке: материалы Международной научно-производственной конференции. Белгород, 2023. С. 209-210.

6. Терентьев В.В. Применение аддитивных технологий при эксплуатации сельскохозяйственной техники // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке: материалы XXVII Международной научно-производственной конференции. Белгород, 2023. С. 207-208.

7. Михеев Д.С., Терентьев О.В., Терентьев В.В. Расширение возможностей 3D-печати // Научно-исследовательские решения высшей школы: материалы студенческой научной конференции. Рязань, 2023. С. 37-38.

8. Терентьев О.В., Терентьев В.В. Области применения аддитивного производства // Научно-исследовательские решения высшей школы: материалы студенческой научной конференции. Рязань, 2023. С. 65-66.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛИ Р6М5

Терновский Д.С., Гоц А.А., Кириллов Н.И.
Научный руководитель: к.х.н., доцент Гоц И.Ю.

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

Аннотация. *В работе представлены результаты исследования изменения показателей напряжений, коэффициента запаса прочности, коэффициента запаса усталостной прочности и коэффициента запаса предела текучести до и после термообработки изделия из стали марки Р6М5.*

Ключевые слова: *Р6М5, термообработка, закалка*

Термообработка режущего инструмента проводится с целью улучшения его механических свойств и повышения стойкости к износу. Процесс термической обработки включает нагревание и последующее охлаждение инструмента, что позволяет изменить его структуру и свойства [1].

Одним из наиболее распространенных методов термической обработки для режущего инструмента является закалка с последующим отпуском. Закалка проводится для увеличения твердости и прочности инструмента, а отпуск – для снижения внутренних напряжений и улучшения пластичности. Такие процессы могут значительно повысить эффективность режущего инструмента, увеличивая его срок службы и точность

обработки материалов [2]. Основной причиной деформации сверл является перегрев при высоких оборотах резания материала и неправильной эксплуатации режущего инструмента, например, отсутствие подачи смазочно-охлаждающей жидкости или слишком сильной подачи сверла. Это может привести к возникновению внутренних напряжений и потери твердости режущей части.

В результате, режущая кромка быстро теряет свою остроту, приходится намного чаще производить заточку и эксплуатация режущего инструмента становится менее эффективной.

Быстрорежущая сталь Р6М5 применяется для изготовления всех видов режущего инструмента при обработке углеродистых легированных конструкционных сталей, предпочтительно для изготовления резьбонарезного инструмента, а также инструмента, работающего с ударными нагрузками [3]. Химический состав стали Р6М5 по ГОСТ 19265-73 указан в табл. 1 и рисунке 1 [4].

Таблица 2

Химический состав стали Р6М5

Массовая доля основных химических элементов, %						
C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V
0,82-0,90	0,20-0,50	0,20-0,50	3,80-4,40	5,50-6,50	4,80-5,30	1,70-2,10

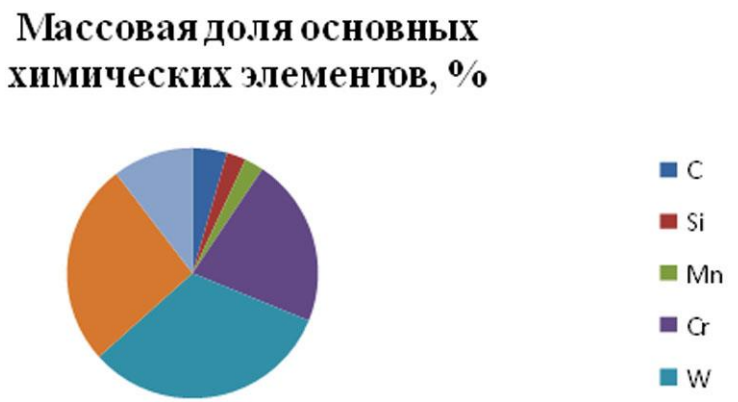


Рис. 1. Массовая доля основных химических элементов, %

Целью работы являлось исследование изменения показателей напряжений, коэффициента запаса прочности, коэффициента запаса усталостной прочности и коэффициента запаса предела текучести до и после термообработки изделия из стали марки Р6М5. В качестве образца для проведения термической обработки выбрано спиральное сверло по металлу (ГОСТ 4010-77) из стали марки Р6М5 [5]. На рис. 2 представлена 3D-модель сверла.

Для увеличения эксплуатационных характеристик изделия была применена технология термической обработки, включающая в себя полную закалку при 1220° С на 35 минут в масле, с последующим отпуском при 550° С на 4 часа с охлаждением на воздухе (ГОСТ 19265-73) [2].

Определение прочностных характеристик проводили по критериям полученных данных твердости по Виккерсу с микротвердомера ПМТ-3. До термообработки твердость образца достигала 695 HV. После термообработки твердость равняется 942 HV. Проведены расчеты напряжений и коэффициента запаса по пределу прочности до проведения термообработки изделия и после проведения термообработки. Проведение рас-

четов проводилось в программе КОМПАС-3D V20 «система прочностного анализа АРМ FEM» при давлении 20 Н/мм^2.

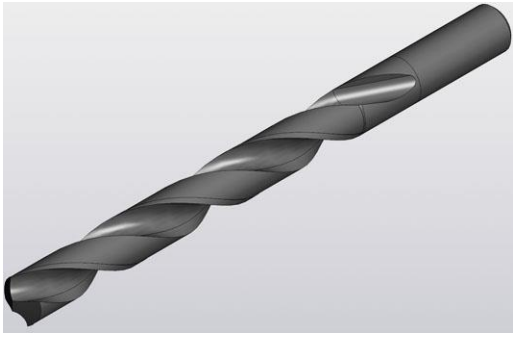


Рис. 2. 3D-модель сверла

В табл. 2 отображены расчеты прочностных характеристик до проведения термообработки. На рис. 3-6 представлены напряжения, коэффициент запаса предела прочности, коэффициент запаса усталостной прочности и коэффициент запаса предела текучести.

Таблица 3

Расчеты прочностных характеристик до термообработки

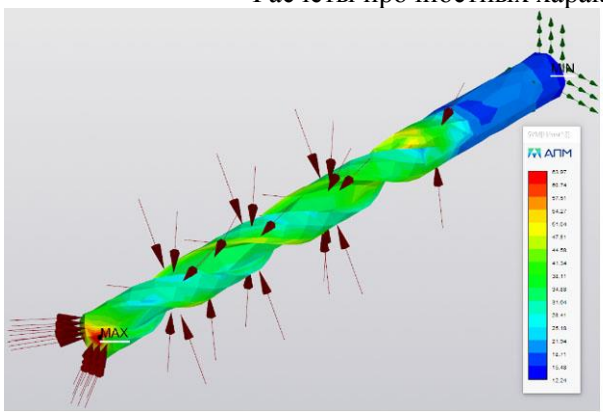


Рис. 3. Напряжения

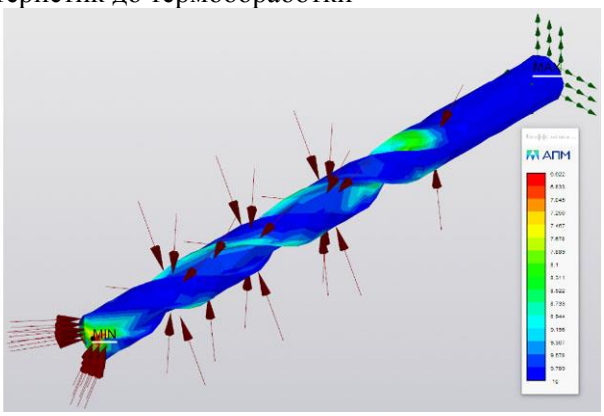


Рис. 4. Коэффициент запаса предела прочности

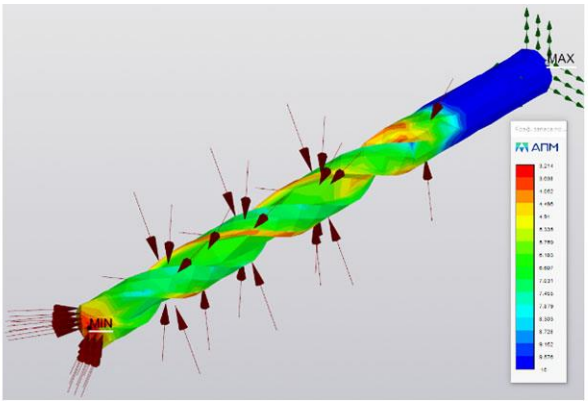


Рис. 5. Коэффициент запаса усталостной прочности

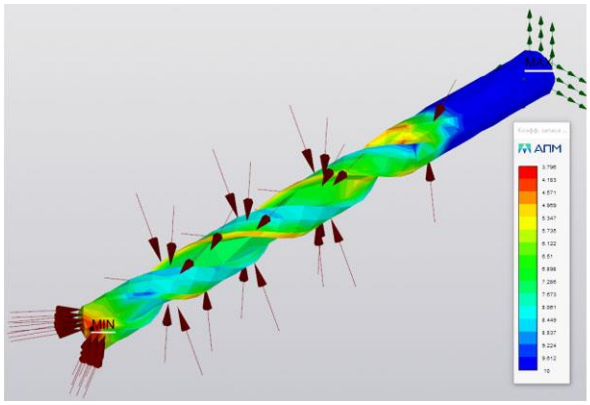


Рис. 6. Коэффициент запаса предела текучести

В табл. 3 отображены расчеты прочностных характеристик после проведения термообработки. На рис. 7-10 представлены напряжения, коэффициент запаса предела прочности, коэффициент запаса усталостной прочности и коэффициент запаса предела текучести.

Таблица 4

Расчеты прочностных характеристик

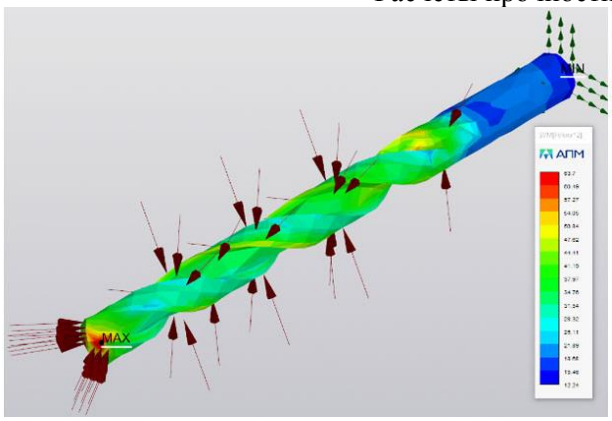


Рис. 7. Напряжения

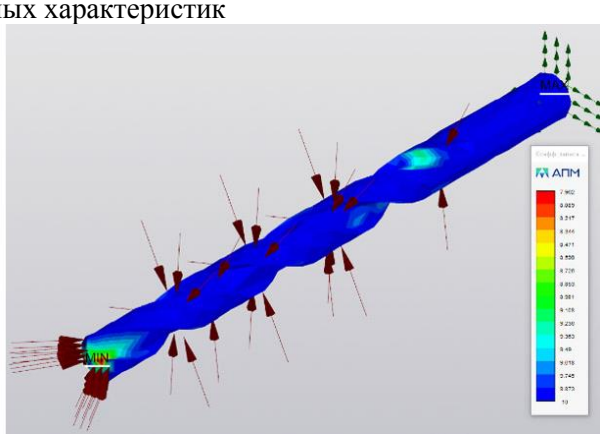


Рис. 8. Коэффициент запаса предела прочности

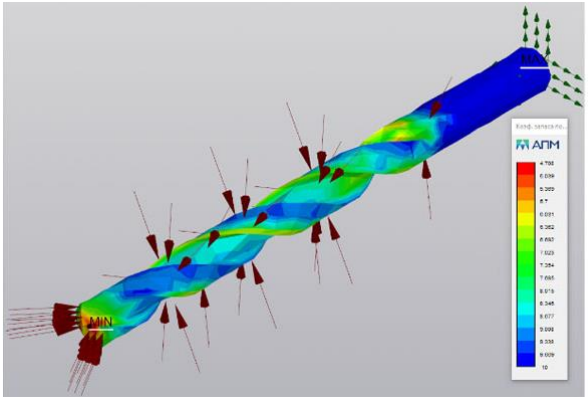


Рис. 9. Коэффициент запаса усталостной прочности

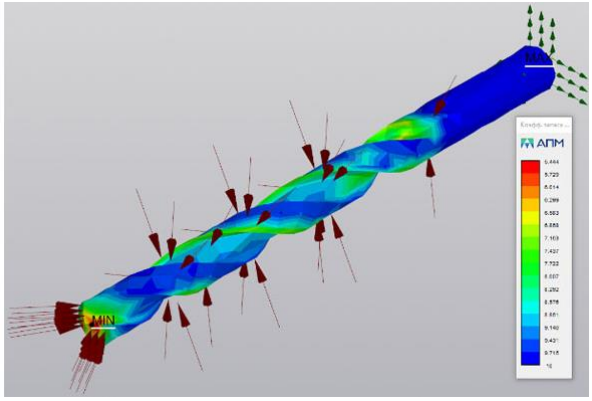


Рис. 10. Коэффициент запаса предела текучести

Результаты расчетов прочностного анализа приведены в табл. 4.

Таблица 5

Результаты расчетов

Образец		Напряжение, Н/мм^2	Коэффициент запаса предела прочности	Коэффициент запаса усталостной прочности	Коэффициент запаса предела текучести
до ТО	Min	12,24	6,62	3,21	3,79
	Max	63,97	10,00	10,00	10,00
после ТО	Min	12,24	7,96	4,71	5,44
	Max	63,70	10,00	10,00	10,00

Для наглядности изменений параметров в материале данные из табл. 1 вынесены на гистограмму, рис. 11.

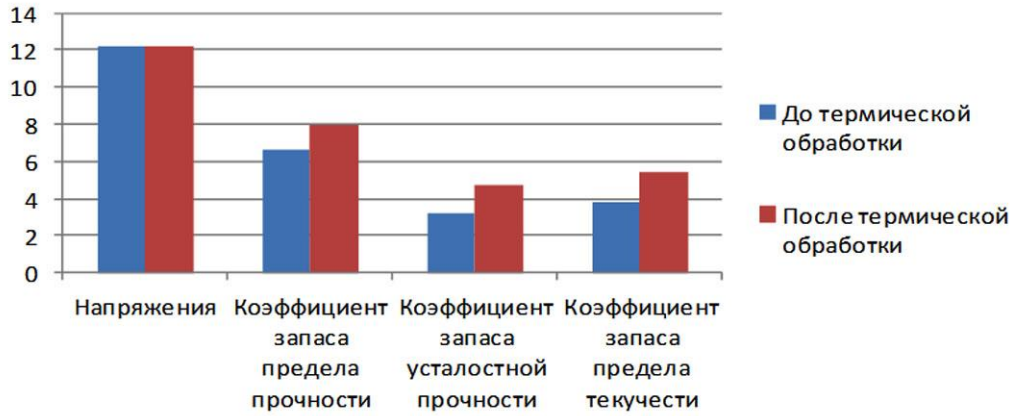


Рис. 1. Результаты расчетов параметров НДС

Выводы: рассмотрены изменения напряжений, коэффициентов запаса предела прочности, запаса усталостной прочности, запаса предела текучести до и после проведения ТО. Продемонстрировано, что параметры напряжений практически не изменились, минимальный показатель коэффициента запаса предела прочности увеличился на 20,2 %, минимальный показатель коэффициента запаса усталостной прочности увеличился на 46,4 %, минимальный показатель коэффициента запаса предела текучести увеличился на 43,4 %.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Основы металловедения / под ред. И.И. Сидорина. М.: Машиностроение, 1976. – 439 с.

2. Гуляев А.П. Металловедение / А.П. Гуляев. М.: Металлургия, 1978. – 511 с.

3. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин. М.: Металлургия, 1977. – 411 с.

4. ГОСТ 19265-73. Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия: дата введения 1975-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 19 с.

5. ГОСТ 4010-77. Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Короткая серия. Основные размеры: дата введения 1979-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 26 с.

ОБЗОР АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК СПОСОБ ОТРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙЙ ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ВИБРАЦИОННОГО ГИРОСКОПА

Понамарев З.А., Тимофеев М.Н.
Научный руководитель: Тимофеев М.Н.

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

Аннотация. *В статье поставлена задача и рассмотрен способ отработки технологии по производству резонатора для твердотельного вибрационного гироскопа. Описана установка для ультразвуковой шлифовки и полировки резонаторов твер-*

дотельных вибрационных гироскопов. Приведены результаты измерений шероховатости обработанной поверхности образцов

Ключевые слова: *аддитивные технологии, 3D-печать, резонатор, твердотельный вибрационный гироскоп*

Твердотельные вибрационные гироскопы (ТВГ) относятся к перспективным средствам навигации летающих объектов и обеспечения заданной траектории движения специальных инструментов большой длины (буры геологоразведочных и им подобных машин). Особенностью резонаторов ТВГ являются: применение в качестве материала кварцевого стекла; наличие на внутренней поверхности полусферической формы цилиндрической ножки; малая (1-2 мм) толщина стенок; высокие требования к точности формы и качеству поверхности (отклонения формы не более 0,5 мкм, шероховатость $Ra \leq 0{,}04$ мкм) [1].

Обработка сферических поверхностей известными методами заключается в многооперационном шлифовании и последующем полировании специальными инструментами. Кинематика обработки состоит во сочетании вращательных движений детали и инструмента и качания инструмента относительно центра сферы [2]. При этом высокая твердость и хрупкость материала приводит к образованию трещин, протяженность которых превышает 3 размера абразивного зерна инструмента. Этот слой нарушает стабильную работу ТВГ и снижает назначенный ресурс, может привести к разрушению изделия в процессе обработки.

Трещиноватый слой удаляют многопереходной полировкой, искусственно увеличивая припуск на обработку, что резко увеличивает трудоемкость изготовления. Также качательные движения узлов, имеющих значительную массу, приводят к динамическим нагрузкам и ударам, что создает дополнительную опасность разрушения тонкостенной детали

Известно, что резонаторы твердотельных вибрационных гироскопов изготавливаются из кварцевого стекла и имеют сложную сферическую форму, в связи с чем обладают высокой хрупкостью.

Вследствие этого для их формообразования может быть применен ультразвуковой метод, заключающийся в высокочастотном ударном воздействии инструмента на поверхность детали через слой абразивной водной суспензии

Качество получаемых поверхностей (при прочих одинаковых условиях) зависит от прочности и твердости обрабатываемого материала, дисперсности применяемых абразивных порошков, длительности обработки.

Основной задачей испытаний являлся подбор ультразвукового режима, при котором обрабатываемая поверхность имеет минимальную шероховатость и равномерную морфологию, что уменьшит трудоемкость последующих полировальных операций. Для этого использовали четыре образца, каждый из которых обрабатывали микропорошком карбида кремния зеленого дисперсностью 25/40 мкм на частоте 22 и 38 кГц. Измеренная амплитуда смещения торца инструмента составила 10 мкм при токе 20-30 мА и 3-4 мкм при токе 10 мА. Время обработки выбирали 2 и 4 минуты, нагрузку – 10 и 20 Н. Проводили по два испытания на каждый образец. В процессе обработки получали по 2 отпечатка прямоугольной формы площадью 20 х 3 мм.

На основании габаритных размеров макета резонатора разработана экспериментальная установка, представленная на рис. 2. Установка состоит из станины, на которой закреплены стол с подвижным шпинделем изделия и устройство позиционирования ультразвукового преобразователя.

На основании требований к профилю резонаторов были спроектированы чертеж и 3D-модель типового изделия (рис. 1, а, б).

а б

Рис. 1. а – 3D-модель типового резонатора;
б – макет резонатора, изготовленный с помощью 3D-печати

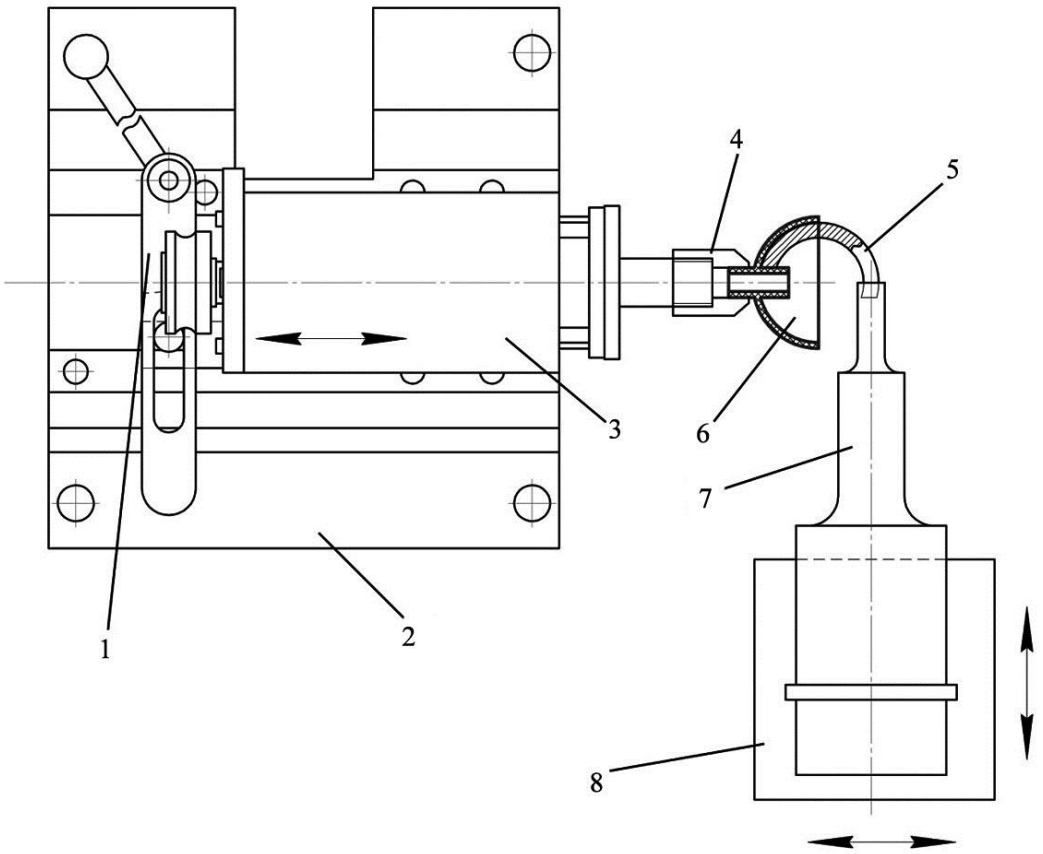


Рис. 2. Конструкция установки для ультразвуковой шлифовки и полировки резонаторов ТВГ, вид сверху где: 1 – пружинный элемент; 2 – основание стола; 3 – передвижной механизм; 4 – посадочное место для резонатора; 5 – криволинейный инструмент; 6 – обрабатываемый резонатор; 7 – ультразвуковой преобразователь; 8 – устройство позиционирования

Конструкция специального стола (2) включает в себя два ряда подшипников, с помощью которых передвижной механизм (3) имеет возможность перемещаться возвратно поступательно с минимальным трением. Пружинный элемент (1) позволяет корректировать нагружение на обрабатываемый резонатор. На передвижной механизм (3) установлен электродвигатель, который сообщает шпинделю, находящемся внутри механизма, враща-

тельное движение. Таким образом, резонатор (6), закрепленный в посадочном месте (4), вращается вокруг своей оси, благодаря чему обеспечивается постоянная составляющая скорости резания.

От генератора на ультразвуковой преобразователь (7) подается заданная частота (38 кГц), которая передается криволинейному инструменту (5), закрепленному в волноводе. В полость резонатора добавляется абразив зернистостью постепенно снижаемой по мере обработки от 40/28 до 14/7 мкм, и при его вращении и ультразвуковых колебаниях от волновода происходит обработка поверхности.

Таблица 1

Результаты измерений шероховатости обработанной поверхности образцов

Параметр	Номер образца							
№	1		2		3		4	
Класс	4/9	4/9	4/8	6а/8	6а/8	6б/8	4/9	4/8
R_a, мкм	3,21	3,61	2,63	2,19	2,39	1,87	3,25	2,95
R_q, мкм	4,18	5,16	3,61	2,98	4,34	3,04	4,18	4,17
R_z, мкм	23,6	31,1	21,4	16,3	16,7	18,6	25,8	23,6
R_{max}, мкм	30,9	47,2	26,2	26,0	46,6	41,2	29,1	27,3
R_p, мкм	13,0	22,2	14,7	14,3	26,0	24,1	14,9	15,1
R_v, мкм	18,0	25,1	11,5	11,7	20,6	17,1	14,2	12,2
S_m, мкм	83,7	79,7	77,8	76,2	63,2	60,6	73,9	98,2
S, мкм	11,5	13,0	10,8	9,86	9,81	10,1	13,7	7,43
L_a, мкм	93,0	93,1	95,4	84,0	86,8	74,8	79,3	101
L_q, мкм	70,5	69,5	72,3	61,9	62,6	56,6	58,3	68,6
D,1/см	119	125	129	131	158	165	135	102
D_a, гр	12,4	13,9	9,94	9,39	9,90	9,02	14,8	10,6
D_q, гр	16,4	18,7	13,1	12,7	13,7	11,9	20,1	15,5
l_0	1,04	1,05	1,03	1,02	1,03	1,02	1,06	1,04
L_0, мкм	10200	10300	10100	10100	10100	10000	10400	10200

Процесс производства твердотельные вибрационных гироскопов можно оптимизировать сразу в некоторых направлениях.

Во-первых, при настройке оборудования и написании программы для обработки резонаторов и можно сразу сделать пробный образец детали и при этом выявить погрешности обработки оборудования.

Во-вторых, отработка технологии на композитном материале более экономически выгодна, нежели тестирование на кварцевом стекле.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бржозовский Б.М. Ультразвуковые технологические процессы и оборудование в машино- и приборостроении: учеб. пособие / Б.М. Бржозовский, Н.В. Бекренев. – Саратов: СГТУ, 2009. – 348 с.

2. Каширин В.И. Основы формообразования оптических поверхностей: учеб. пособие для вузов / В.И. Каширин. Екб.: Ур-й гос. техн. ун-т, 2006. – 254 с.

3. Бекренев Н.В. Керамика и ситаллы в приборостроении. Свойства. Технологические процессы обработки. Инструменты: учеб. пособие / Н.В. Бекренев, Р.С. Великанов, О.А. Дударева; под ред. проф. В.Н. Лясникова. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2006. 128 с.

4. Глюкман Л.И. Пьезоэлектрические кварцевые резонаторы: учеб. пособие / Л.И. Глюкман. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 2003. – 232 с.

5. Бекренев Н.В. Малодефектная ультразвуковая обработка деталей навигационных приборов из неоднородных по структуре твердых. Хрупких материалов / Н.В. Бекренев, И.В. Злобина, А.П. Петровский // Вестник СГТУ. 2014. Т. 4. № 1 (77). С. 97-103.

6. Бекренев Н.В. Инженерный расчет технологических режимов ультразвуковой прецизионной обработки внутренних сферических поверхностей кварцевых резонаторов / Н.В. Бекренев, И.В. Злобина, М.М. Фролов // Вопросы электротехнологии. 2015. № 3 (8). С. 57-64.

РЕЗОНАНСНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ ДИСИЛИЦИДА МОЛИБДЕНА В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ

Токарев А.С.[1], Ушакова Е.В.[1], Волчков С.С.[1,2]
Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор Зимняков Д.А.[1,3]

[1]Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов
[2]Саратовский филиал ИРЭ имени В.А. Котельникова РАН, Саратов
[3]Институт проблем точной механики и управления РАН, Саратов

Аннотация. *Представлены результаты исследования соответствия резонансных свойств наночастиц дисилицида молибдена ($MoSi_2$) в оптическом диапазоне одноосцилляторной модели Лоренца. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения модели Лоренца для интерпретации частотных характеристик диэлектрической функции подобной системы. Значения действительной и мнимой частей диэлектрической функции, восстановленные по экспериментальным данным, в соответствии с критерием Фрелиха определяют условия возбуждения поверхностного плазмонного резонанса в наночастицах.*

Ключевые слова: *дисилицид молибдена, плазмонный резонанс, модель Лоренца, нанофотоника*

Введение

За последние несколько десятилетий множество исследовательских работ, связанных с применением оптики и лазерной физики для прикладных задач науки и техники представили возможность развития новых приложений, основанных на взаимодействии света с веществом.

Основные усилия были сосредоточены на поиске новых материалов со специфическими оптическими свойствами и создании диагностических методов и устройств для анализа этих свойств. С развитием наноплазмоники открылись новые перспективы для развития информационных технологий, создания новых оптических устройств, таких как нанолинзы, наноантенны и др.

Целью данной работы является развитие представлений о возможности возбуждения поверхностных плазмонных резонансов в наночастицах силицидов (в частности, дисилицида молибдена) как малоизученного класса узкозонных полупроводниковых материалов.

1. Условия возбуждения плазмонного резонанса

В соответствии с современными представлениями о резонансном возбуждении поверхностных мод низших порядков в наночастицах при воздействии на них

электромагнитного излучения с длинами волн, многократно превышающими размер наночастиц, при этом должно наблюдаться увеличение сечений рассеяния и поглощения наночастиц. Это наблюдается, в частности, в форме локализованных плазмонных резонансов для металлических наночастиц [1-2]. Положение резонансов в спектре экстинкции определяется диэлектрической функцией материала наночастиц, их формой и размерами.

Применительно к наночастицам дисилицида молибдена была проведена регистрация спектра экстинкции по общепринятой схеме; соответствующий спектр водной суспензии наночастиц со средним диаметр 80 нм представлен на рисунке 1.

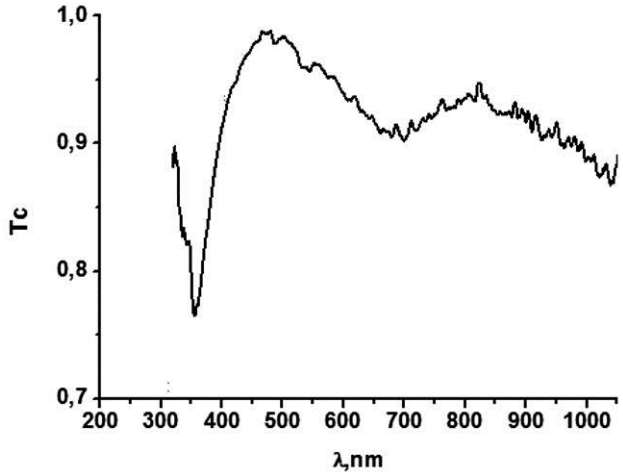


Рис. 1. Спектр экстинкции силицида молибдена

Анализ экспериментальных данных об экстинкции исследуемых суспензий частиц проводился в рамках классической электромагнитной теории рассеяния и поглощения малыми частицами [3].

Особенность полученного спектра экстинкции заключается в существовании пика вблизи 360 нм, соответствующего критерию Фрёлиха [3]. Этот критерий при условии неположительной действительной части диэлектрической функции определяются формой частиц.

При рассмотрении ансамбля сферических рассеивателей в соответствии с [3], средние сечения поглощения и рассеяния описываются соотношениями:

$$\langle C_{scat}\rangle = \frac{k^4 v^2}{18\pi}\left|\varepsilon - 1\right|^2\left[\frac{27}{(\varepsilon'+2)^2+\varepsilon''^2}\right];\ \langle C_{ads}\rangle = \frac{kv}{3}\left[\frac{27}{(\varepsilon'+2)^2+\varepsilon''^2}\right] \qquad (1)$$

Условия Фрёлиха в этом случае описываются соотношением $\varepsilon = -2\varepsilon_m$ (ε_m – диэлектрическая проницаемость окружающей среды).

Поведение диэлектрической функции вблизи фундаментальной полосы поглощения может быть описано одноосцилляторной моделью Лоренца, для действительной ε' и мнимой ε'' частей диэлектрической функции частицы вблизи резонансной частоты ω_0 описываемых как:

$$\varepsilon' = 1 + \frac{\omega_p^2\left(\omega_0^2-\omega^2\right)}{\left(\omega_0^2-\omega^2\right)^2+\gamma^2\omega^2};\ \ \varepsilon' = \frac{\omega_p^2\gamma\omega}{\left(\omega_0^2-\omega^2\right)^2+\gamma^2\omega^2} \qquad (2)$$

2. Восстановление параметров одноосцилляторной модели Лоренца

С целью интерпретации полученных экспериментальных данных был проведен теоретический анализ частотных зависимостей действительной $\varepsilon'(\omega)$ и мнимой $\varepsilon''(\omega)$ частей диэлектрической функции объемного силицида молибдена.

Вследствие отсутствия прямых данных о поведении комплексной диэлектрической проницаемости в оптическом диапазоне значения $\varepsilon'(\omega)$ и $\varepsilon''(\omega)$ рассчитывались косвенным образом, исходя из известных данных об оптических константах *n* и *k* [4] (рис. 2).

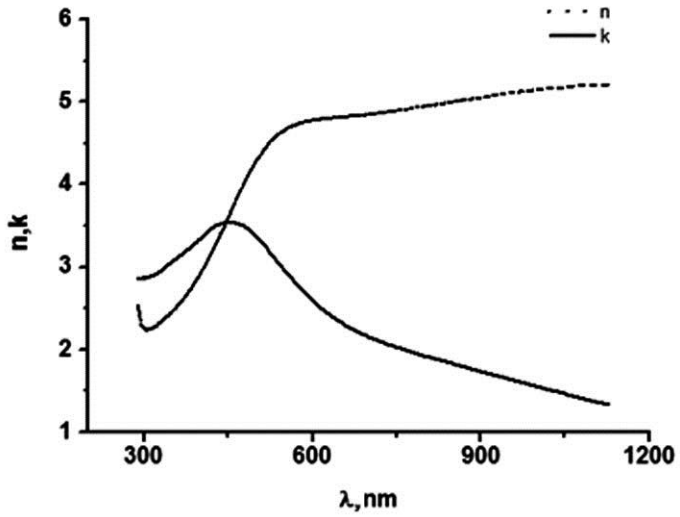
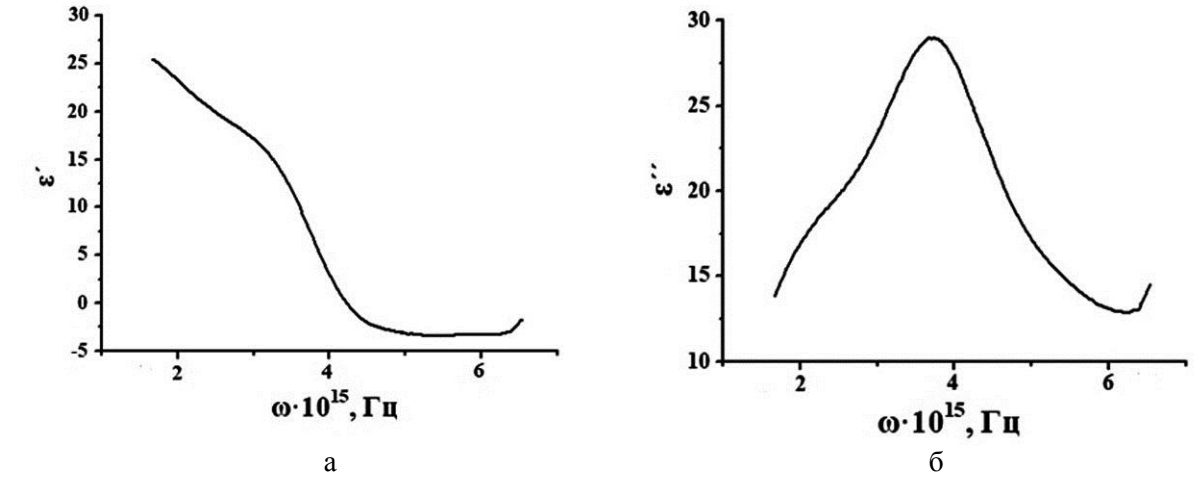


Рис. 2. Зависимости *n* и *k* от длины волны зондирующего излучения для силицида молибдена (по данным из [4])

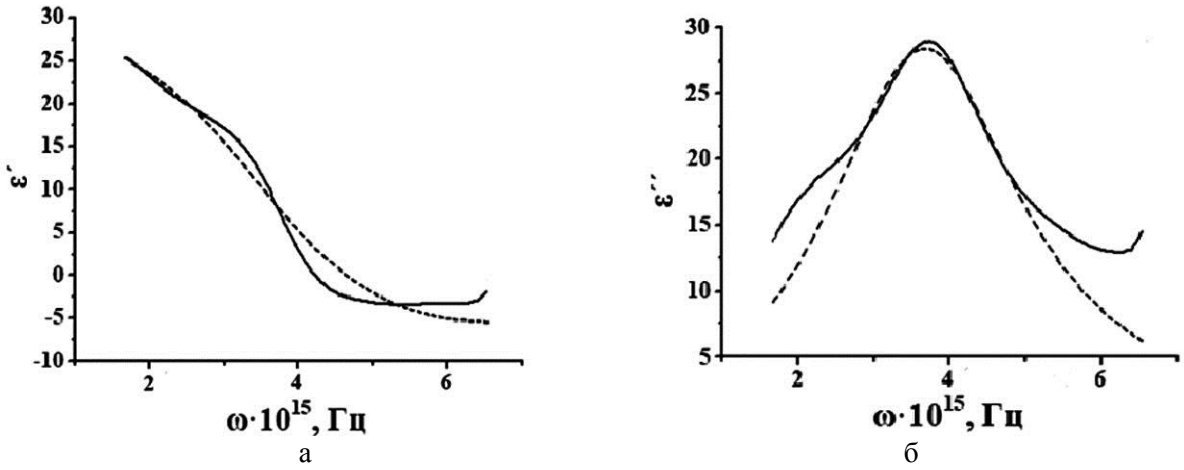
Из спектров оптических констант были восстановлены в соответствии с выражениями (3) частотные зависимости $\varepsilon'(\omega)$ и $\varepsilon''(\omega)$ (рис. 3).

$$\varepsilon' = n^2 - k^2; \quad \varepsilon'' \approx 2nk \tag{3}$$



а б

Рис. 3. а – Частотная зависимость ε', восстановленная из оптических констант *n, k.*, б – Частотная зависимость ε'', восстановленная из оптических констант *n, k*



а б

Рис. 4. а – Частотная зависимость ε', соответствующая одноосцилляторной модели Лоренца (пунктирная линия), б – Частотная зависимость ε'', соответствующая одноосцилляторной модели Лоренца (пунктирная линия)

Минимизация невязки между восстановленными и аппроксимирующими зависимостями по методу наименьших квадратов позволила получить следующие параметры одноосцилляторной модели: $\omega_0 = 4{,}5 * 10^{15}$ Гц; $\omega_p = 2{,}3486 * 10^{16}$ Гц; $\gamma = 5{,}776 * 10^{15}$ Гц.

Заключение

Одноосцилляторная модель Лоренца, применённая к наночастицам силицида молибдена, удовлетворительно описывает данные для эффективной диэлектрической функции, восстановленной из оптических констант.

Путем аппроксимации получены такие параметры одноосцилляторной модели, как плазменная частота и коэффициент затухания, равные $\omega_p = 2{,}3486 * 10^{16}$ Гц; $\gamma = 5{,}776 * 10^{15}$ Гц.

На основе отрицательных значений действительной части диэлектрической функции видна возможность возбуждения поверхностного плазмонного резонанса в наночастицах дисилицида молибдена, однако большие значения мнимой части ограничивают возбуждение вследствие высоких потерь.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 24-22-00333.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Halas N.J., Lal S., Chang W.S., Link S., Nordlander P. Plasmons in strongly coupled nanostructures // Chemical Reviews, 2011, – V. 111. – p. 3913-3961.

2. Anderson L.J.E., Payne C.M., Zhen Y.R. A tunable plasmon resonance in gold nanobelts // Nano Lett, 2011, – V. 11. – p. 5034-5037.

3. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. – М.: Мир, 1986. – 664 с.

4. Ioffe Physical Technical Institute electronic archive [Электронныйресурс] //www.ioffe.ru/SVA/NSM/nk/.

СВЕРХКРИТИЧЕСКИЙ ФЛЮИДНЫЙ СИНТЕЗ ВСПЕНЕННЫХ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ И ИХ ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Ушакова Е.В.[1], Волчков С.С.[1,2]
Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор Зимняков Д.А.[1,3]

[1]Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия
[2]Саратовский филиал ИРЭ имени В.А. Котельникова РАН, г. Саратов
[3]Институт проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов

Аннотация. *В работе представлены результаты сверхкритического флюидного (СКФ) вспенивания органических стекол. Показано влияние начальных условий СКФ вспенивания на формирование в объеме оргстекла каналов Плато-Гиббса, а также качественно обсуждается механизм их формирования. Представлены возможные приложения подобных систем в оптике и сенсорике.*

Ключевые слова: *сверхкритическое флюидное вспенивание, оргстекло, аттенюатор, диффузор*

Введение

С конца 70-х годов прошлого столетия одним из активно развивающихся прикладных научных направлений стало сверхкритическое флюидное вспенивание и экстракция различных компонентов для углубленной переработки материалов и выделения необходимых составляющих из их состава.

В конце 80-х годов, с созданием первых лабораторных установок для сверхкритического флюидного синтеза и экстракции появилось огромное множество работ, связанных с применением этой технологии в нефтеперерабатывающей [1], пищевой [2], фармацевтической [3], парфюмерной [4] и других областях промышленности. Однако, несмотря на высокую степень апробированности технологии в течении нескольких десятилетий, в настоящее время появляются новые актуальные приложения, требующие всестороннего фундаментального и прикладного исследования. Одно из таких приложений представлено в настоящей работе.

1. Материалы и методы

В качестве исходных образцов выступало органическое стекло толщиной 1,25 мм, изготовленное в виде квадратных объектов размерами 10 х 10 мм.

Процедура вспенивания проводилась в классической экспериментальной установке, содержащей реактор высокого давления и тракт подачи давления на основе баллона с углекислотой, насоса высокого давления и системы кранов-датчиков давления (см., например [5]). Начальные условия 6 групп образцов, каждая группа включала по три образца: 1 – P = 90 атм., T = 319,6 K; 2 – P = 105 атм., T = 319,3 K; 3 – P = 108 атм., T = 319 K; 4 – P = 110 атм., T = 320 K; 5 – P = 117 атм., T = 319 K; 6 – P = 153 атм., T = 319 K. Сценарий сброса выдерживался единообразным и представлял собой квазиизотермический сброс с начального давления до 20 атм со скоростью 1 атм/с, после 20 атм со скоростью 0,2 атм/с.

Исключение составляла 6 группа образцов, где сброс давления происходил по сценарию: 153-100 атм, со скоростью 0,2 атм/с, 100-20 атм – 1 атм/с, 20-1 атм – 0,2 атм/с. Это было сделано с целью исключения перемораживания игольчатого клапана, через который осуществлялся сброс давления.

Фотографии всех 6 групп образцов представлены на рис. 1.

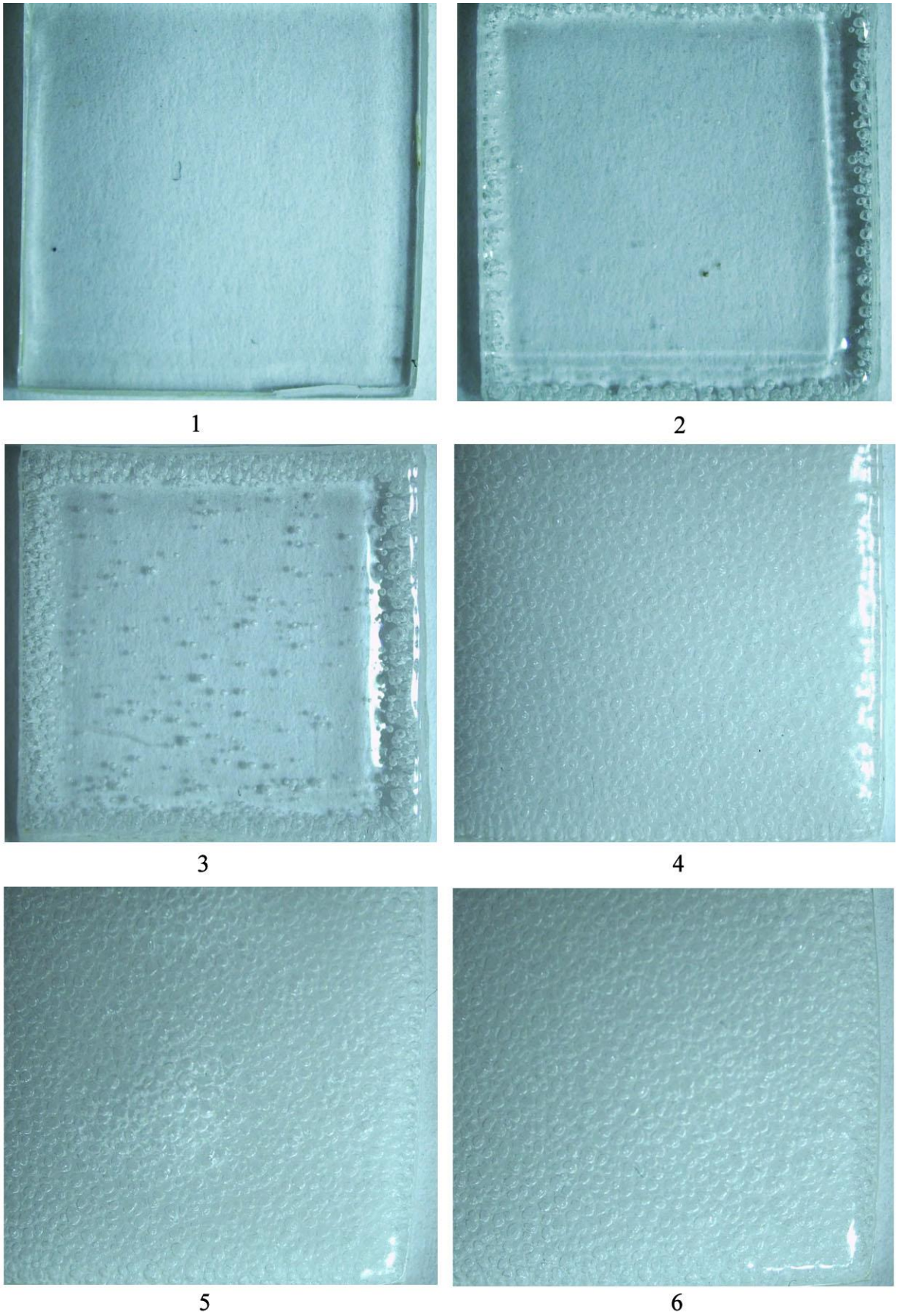


Рис. 1. Фотографии полученных образцов. Порядковый номер фотографии соответствует номеру синтезируемой группы

На рисунке 2 представлен пример макрофотографии, полученной с помощью оптического микроскопа Olympus MX51, свидетельствующей о формировании каналов Плато-Гиббса в синтезируемых образцах. Увеличение рассчитанного на основе макрофотографий среднего радиуса пузырьковых образований для групп образцов 4-6 коррелирует с увеличением начального давления. Средний радиус для групп образцов 4-6 составляет 200, 214 и 217 мкм соответственно.

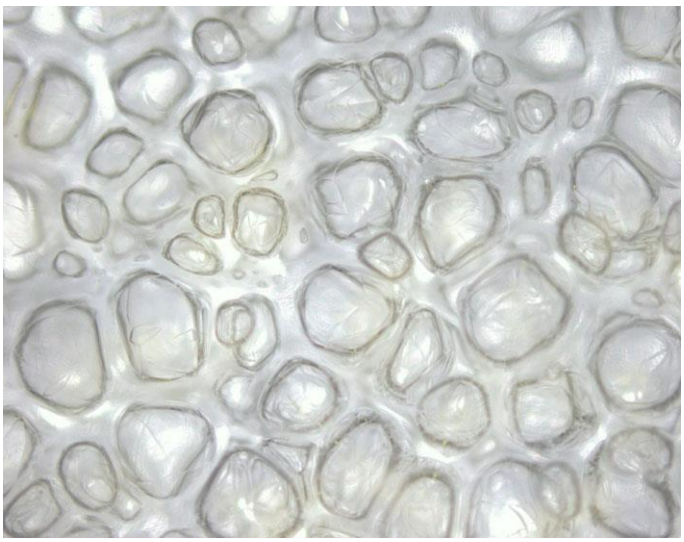


Рис. 2. Макрофотография структуры вспененного оргстекла на примере образца из группы 6

2. Обсуждение экспериментальных результатов

Детальное рассмотрение макрофотографий, представленных на рисунке 1 выделяет несколько характерных особенностей у получаемых образцов. К числу таких особенностей можно отнести

– процессы пластификации с выравниванием структуры поверхности всех органических стекол, особенно ярко проявляющиеся до интенсивного пенообразования в виде увеличения оптической прозрачности,

– установление порогового значения начального давления, при котором наблюдается формирование зародышей пор, порядка 105 атм (группа 2) и интенсивное формирование зародышей пор – 110 атм (группа 4),

– формирование границы раздела, между насыщенной и не насыщенной частью оргстекла,

– краевой эффект процесса формирования зародышей пор,

– сглаживание краёв поверхности при давлениях выше 117 атмосфер.

Краевой эффект и возникновение локальной границы раздела, происходит главным образом за счет более высокой диффузии флюидного агента в наиболее дефектную область образца, полученную за счет его резки. Диффузия в объем оргстекла наиболее ярко проявляется на образцах группы 3, где наглядно видно возникновение пузырьковых образований в центральной части поверхности и объема образца, не связанных с «расползанием» краевого вспенивания.

Увеличение среднего радиуса пор с ростом давления является не очевидным результатом и в некотором смысле противоречащим особенностям синтеза полимерных пен в свободном объеме [5]. Однако это может быть вызвано частичным отсутствием эффектов, связанных с ограничением поверхности полимерных пен, регулируемых поверхностным натяжением стенок пор.

Заключение

Представленные в работе экспериментальные результаты сверхкритического флюидного вспенивания органических стекол и их качественная интерпретация представляют почву для глубокого фундаментального изучения процесса пенообразования в подобных системах.

Синтезируемые образцы могут быть использованы в качестве регулируемых диффузоров и аттенюаторов широкополосного и лазерного излучения за счет многократного рассеяния света в таких средах и являются перспективными настраиваемыми мембранными системами в сенсорике, в части селекции газов за счет разных скоростей диффузии газов при прохождении через матрицу.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Pavlova P.L. et al. Supercritical fluid application in the oil and gas industry: a comprehensive review // Sustainability. – 2022. – V. 14. – № 2. – Ar. 698.

2. Araújo J.M.A., Sandi D. Extraction of coffee diterpenes and coffee oil using supercritical carbon dioxide // Food Chemistry. – 2007. – V. 101. – № 3. – P. 1087-1094.

3. Fages J. et al. Particle generation for pharmaceutical applications using supercritical fluid technology // Powder Technology. – 2004. – V. 141. – № 3. – P. 219-226.

4. Capuzzo A., Maffei M.E., Occhipinti A. Supercritical fluid extraction of plant flavors and fragrances // Molecules. – 2013. – V. 18. – № 6. – P. 7194-7238.

5. Zimnyakov D., Alonova M., Ushakova E. Depressurization-Induced Nucleation in the «Polylactide-Carbon Dioxide» System: Self-Similarity of the Bubble Embryos Expansion // Polymers. – 2021. – V. 13. – № 7. – Ar. 1115.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИСТАЛЛА ТИТАНАТА БАРИЯ

Фельде А.А., Сидорова С.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Сидорова С.В.

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

Аннотация. *Рассмотрена актуальность создания датчиков на основе сегнетоэлектриков. Приведены преимущества титаната бария, его свойства и особенности. Показана причина проявления пироэлектрических свойств в кристалле титаната бария. Проведено моделирование распределения электрического потенциала титаната бария при различной температуре.*

Ключевые слова: *сегнетоэлектрики, титанат бария, пироэлектрики, пироэлектрические датчики*

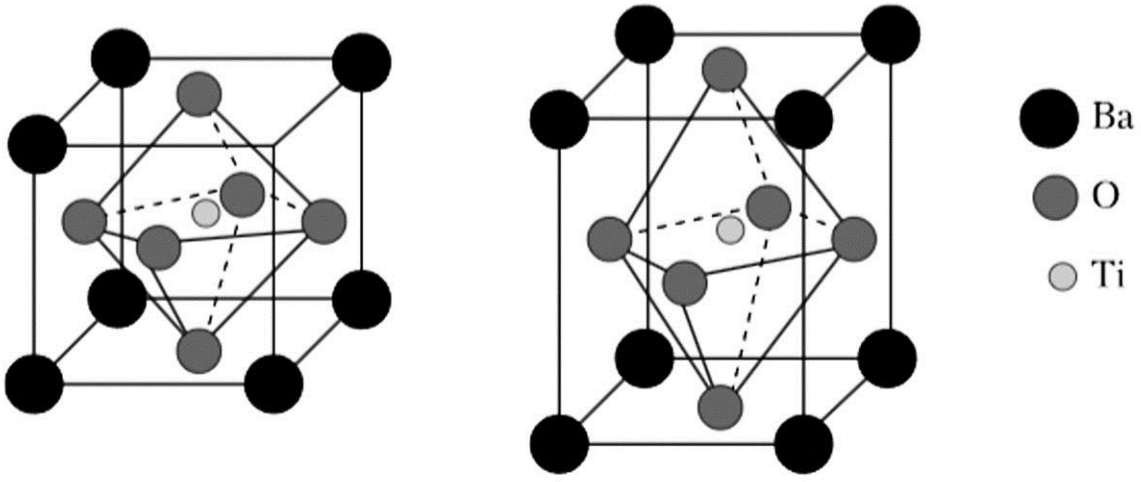
Введение

Сегнетоэлектрики – это кристаллические диэлектрики, обладающие спонтанной электрической поляризацией (электрическим дипольным моментом) в определенном диапазоне температур и в отсутствие внешних электрических полей [1, 2]. Титанат бария является одним из наиболее распространенных сегнетоэлектриков, который обладает следующими свойствами: высоким показателем спонтанной поляризации (30 мкКл/см^2), средней точкой Кюри (120° С) и его несложно измельчить до наномет-

ровых размеров, чтобы разместить в матрице, например, силикона для создания эластичного датчика [3].

В неполярной фазе при температурах выше 120° С $BaTiO_3$ имеет кубическую структуру типа перовскита (рис. 1, а). Ввиду наличия центра симметрии титанат бария в неполярной области температур не обладает необычными электрическими свойствами.

В полярной области температур между точкой Кюри (120° С) и температурой (5° С) кристаллы титаната бария имеют тетрагональную симметрию (рис. 1, б). Фазовый переход при температуре 120° С сводится к тому, что одно из ребер кубической ячейки удлиняется, два других одинаково укорачиваются, переходя в тетрагональные оси. Элементарная ячейка приобретает электрический момент Р [4].



а б

Рис. 1. Элементарная ячейка титаната бария
при температуре выше 120° С (а) и ниже 120° С (б) [5]

Перестраивание кристаллической решетки кристалла является причиной потери пироэлектрических свойств свыше 120° С, что вызывает интерес для моделирования электрических свойств при температуре ниже и выше 120° С для подтверждения этого физического процесса.

Цель работы – исследование электрических характеристик кристалла титаната бария при различной температуре внешней среды.

Для реализации поставленной цели на широком диапазоне температур требуется большие временные, материальные и физические затраты. В этом случае моделирование в соответствующих программных пакетах позволит наглядно провести требуемые исследования.

Выбор интерфейса

Моделирование кристалла титаната бария проведено с использованием программного пакета моделирования, учитывающего пироэлектрические эффекты. Он сочетает в себе теплопередачу в твердых телах и электростатические интерфейсы, а также определяющие соотношения, необходимые для моделирования пироэлектричества. Можно моделировать как прямой пироэлектрический, так и обратный электрокалорический эффекты.

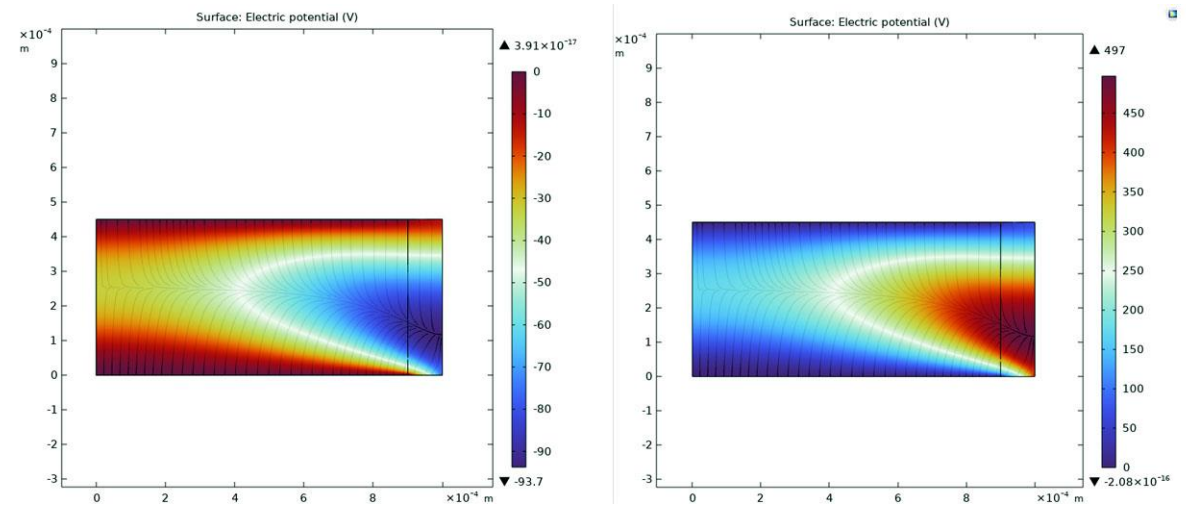
Для упрощения расчета предложено проводить его в двумерной осесимметричной модели. Выбрана физика «Пироэлектричество». В качестве параметров заданы размеры кристалла – радиус 1 мм, толщина 0,45 мм. Построена модель кристалла, ра-

диус электродов 0,9 мм. Добавлен материал титанат бария и заданы необходимые для расчета величины. В разделе «Электростатика» задано расположение электродов, начальное напряжение эквивалентно нулю.

В разделе «Твердотельная механика» кристалл зафиксирован по нижней плоскости. За температурные изменения отвечает раздел «Теплопередача в твердых телах», в котором задана исследуемая температура кристалла. Построена сетка и проведен расчет.

Результаты и их обсуждение

Исследованы электрические характеристики титаната бария при температуре 0 (рис. 2, а) и 127° С (рис. 2, б).



а б

Рис. 2. Распределение электрического потенциала в титанате бария при температуре 0° С (а) и 127° С (б)

Характеристики показали значительное изменение распределения потенциала между температурой 0 и 127° С. После 120° С напряжение меняет свой знак.

Заключение

Проведен анализ сегнетоэлектрического материала титаната бария, возможности его применения. Проанализированы различные ПО для моделирования квантово-механических свойств и выбрано ПО, позволяющее провести моделирование пироэлектрических материалов. Рассмотрены примеры моделирования со схожей тематикой и разработан план моделирования.

Проведено моделирование квантово-механических свойств титаната бария, в результате чего рассмотрен принцип действия датчика температуры на основе сегнетоэлектрика, освоен процесс моделирования пироэлектрических свойств и проверена работоспособность законов, учитываемых ПО.

В дальнейшей работе планируется продолжить моделирование для получения зависимостей емкости модели от температуры, получение экспериментальных образцов, их тестирование и сравнение экспериментальных результатов с результатами модели.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Sekine Y., Akiyoshi R., Hayami S. Recent advances in ferroelectric metal complexes // Coordination Chemistry Reviews, 2022. Vol. 469. – Pp. 214663-214663.

2. Дж. Барфут. Введение в физику сегнетоэлектрических явлений. Издательство «Мир». – 1970.

3. Фельде А.А., Купцов А.Д. Эластичный датчик температуры с тонкопленочными электродами. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 3-7 апреля, 2023, Москва, МГТУ имени Н.Э. Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2023. – URL: studvesna.ru?go=articles&id=3782 (дата обращения: 16.05.2024).

4. Исследование диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика: методические указания к лабораторной работе № 14 по физике / сост. В.С. Гущин, Н.Д. Ватолина, Ю.Г. Стрелецкий. – Екатеринбург: УрФУ, 2017. – 27 с.

5. Материаловедение машиностроительного производства. В2 частях. Ч. 2: учебник для среднего профессионального образования / А.М. Адаскин, Ю.Е. Седов, А.К. Онегина, В.Н. Климов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2023. – 291 с.

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ СПЛАВА НИКЕЛЬ-ВАНАДИЙ

Петрова Н.А., Фролова И.И., Соловьева Н.Д.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Соловьева Н.Д.

Энгельсский технологический институт (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Энгельс

Аннотация. *В статье изучается влияние компонентного состава электролита и катодной плотности тока на состав сплава Ni-V. Установлено, что в изучаемых составах электролитов и при катодных плотностях тока, мА/см^2: 20, 30, 40, электроосаждаются сплавы Ni-V, содержащие 0,36-1,16 массовых процентов ванадия в составе покрытия.*

Ключевые слова: *электроосаждение, сплав, никель, ванадий, сталь 3, электролит, плотность тока*

Электроосаждение сплавов – способ изменения физико–химических и механических свойств металлических изделий. Одним из перспективных направлений придания повышенных защитных свойств, микротвердости, износостойкости является легирование электрохимических осадков металлов группы железа такими элементами как Mo,W,V. Известно [1, 2], что включение в состав железного покрытия ванадия, приводит к получению мелкокристаллического осадка, изменяя его свойства. Получение покрытий с указанными металлами происходит при совместном электроосаждении из водных растворов с металлами группы железа. Это явление получило название индуцированное соосаждение. На скорость электроосаждения сплава, состав, структуру и свойства осадка оказывают влияние состав электролита, концентрация компонентов, pH раствора, режимы электролиза. Большую роль играют компоненты электролита, проявляющие комплексообразующие свойства. В составе электролита осаждения сплава с перечисленными выше элементами такими компонентами являются лимонная кислота, цитраты, бораты и др. [1, 2].

Целью данной работы явилось изучение влияния компонентного состава электролита и катодной плотности тока на состав сплава Ni-V.

Электроосаждение сплава толщиной 15 мкм проводилось в гальваностатическом режиме. Основными никельсодержащими компонентами электролита являлись соли никеля: сульфат никеля ($NiSO_4 \cdot 7H_2O$) – 0,5М и хлорид никеля ($NiCl_2 \cdot 6H_2O$) – 0,29М.

Концентрации солей никеля были взяты из разработанного ранее электролита никелирования [3]. В качестве буферной добавки в электролите использовалась борная кислота. Лимонная кислота вводилась как комплексообразователь, образуя комплексы с солью ванадия ($NaVO_3$). Использовались электролиты следующих составов:

– состав электролита 1
$NiSO_4$. $7H_2O$ – 0,5М
$NiCl_2$. $6H_2O$ – 0,29М
$NaVO_3$. $2H_2O$ – 0,1М
$C_6H_8O_7$. H_2O – 0,1М
pH – 6,78

– состав электролита 2
$NiSO_4$. $7H_2O$ – 0,5М
$NiCl_2$. $6H_2O$ – 0,29М
$NaVO_3$. $2H_2O$ – 0,1М
$C_6H_8O_7$. H_2O – 0,1М
H_3BO_3. – 0,1М
pH-6,83

– состав электролита 3
$NiSO_4$. $7H_2O$ – 0,5М
$NiCl_2$. $6H_2O$ – 0,29М
$NaVO_3$. $2H_2O$ – 0,1М
$C_6H_8O_7$. H_2O – 0,1М
H_3BO_3 – 0,4М
pH-6,81

Электроосаждение сплава на стальной электрод (ст3) проводилось на потенциостате P-30J, при катодных плотностях тока (i_k), мА/см^2: 20, 30, 40; температуре 20 ± 2° С; 25 ± 2° С. Рабочая поверхность электрода составляла 1 см^2, нерабочая – изолировалась кислотостойким лаком. Предварительная подготовка рабочей поверхности электрода состояла в механической зачистке, обезжиривании органическим растворителем, травлении в 0,1 М растворе HCl. Потенциал рабочего электрода измерялся относительно хлоридсеребряного электрода сравнения. В качестве анода использовался никелевый электрод. Состав электроосажденного сплава анализировался рентгенофлуоресцентным методом с помощью Niton 3t (XRF Analyzer). Выход по току определялся гравиметрически по привесу образующегося осадка, pH электролита измерялся на pH-метре марки «pH METER pH – 410». Примеры гальваностатических кривых электроосаждения сплава приведены на рис. 1.

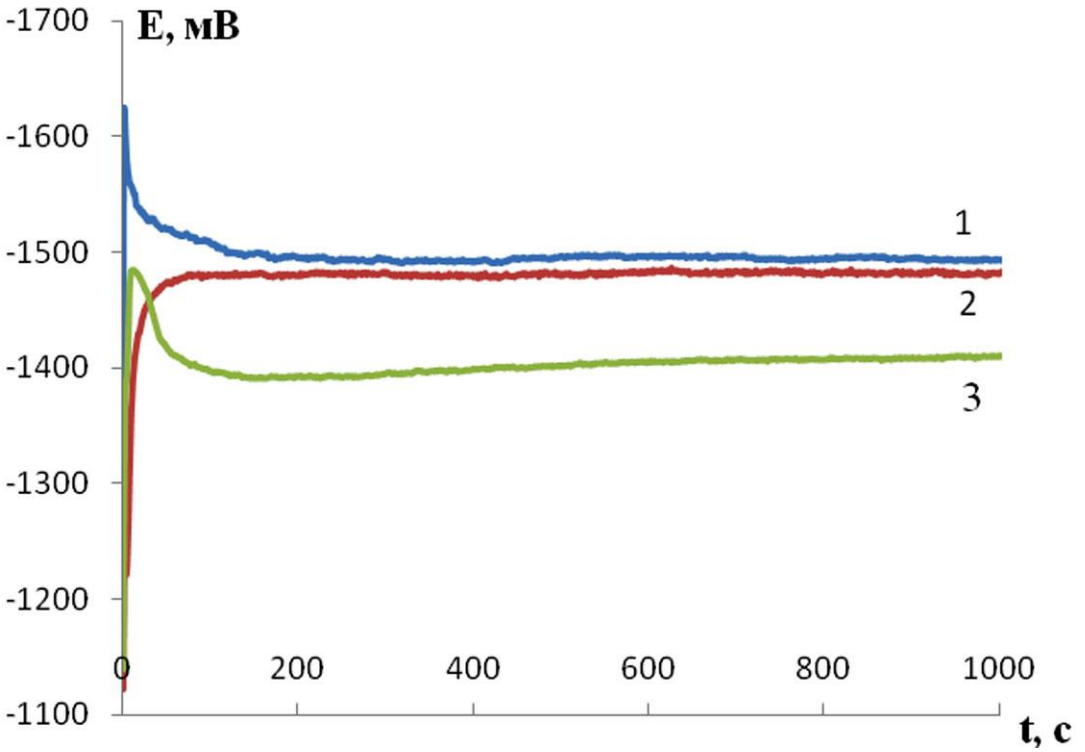


Рис. 1. E,t кривые электроосаждения сплава Ni-V на стальную основу при i_k = 20мА/см^2 из электролитов составов: 1– электролит состава 1; 2 – электролит состава 2; 3 – электролит состава 3. Температура – 20 ± 2° С. Потенциал погружения стального электрода (Е), мВ: в электролите состава 1 – -495,1; состава 2 – -501,7; состава 3 – -513,7.

О формировании осадка на поверхности рабочих стальных электродов в процессе поляризации свидетельствует смещение электродного потенциала после поляризации и отключении катодного тока в отрицательную сторону по сравнению с потенциалом погружения. Процесс на катоде складывается из электровосстановления никеля, индуцированного осаждения ванадия, выделения водорода, включения в состав осадка гидроксида никеля, адсорбционных процессов на границе раздела фаз. Образование осадка происходит при сравнительно высоком перенапряжении (таблица 1).

Таблица 1

Влияние состава электролита, режима электроосаждения
на перенапряжение процесса (η) и количество ванадия в сплаве

Состав электролита	i_k, мА/см^2	η, мВ		Содержание V (ванадия) в осадке, масс. %
		t = 20 ± 2, °С	t = 25 ± 2, °С	
Электролит состава 1	20	782	669	0,74
	30	897	709	0,74
	40	852	829	1,03
Электролит состава 2	20	904	735	0,76
	30	842	769	1,16
	40	870	736	1,38
Электролит состава 3	20	771		0,42
	30	799		0,42
	40	1015		0,36

Совокупность протекающих процессов не позволяет установить тафелеевскую зависимость перенапряжения процесса от катодной плотности тока, за исключением электроосаждения сплава из электролита 3-го состава. Повышение температуры снижает перенапряжение. Рост катодной плотности тока способствует увеличению содержания ванадия в составе сплава при осаждении из электролитов 1 и 2-го составов. Но следует отметить, что наращивание толщины покрытия до 15 мкм приводит к образованию рыхлого поверхностного слоя. После удаления рыхлого осадка остается прочно сцепленное с основой покрытие, содержащее ванадий. Так при электроосаждении сплава при плотностях тока 20, 30, 40 мА/см^2 из электролита состава 2 в прочно сцепленном слое остается, соответственно: 0,37; 0,48; 0,28 массовых процентов ванадия.

Таким образом, приведенные исследования позволили установить, что в изучаемых составах электролитов электроосаждаются сплавы Ni-V. Большее содержание ванадия в составе сплава наблюдается при нанесении осадка из электролитов 1-го и 2-го составов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Серебровский В.И. Упрочнение электроосажденного железа ванадием / В.И. Серебровский, И.М. Ахмадуллин, Е.А. Сумин // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 1. – С. 78-80.

2. Патент № 2169799 С1 Российская Федерация, МПК С25Д3/56. Электролит для осаждения покрытия: № 99124057/02: заявл. 15.11.1999: опубл. 27.06.2001 / В.И. Серебровский, Л.Н. Серебровская, В.В. Серебровский, Н.В. Коняев: заявитель Курская государственная сельскохозяйственная академия имени профессора И.И. Иванова – 6 с.

3. Фролова И.И. Физико-химические свойства малокомпонентного электролита никелирования / И.И. Фролова, Н.Д. Соловьева, Д.А. Легкая // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2014. – № 2. – С. 201-205.

СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Федяшов А.С.[1], Маслова Н.Ю.[2], Корольков А.О.[2]
Научный руководитель: к.т.н., доцент Хорин А.В.[1]

[1]*Пензенский государственный университет, г. Пенза*
[2]*Пензенский колледж информационных и промышленных технологий, г. Пенза*

Аннотация. *В статье проведен анализ плоских схем сварки взрывом для формирования качественного соединения на границе волокно-матрица в условиях высокоэнергетического воздействия.*

Ключевые слова: *высокоэнергетическое воздействие, волокнистые композиционные материалы, плоские схемы сварки взрывом*

В настоящее время разработаны многочисленные плоские схемы сварки взрывом с целью получения армированных металлическими волокнами композиционных материалов. Они отличаются расположением армирующих волокон, способом ударно – волнового воздействия [1-4]. В каждой из приведенных схем сварки взрывом армированных материалов предполагается послойное расположение матрицы и армирующих волокон. Основными технологическими параметрами армирования волокнистых композиционных материалов является высота взрывчатого вещества, геометрические размеры и характер расположение волокон, геометрические размеры элементов матрицы, величина зазора между матрицей и волокнами, шаг армирования и безразмерный параметр r [5, 6].

В работе [7] использована параллельная схема сварки (рис. 1). В качестве основания массивную металлическую плиту с прорезью (5), в которую укладывались чередующиеся слои матричной фольги (7) и армирующих волокон (6). После заполнения прорези сверху устанавливали металлическую фальшпластину (4), защищенную от заряда взрывчатого вещества (2) буферным слоем (3).

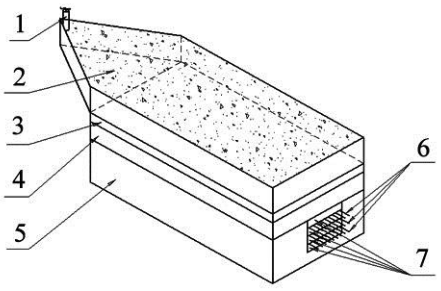


Рис. 1. Схема сварки взрывом волокнистых композиционных материалов в жесткой обойме:
1 – детонатор, 2 – заряд ВВ, 3 – буферный слой, 4 – фальшпластина,
5 – основание, 6 – армирующие волокна, 7 – матричная пластина

Для создания плоского фронта детонации использовался генератор плоской волны с детонатором [8]. По этой схеме получены образцы композиционного материала медная матрица – вольфрамовые волокна.

Параллельная схема получения волокнистых композиционных материалов сваркой взрывом показана на рис. 2. На основании (6) располагают сборку чередующихся

матричных пластин (3) и слоев волокон (5). Над сборкой устанавливается массивная металлическая пластина (4), на которой; располагается заряд взрывчатого (2) с детонатором (1).

Массивная метаемая пластина служит энергоносителем. Способ увеличения объемного содержания волокон υ_f, заключается в уменьшении шага между волокнами, толщины матричных слоев и использовании волокон больших диаметров. Однако, этот способ существенно ограничен, так как при предельно близком расположении контакт волокон с матрицей по всей поверхности нарушается, в следствии матрица теряет свои главные функции по перераспределению напряжений на волокна.

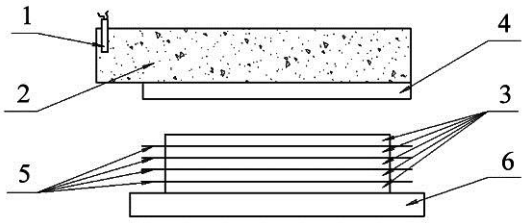


Рис. 2. Схема сварки взрывом волокнистых композиционных материалов с применением пластины – энергоносителя: 1 – детонатор, 2 – заряд взрывчатого вещества, 3 – матричные пластины, 4 – пластина-энергоноситель, 5 – армирующие волокна, 6 – основание

Для сварки взрывом волокнистых композиционных материалов при получении монолистов используют обычную параллельную схему сварки взрывом без пластины энергоносителя. Заряд взрывчатого вещества располагается непосредственно на верхнем матричном слое, разделяясь только инертной прокладкой.

По схеме сварки представленной на рис. 3 алюминиевая фольга армировалась стальной сеткой [7]. При использовании данной схемы процесс высокоэнергетического воздействия матричных пластин развивается на каждом этапе соударения слоев. Процесс образования соединения по данной схеме более соответствует холодной сварке давлением, чем сварке взрывом.

На рис. 4 представлена схема сборки волокнистых композиционных материалов. Волокна достаточно большого диаметра после правки и очистки укладывались с определенным шагом в специальные гребенки. Возможно крепление волокон между собой и плетением, при этом тоже обеспечивается требуемый зазор или шаг между волокнами. Волокна после их укладки в гребенки фиксируются на них, в результате получаются рамки с равномерно расположенными волокнами.

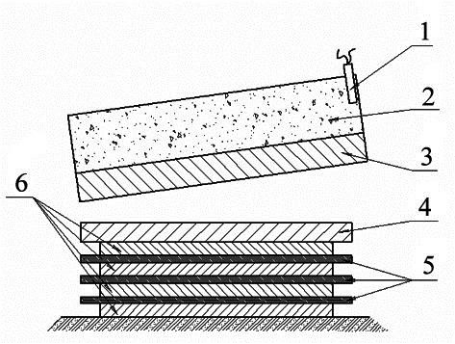


Рис. 3. Схема армирования металлической сеткой: 1 – детонатор, 2 – заряд ВВ, 3 – пластина-энергоноситель, 4 – буферный слой, 5 – армирующая сетка, 6 – матричная пластина

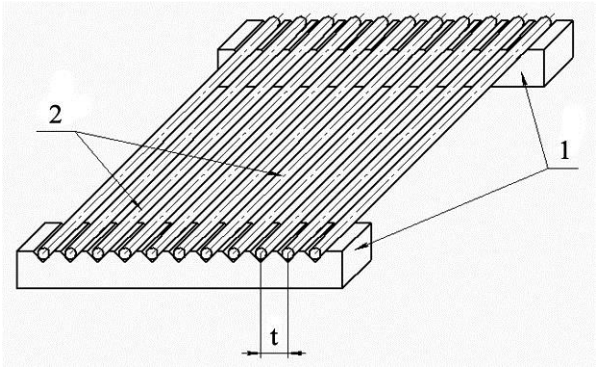


Рис. 4. Схема укладки армирующих стержней: 1 – гребенка, 2 – волокна

На рис. 5 представлена самая распространенная схема ударно-волнового высокоэнергетического воздействия метаемую пластину для получения армированных композиционных материалов [5-9]. Отмечены основные технологические параметры высокоэнергетического воздействия и геометрические параметры волокнистых композиционных материалов, где δ_0 – толщина заряда взрывчатого вещества, δ_1 – толщина метаемой матричной пластины, δ_2 – толщина неподвижной матричной пластины, D – направления распространения фронта детонационной волны, h_1 – зазор между метаемой матричной пластиной и волокнами, h_2 – зазор между матричными пластинами, d – диаметр волокна, t – шаг укладки волокон. По этой схеме возможно инициирование заряда взрывчатого вещества с произвольным направлением распространения фронта детонации по отношению к направлению укладки волокон.

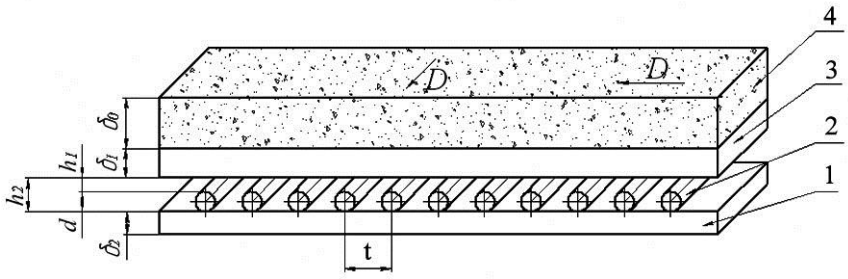


Рис. 5. Схема сборки волокнистых композиционных материалов
для последующей сварки: 1 – неподвижная матричная пластина, 2 – волокна,
3 – метаемая матричная пластина, 4 – заряд взрывчатого вещества

В ходе выполнения анализа известных плоских схем высокоэнергетического воздействия на элементы композиционного материала установлено, что наиболее рациональной схемой получения армированных материалов для использования в дальнейшей научной работе является схема с распространением фронта детонационной волны перпендикулярно укладки армирующих волокон.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Материаловедение: Учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макаров, Г.Г. Мухин и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 5-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2003. – 648 с.

2. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология. – М.: Техносфера, 2004. – 408 с.

3. Моделирование процесса сварки взрывом при армировании металлических материалов / А.Ю. Муйземнек, И.С. Лось, Е.А. Журавлев, Е.Г. Трошкина // Новые материалы и технологии – НТМ-2008. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Москва, 11-12 ноября 2008 г. В 3 томах. Т 1. – М.: ИЦ МАТИ, 2008. – 42-43 с.

4. Способ получения композиционного материала / Розен А.Е., Лось И.С., Крюков Д.Б. и др. // Патент на изобретение RU 2407640 C2, 27.12.2010. Заявка № 2008131359/02 от 29.07.2008.

5. Моделирование деформационного процесса в задачах армирования и сварки взрывом с применением программы LS-DYNA / Розен А.Е., Лось И.С., Муйземнек А.Ю., и др. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2010. № 1 (13). С. 123-133.

6. Медно-алюминиевые композиционные материалы, полученные сваркой взрывом / Лось И.С., Крюков Д.Б., Хорин А.В. // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. № 5 (65). С. 88-92.

7. Сварка взрывом армированных композиционных материалов / И.В. Яковлев, Л.Д. Сиротенко, А.Н. Ханов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 120 с.

8. Обработка металлов взрывом / А.В. Крупин, В.Я. Соловьев, Г.С. Попов, М.Р. Кръстев. – М.: Металлургия, 1991. – 496 с.

9. Intermetallic composites by explosive welding / Los' I.S., Khorin A.V., Troshkina E.G. // В сборнике: Explosive production of new materials: science, technology, business, and innovations. XI International Symposium on Explosive Production of New Materials (EPNM-2012). 2012. С. 67.

ПОЛУЧЕНИЕ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Федяшов А.С.[1], Маслова Н.Ю.[2], Корольков А.О.[2]
Научный руководитель: к.т.н., доцент Хорин А.В.[1]

[1]*Пензенский государственный университет, г. Пенза*
[2]*Пензенский колледж информационных и промышленных технологий, г. Пенза*

Аннотация. *В статье приведена комплексная технология получения армированного композиционного материала с использованием комплексной технологии включающей высокоэнергетическое воздействие, технологический передел и термическую обработку. Показано влияние термической обработки на структуру и свойства композита.*

Ключевые слова: *армированный композиционный материал, сварка взрывом, термическая обработка*

Из всего многообразия металлов и сплавов, применяемых для создания армированных композиционных материалов, выбрано сочетание алюминия и медного сплава [1, 2]. Алюминий используется в качестве материала матрицы из условия малой плотности. Материалом армирующего волокна была выбрана медь из условия термического взаимодействия с материалом матрицы. Оба материала имеют высокую пластичность и отличаются коррозионной стойкостью [3].

При термическом воздействии на межфазной границе алюминий – медь образуется ряд интерметаллических фаз состава CuAl, $CuAl_2$, Cu_3Al_2, Cu_9Al_4, Cu_3Al. Интерметаллиды обладают высокой прочностью и твердостью. Они способны служить армирующими компонентами для алюминиевой матрицы [4, 5]. Таким образом, формируется композиционный материал, сочетающий в себе высокую удельную прочность и жесткость.

Предполагается получение полуфабрикатов армированного композиционного материала на основе матрицы из алюминиевых сплавов и волокон в виде проволоки из технической меди с применением сварки взрывом, в качестве высокоэнергетического воздействия. Для получения листовых полуфабрикатов композита применяли параллельную схему сварки [1, 4]. Расчет параметров сварки взрывом должен обеспечивать достижение требуемого качества листовых полуфабрикатов. Для расчета параметров сварки взрывом использовали известные эмпирические зависимости [6-8]. В данной работе для сравнения параметров сварки применяли многоцелевой программный продукт LS-DYNA [9].

Сварка взрывом осуществлялась в условиях открытого полигона. На рисунке 1 показан внешний вид полученного листа армированного алюминиево-медного композита.

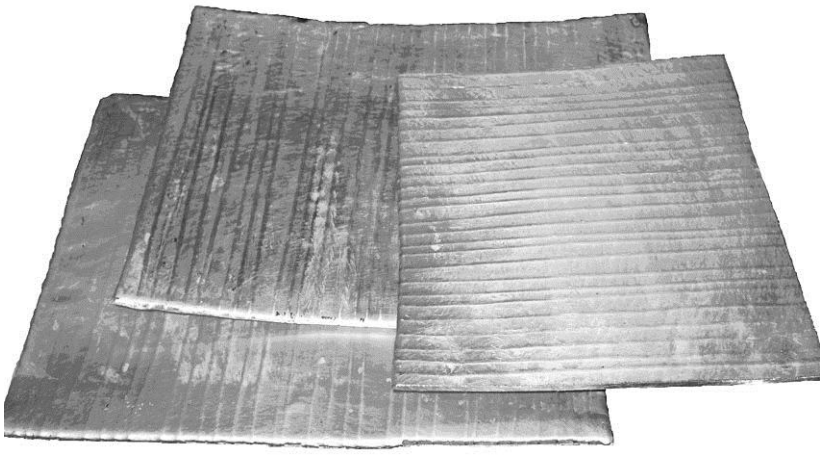


Рис. 1. Листовой полуфабрикат алюминиево-медного армированного композита

Далее полуфабрикаты в виде листов подвергаются технологическому переделу, который может включать прокатку до заданной толщины, различные операции листовой штамповки, электродуговую сварку и др. Завершающей стадией являлась термическая обработка.

Изучена кинетика образования интерметаллидов в образцах армированного композиционного материала при термической обработке. Выявлено, что интенсивный рост промежуточной фазы интереметаллидов наблюдается в зонах наибольшей пластической деформации волокна и матрицы в процессе сварки и прокатки. Толщина таких промежуточных фаз на различных образцах в поперечном сечении волокна находилась в переделах от 0,1 до 0,5 мм. Режимы термической обработки не обеспечивали полного превращения медной проволоки в интерметаллиды. Слой имел микротвердость от 5,5 до 6,5 ГПа, объемная доля интерметаллидов в композите составляла 0,037 %.

Выполнены оценочные расчеты роста промежуточных фаз со стороны меди и со стороны алюминия. Установлено, что на кинетику роста фаз влияют степень деформации и температура отжига и образование интерметаллидной фазы в армированном

композите имеют некоторые отличия от подобных превращений в слоистых композитах на аналогичной алюминиево-медной основе [10].

Результаты исследований свидетельствуют о возможности разработки комплексной технологией получения армированного композиционного материала на основе алюминиевого сплава, армированного интерметаллидными волокнами. Комплексная технология получения композита, включающая сварку взрывом и термообработку, обеспечит повышение показателей удельной прочности и жесткости.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Медно-алюминиевые композиционные материалы, полученные сваркой взрывом / Лось И.С., Крюков Д.Б., Хорин А.В. // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. № 5 (65). С. 88-92.

2. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология. – М.: Техносфера, 2004. – 408 с.

3. Материалы в машиностроении. Выбор и применение: Справочник в 5-ти томах. Т. 1. Цветные металлы и сплавы / под ред. Лужникова Л.П. – М.: Машиностроение, 1967. – 238 с.

4. Способ получения композиционного материала / Розен А.Е., Лось И.С., Крюков Д.Б. и др. // Патент на изобретение RU 2407640 C2, 27.12.2010. Заявка № 2008131359/02 от 29.07.2008.

5. Intermetallic composites by explosive welding / Los' I.S., Khorin A.V., Troshkina E.G. // В сборнике: Explosive production of new materials: science, technology, business, and innovations. XI International Symposium on Explosive Production of New Materials (EPNM-2012). 2012. С. 67.

6. Обработка металлов взрывом / А.В. Крупин, В.Я. Соловьев, Г.С. Попов, М.Р. Кръстев. – М.: Металлургия, 1991. – 496 с.

7. Лысак В.И., Кузьмин С.В. / Сварка взрывом: научная монография – М.: Машиностроение, 2005. – 544 с.

8. Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 1959. – 800 с.

9. Моделирование деформационного процесса в задачах армирования и сварки взрывом с применением программы LS-DYNA / Розен А.Е., Лось И.С., Муйземнек А.Ю., и др. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2010. № 1 (13). С. 123-133.

10. Трыков Ю.П. Деформация слоистых композитов / Ю.П. Трыков, В.Г. Шморгун, Л.М. Гуревич. – Волгоград, 2001. – 242 с.

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НИКЕЛЬ–УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ

Трибис А.И., Тихонов Д.А., Абрамова А.Р.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Целуйкин В.Н.

Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет имени Гагарина Ю.А.», г. Энгельс

Аннотация. *В гальваностатическом режиме получены композиционные электрохимические покрытия (КЭП) на основе никеля, модифицированные углерод-*

ными нанотрубками (УНТ), прошедшими обработку сверхвысокочастотным (СВЧ) излучением. Изучены структура и физико-механические свойства КЭП никель–УНТ (СВЧ).

Ключевые слова: *никель, углеродные нанотрубки, сверхвысокочастотное излучение, структура, микротвердость*

Композиционные электрохимические покрытия (КЭП) получают при электрокристаллизации из электролитов-суспензий, содержащих различную дисперсную фазу [1]. Включаясь в металлическую матрицу, дисперсные частицы улучшают эксплуатационные свойства гальванических осадков (твердость, износостойкость, коррозионную стойкость и др.).

Широкое распространение получили КЭП на основе никеля, что обусловлено их высокими эксплуатационными свойствами. В настоящее время значительное внимание уделяется исследованию углеродных соединений в качестве дисперсной фазы КЭП. Одним из перспективных материалов такого рода являются углеродные нанотрубки (УНТ) [2]. Модифицировать УНТ можно различными способами, в частности, посредством обработки сверхвысокочастотным (СВЧ) излучением.

Цель данной работы состояла в получении КЭП на основе никеля с УНТ, прошедшими СВЧ обработку, исследовании их структуры и физико-механических свойств.

На потенциодинамических кривых наблюдается смещение потенциалов в область положительных значений при введении УНТ в состав сульфатно-хлоридного электролита никелирования, что указывает на возрастание скорости катодного процесса. Процесс осаждения КЭП никель–УНТ (СВЧ) протекает с деполяризацией.

Рентгенофазовый анализ композиционного покрытия показал наличие фаз NiC и C, что указывает на включение частиц УНТ в его состав. Согласно данным сканирующей электронной микроскопии, при переходе от никелевого покрытия без дисперсной фазы к КЭП никель–УНТ (СВЧ) наблюдается изменение микротопографии поверхности электролитических осадков.

Композиционное покрытие имеет упорядоченную мелкозернистую структуру, а морфология поверхности чистого никеля близка к рентгеноаморфной. Вероятно, частицы УНТ выступают в качестве центров кристаллизации и способствуют равномерному распределению никеля по катодной поверхности.

Изменение структуры электрохимического покрытия должно сказываться на его физико-механических свойствах. Одной из важных эксплуатационных характеристик металлических поверхностей является микротвердость.

С ростом катодной плотности тока происходит увеличение микротвердости никелевых покрытий. Вероятно, это обусловлено включением водорода и гидроксидов в их состав, что приводит к деформированию и сжатию кристаллических зерен. При переходе от никелевых осадков без дисперсной фазы к КЭП никель–УНТ (СВЧ) микротвердость возрастает приблизительно в 1,30-1,35 раза. Выше отмечалось, что включение частиц УНТ в никелевую матрицу способствует формированию мелкозернистой структуры, а, следовательно, уплотнению осадков КЭП. Поэтому наблюдается указанное возрастание микротвердости.

Таким образом, получены композиционные электрохимические покрытия на основе никеля, модифицированные частицами УНТ, прошедшими предварительную СВЧ обработку. Дисперсная фаза оказывает определяющее влияние на структуру формирующихся КЭП. Модифицирование электрохимического никеля дисперсной фазой УНТ (СВЧ) приводит к росту микротвердости композиционных покрытий приблизительно в 1,30-1,35 раза.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сайфуллин Р.С. Физикохимия неорганических полимерных и композиционных материалов. – М.: Химия, 1990. – 240 с.
2. Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – 376 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ЖЕЛЕЗО-КОБАЛЬТ

Син В.В.
Научный руководитель: к.х.н., доцент Ченцова Е.В.

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

Аннотация. *В статье приведены результаты исследования каталитической активности гальванических сплавов Fe-Co, полученных в кислых глицинатных растворах, к реакции выделения водорода в 1 М щелочном растворе методом Тафеля.*

Ключевые слова: *гальванические сплавы железо-кобальт, выделение водорода, катализатор*

Промышленное производство водорода методом электролиза воды, щелочных растворов является перспективной альтернативной технологией производства чистой и возобновляемой энергии с низким воздействием на окружающую среду [1, 2]. К наиболее эффективным электрокаталитическим материалам для выделения водорода относятся электроды на основе Pt, Ag и Au. Однако эти металлы дороги, что ограничивает их широкомасштабное использование.

В связи с этим к актуальным относятся работы по разработке и исследованию свойств новых материалов, которые обладают хорошим электрокаталитическими и функциональными характеристиками, являются доступными. Одними из наиболее перспективных материалов в качестве электрокатализаторов являются сплавы, полученные сочетанием следующих металлов: Fe, Co, Ni и Mo [2, 3]. В ряде работ показаны успешные испытания гальванических материалов Fe-Co в качестве электрокатализаторов [4, 5]. Целью настоящей работы было исследовать электрокаталитическую активность гальванических покрытий железо-кобальт, осажденных из кислого глицинатного раствора.

Покрытия железо-кобальт толщиной 10 ± 1 мкм были получены катодным током 0,015 А/см^2 на латунной подложке площадью 3 см^2. Осаждение проводили в растворах с соотношением соли сульфата железа и кобальта 0,25 М к 0,25 М (Fe0,25Co0,25), 0,35 М к 0,15 М (Fe0,35Co0,15), 0,45 М к 0,05 М (Fe0,45Co0,05), pH = 3. Состав гальванических осадков определяли рентгенофлуоресцентным методом с помощью портативного анализатора X-MET 7500. Электрокаталитическую активность образцов исследовали в 1 М растворе KOH методом хроновольтамперометрии при скорости развертки потенциала 2 мВ/с, противоэлектродом служил графит.

По экспериментальным результатам отличие в ходе поляризационных кривых наиболее отчетливо при малых токах электролиза (рис.). Выше 0,015 А/см^2 кривые выделения водорода на сплавах Fe-Co сопоставимы. Для сравнения на рисунке приведена поляризационная зависимость на стальной подложке, характеризующейся наибольшим

перенапряжением выделения водорода из исследованных образцов. Наибольшую механическую стабильность к процессу выделения водорода проявили образцы сплава Fe-Co, полученные из раствора с соотношением солей железа и кобальта – 0,35 М к 0,15 М. Согласно уравнению Тафеля $\eta = a + b\,lgi$ определили коэффициенты a и b, провели расчет величины тока обмена реакции выделения водорода по соотношению $i_0 = 10^{-a/b}$ (табл.).

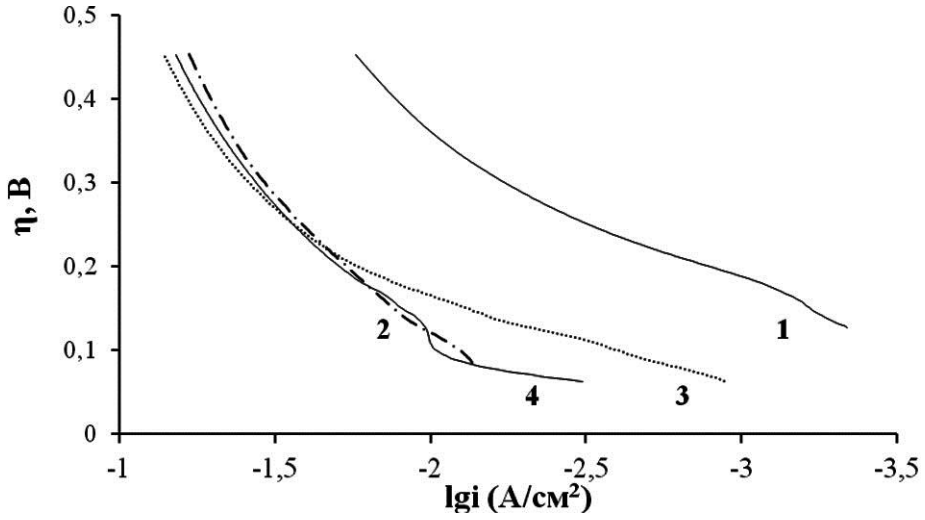


Рис. Поляризационные кривые в координатах Тафеля на исследуемых электродах:
1 – сталь (Ст45); 2 – Fe0,25Co0,25; 3 – Fe0,35Co0,15, 4 – Fe0,45Co0,05

Таблица

Влияние состава электродов на коэффициенты уравнения Тафеля и i_0

электрод	Состав, %		a	b	i_0, А/см^2
	Fe	Co			
Сталь	–	–	0,594	0,136	$0{,}4\cdot10^{-4}$
Fe0,25Co0,25	49,1	50,9	0,440	0,161	$18{,}6\cdot10^{-4}$
Fe0,35Co0,15	65,8	34,2	0,425	0,126	$4{,}2\cdot10^{-4}$
Fe0,45Co0,05	84,1	15.9	0,390	0,120	$5{,}5\cdot10^{-4}$

Полученные величины тока обмена на сплавах Fe-Co на порядок превосходят стальное основание. Наибольшее значение получено на образце с более высоким содержанием кобальта. По величине наклона зависимости Тафеля b можно сделать заключение о наличии замедленной стадии Фольмера в процессе разряда водорода:

$$H_2O + e \rightarrow Hads + OH^-.$$

Таким образом, в работе показано влияние количественного состава гальванических сплавов Fe-Co на их физико-химические свойства, а также их работоспособность в качестве электрокаталитических материалов для процесса получения водорода.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Радченко Р.В., Мокрушин А.С., Тюльпа В.В. Водород в энергетике: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 229 с.

2. Khan N.A., Rahman G., Nguyen T.M., Shah A.Ul.H.A., Pham Ch.Q., Tran M.X., Nguyen D.Le.T. Recent development of nanostructured nickel metal-based electrocatalysts for hydrogen evolution reaction: a review // Topics in catalysis. – 2023. – Vol.66. – N. 1-4. – P. 149-181.

3. Loni E., Shokuhfar A., Siadati M.H. Cobalt-based electrocatalysts for water splitting: an overview // Catalysis surveys from Asia. – 2021. – Vol. 25. – N. 2. – P. 114-147.

4. Oliveira F.G.S., Bohn F., Correia A.N., de Lima-Neto P., Vasconcelos I.F. Fe-Co coatings electrodeposited from eutectic mixture of choline chloride-urea: physical characterizations and evaluation as electrocatalysts for the hydrogen evolution reaction // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – Vol. 851. – N. 156330.

5. Cabello G., Gromboni M.F., Pereira E.C., Mascaro L.H., Marken F. Microwave-electrochemical deposition of a Fe-Co alloy with catalytic ability in hydrogen evolution // Electrochimica Acta. – 2017. – Vol. 235. – P. 480-487.

ФИЛАМЕНТЫ ДЛЯ ТРЁХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ И ИХ СВОЙСТВА

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

Омский государственный технический университет, г. Омск

Аннотация. *С появлением технологии трёхмерной печати люди получили возможность быстро и дёшево изготавливать необходимые им моделях и разнообразные предметы из пластика. Однако в некоторых отраслях производства всегда может возникнуть необходимость в деталях, выполненных из материалов, имеющих необычные свойства. Таким образом, с момента появления 3D-печати появлялись и новые виды филамента – пластика для трёхмерной печати. Большинство из них стали фаворитами на рынке ввиду своих характеристик, а количество их типов невозможно подсчитать.*

Ключевые слова: *3D-печать, 3D-принтер, трёхмерные технологии, материал, филамент*

На сегодняшний день технология трёхмерной печати предметов достаточно хорошо развита. Создав 3D-модель на компьютере можно в считанные часы (или даже минуты) распечатать готовую деталь, не прибегая к более сложным методам, использующим дорогостоящее оборудование. Если есть необходимость в придании изготавливаемому предмету уникальных свойств, такие как прочность или упругость, то при печати используют филамент, имеющий эти свойства.

На данный момент невозможно перечислить все существующие типы филаментов, так как у каждого производителя один тип может иметь разные характеристики, или выпускаться ограниченными сериями. Однако филаменты можно классифицировать, разбив их на виды по своей структуре, наличию в своём составе других материалов, и имеющие уникальные свойства.

К виду обычных филаментов можно отнести все филаменты, которые в целом являются пластиком (пластмассой), но отличаются друг от друга лишь химической структурой и некоторыми особенностями при 3D-печати. К таким относятся: PLA, PETG, ABS, HIPS, PP.

PLA (Полилактид) – биоразлагаемый пластик, в основе которого находится молочная кислота. Производится из сахарного тростника или кукурузы [1]. Так как в производстве используются натуральные вещества, этот филамент при печати не выделяет запахов, а следовательно является нетоксичным. Этот материал достаточно часто используется для 3D-печати ввиду твёрдой структуры, небольшой температуры печати и отсутствия усадки (уменьшение размеров модели после остывания пластика).

Рис. 1. Классификация филаментов по трём видам

PETG (полиэтилентерефталат-гликоль) – филамент по своим свойствам очень похожий на PLA, однако более стоек к большим нагрузкам, влиянию ультрафиолета и более высоким температурам. Также является одним из наиболее популярных филаментов на рынке.

ABS (акрилонитрилбутадиенстирол) – ударопрочный пластик, очень популярен в промышленности и 3D-печати. Изделия из ABS достаточно прочны, поэтому его часто используют для печати функциональных объектов, имеющих практическое применение [1]. ABS хоть и имеет такие же свойства, как и PLA, однако часто возникают трудности при его использовании в печати. Филамент более требовательный к температуре окружающей среды, стола, на котором закрепляется изделие, и сопла, откуда поступает пластик. Присутствует большая усадка. Своё место на рынке заслужил благодаря более низкой цене, по сравнению с другими филаментами.

HIPS (высокопрочный полистирол) – достаточно мягкий пластик, создавался для использования совместно с ABS, для поддержек при двуэкструдерной 3D-печати. Этому способствовали его следующие свойства: одинаковая с ABS температура экструзии, низкая спекаемость с ABS, наличие растворителя (D-Limonene), который растворяет HIPS и не растворяет ABS [1]. HIPS достаточно редко используют в печати, так как материал непрочный, гибкий и ломкий.

PP (полипропилен) – широко распространенный пластик, применяемый в производстве упаковочных материалов, посуды, шприцов, труб [1]. PP-филамент имеет высокую прочность и устойчивость к химическим воздействиям, однако его сложно использовать в 3D-печати из-за наличия усадки моделей и необходимости поддержания заданной температуры окружающей среды при печати.

Следующий вид филаментов – с примесями других материалов. Такие филаменты в своём составе могут иметь примеси пыли различных металлов или даже дерева. К таким относятся: Metal, bronzefill, Woodfill и т. д.

Зачастую такие филаменты используют для печати декоративных предметов, чтобы придать им фактуру древесины или металла. Параметры печати и характеристики пластика у каждого производителя разные, однако, чем больше примесей, тем меньше прочность изделия.

Филаменты с уникальными свойствами.

Flex (полиуретан) – мягкий, гибкий, эластичный, резиноподобный материал. Используется для печати игрушек, резиновых прокладок, ремней приводов технических изделий.

SBS (стиролбутадиен–стирол) – филамент характеризуется низкой токсичностью и усадкой, а также высокой прочностью. Изделия, напечатанные этим пластиком и обработанные сольвентом, приобретают прозрачность окрашенного стекла [1-3].

Conductive (электропроводный) – пластик, способный проводить небольшой ток. В его составе содержаться токопроводящие материалы. Используется для печати небольших декоративных светильников.

Glow-in-the-Dark (фосфоресцирующий пластик) – декоративный филамент, светящийся в темноте. Зачастую используется для печати игрушек.

Magnetic (Магнитный) – в основе данного пластика PLA или ABS, а в качестве присадки используется ферромагнетик. Засчет этого пластик приобретает способность притягиваться к магнитам [1, 4, 5].

Color-Changing (Изменяющий цвет) – филамент меняющий цвет в зависимости от температуры. За основу используется PLA или ABS.

Ceramo, ceramic (керамический) – материал, имитирующий керамические изделия. Твердый и прочный, но хрупкий. Готовые изделия практически неотличимы по тактильным ощущениям от настоящей керамики [1].

Как было указано раньше, в мире существует множество разных филаментов, отличающихся друг от друга по разным параметрам. Их все невозможно перечислить. Данная классификация предлагает разделение материалов по их очевидным свойствам, химической структуре и составу.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Top 3D Shop: интернет-магазин: сайт. – Санкт-Петербург, 2013 – URL: https://top3dshop.ru/blog/podrobnyj-gid-po-vyboru-plastika-dlja-3d-pechati.html (дата обращения: 15.05.2024).

2. Цветной мир: интернет-магазин: сайт. – Москва, 2013 – URL: https://cvetmir3d.ru/blog/poleznoe/vidy-plastika-dlya-3d-printera (дата обращения: 15.05.2024).

3. Нестеренко Г.А. Информационное обеспечение технологической подготовки производства: конспект лекций / Г.А. Нестеренко; Г.А. Нестеренко; Федер. агентство по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Омск. гос. техн. ун-т». – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 30 с. – EDN QMEOHB.

4. Целесообразность использования программного комплекса визуализации внешнего вида автомобиля в современных автомастерских / Е.А. Лысенко, Г.А. Нестеренко, В.С. Буграков [и др.] // Colloquium-Journal. – 2019. – № 9-1 (33). – С. 38-40. – EDN CPUXHB.

5. Рабочие процессы, конструкция и основы расчета энергетических установок и транспортно-технологического оборудования: практикум / В.Е. Щерба, Е.А. Лысенко, Е.А. Павлюченко, Г.А. Нестеренко. – Омск: Омский государственный технический университет, 2011. – 224 с.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ: АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ

Шевчук М.И.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Тюльпина О.В.

Балтийский федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград

Аннотация. *В данной статье рассмотрены основные сферы применения композитов, связанные со сферой машиностроения, приведены примеры некоторых разработок.*

Ключевые слова: *композитные материалы, композиты*

Введение

Машиностроение является важнейшей отраслью промышленности страны. Повышение качества функционирования отрасли возможно за счёт внедрения на предприятиях системы качества на основе международных стандартов серии ISO 9000 и применения в машиностроении новых технологий и материалов [9].

На данный момент одну из важнейших ролей в большинстве отраслей промышленности занимают композитные материалы. Они обладают высокой вариативностью характеристик, что позволяет задать практически любые требуемые свойства для будущей детали.

Композитные материалы. Определение. Виды

Композитные материалы (композиционные материалы, композиты, КМ) – материалы, образованные соединением двух и более компонентов, при условии, что каждый компонент сохраняет свои свойства. Особенностью композитов является приобретение новых свойств, не характерных для компонентов, взятых раздельно, например снижение плотности, повышение или понижение прочности, жёсткости, термоустойчивости, проводимости и т. д.) [7].

Композиты можно представить в виде системы, состоящей из матрицы (связующего элемента) и наполнителя (армирующего элемента).

Композиты можно классифицировать по ряду признаков:

– по материалу матрицы и армирующим компонентам,

– по структуре (геометрии, однородности, масштабу, взаимному расположению элементов,

– по методу получения,

– области применения.

Композиционные материалы используются и разрабатываются во всех отраслях промышленности. В данной статье будут рассмотрены некоторые из них [7].

Строительство

Применение композитных материалов в отрасли строительства известно очень давно. Ещё в Древнем Египте при производстве кирпича в глину добавляли солому. Это повышало прочность продукта, а также препятствовало растрескиванию кирпичей при сушке. Такое изобретение получило название саманный кирпич [6].

Бетон является композитом, без которого не может обойтись ни одно строительство. Цементный раствор, матрицу, смешивают с песком и щебнем, армирующими элементами. Добавление к бетону стальной арматуры приводит к появлению ещё одного многокомпонентного волокнистого композита.

Автомобилестроение

В автомобилестроении широко применяются конструкции из углепластиков, которые при аналогичной прочности имеют преимущество в весе на 30-50 % по сравнению с алюминием или сталью [1].

Покрышки автомобилей имеют в своей структуре корд – каркас сплетённый из нитей полимера или металла. Покрышки для мототранспорта, при работе которых необходимо обеспечивать высокое сцепление при движении в наклонённом состоянии, оснащены не только упрочняющим кордом, но и более мягкой резиной на боковых частях.

Авиатехника

Авиационную фанеру начали использовать ещё в первой половине прошлого века. Важные для конструирования летательных аппаратов параметры, такие как лёгкость и прочность, очень сильно ограничивали спектр используемых ресурсов, поэтому конструкторы прибегали к различным нетривиальным решениям, создавая композиции из разнородных материалов. Таким образом, была изготовлена авиаци-

онная фанера, имеющая высокую прочность и гибкость, позволившая компенсировать дефицит древесины определенных сортов, к которым предъявлялись высокие требования [5, 8].

Для остекления современных летательных аппаратов используется стеклоткань, композит, представляющий множество тонких стеклянных нитей, соединённых общей матрицей. Стекловолокниты обладают высокими показателями прочности, твёрдости, виброустойчивости и противостоянию усталостным нагрузкам. Добавление металлических компонентов в стеклоткань позволяет материалу приобрести изолирующие свойства [5, 8].

Также КМ используются для высоконагруженных деталей конструкции, например обшивки [5, 8].

Машиностроение, станкостроение

В современном машиностроении часто применяют поверхностное легирование деталей. Примером этого являются валы, поверхность которых легируется углеродом, в результате чего поверхностный слой металла приобретает высокую твердость, а внутренний остаётся вязким. Такая обработка позволяет повысить твёрдость детали, оставляя её достаточно гибкой для компенсации неравномерных нагрузок.

Электротехника, электроника и приборостроение

Направление электротехники привлекает много внимания и ресурсов, например, в связи с распространением электродвигателей. Также на данный момент растут потребности в передаче больших объёмов информации, что требует увеличения пропускной способности кабелей и проводов. Вместе с этим совершенствуются проводники, накопители, платы.

Для обеспечения передачи больших объёмов информации используются оптоволоконные сети. Они могут обеспечивать скорость передачи около одной тысячи гигабайт в секунду, что многократно выше других способов передачи информации. Оптические кабели также могут обеспечить высокую надёжность передачи. Оптоволоконные кабели состоят из тонких стеклянных нитей, покрытых полимерной оболочкой. Прохождение сигнала обеспечивается тем, что луч отражается от границ разделения сред и не проходит сквозь полимерную оболочку [3].

Ещё одной важной задачей для современной промышленности является создание более эффективных, а именно ёмких и стабильных аккумуляторов. Использование различных аллотропных свойств углерода представляется для науки перспективным, так как эти материалы имеют на несколько порядков более высокую электропроводность по сравнению с металлическими проводниками. Например, графен применяют при изготовлении анодов для литий-ионных аккумуляторов. А применение композитов из полимерной матрицы и углеродных нанотрубок позволяет получить высокую электропроводность при малых сечениях кабеля. Эта технология активно применяется в космической промышленности, где важно уместить большое количество оборудования в малом пространстве. Как пример таких технологий можно привести «Кубсат» – сверхмалые космические аппараты стандартной геометрии [4, 2].

Заключение

Стоит отметить, что большинство современных разработок в области композиционных материалов направлены не на создание новых материалов, а на модификацию имеющихся материалов и оптимизацию процессов изготовления. А возможность создавать материалы, отличающиеся заданными свойствами, существенно отличающимися от свойств чистых компонентов открывает перед современной наукой множество возможных путей развития, разработки в которых были ограничены габаритами, массой, теплостойкостью, электропроводностью и другими параметрами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Валуева М.И., Евдокимов А.А., Начаркина А.В., Губин А.М. Полимерные композиционные материалы и технологии в автомобилестроении (обзор) // Труды ВИАМ, 2022. – № 1. – 55-56 с.

2. Воробьева Е.А., Евсеев А.П., Петров В.Л., Шемухин А.А., Чеченин Н.Г. Проводимость в композитных материалах на основе ориентированных углеродных нанотрубок // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия, 2021. – № 1. – 23-24 с.

3. Гафуров А.М., Гафуров Н.М., Гатина Р.З. Оптоволоконные системы для передачи возрастающего объема информации // Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2016. – № 1 (57). – 1-3 с.

4. Корнилов Д.Ю., Губин С.П. Анодные материалы на основе графена для литий-ионных аккумуляторов // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии, 2016. – № 1. – 40-43 с.

5. Мосов А.О., Снежко А.А. Композиционные материалы в авиатехнике // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2022 – 829-830 с.

6. Омаров Ж.М., Жолдыбаев Ш.С., Жандалинова К.А., Оразова Д.К. Использование композитных материалов в строительной отрасли // Наука и техника Казахстана, 2019. – № 4. – 9 с.

7. Рогов В.А., Шкарупа М.И., Велис А.К. Классификация композиционных материалов и их роль в современном машиностроении // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования, 2012. – № 2. – 41-49 с.

8. Симонов Н.С. Производство в СССР авиационных материалов в период Великой Отечественной войны // Военно-исторический журнал, 2022. – № 8. – 60-63 с.

9. Тюльпина О.В., Патрикеев М.В. Анализ опыта внедрения систем менеджмента качества на машиностроительных предприятиях России // Инновационные технологии в машиностроительном комплексе: Материалы XI Международной научно-технической конференции ассоциации технологов-машиностроителей. – Калининград: Изд-во БФУ имени И. Канта, 2020. – С. 289-294.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕГРАДАЦИИ ОМИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ДИСПЕРСНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ АНАТАЗА

Цыпин Д.В.[1], Кочкуров Л.А.[1], Волчков С.С.[1], Зимняков Д.А.[1, 2]
Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор Зимняков Д.А.

[1]Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов
[2]Институт проблем точной механики и управления РАН, Россия, г. Саратов,

Аннотация. *Представлены результаты экспериментальных исследований процессов деградации омической проводимости дисперсных структур на основе наночастиц анатаза при длительном воздействии постоянного тока. Случайные ансамбли межэлектродных мостиков, состоящих из плотно упакованных наночастиц анатаза, были сформированы путем осаждения частиц из водных суспензий на поверхности кварцевых подложек со встречно-штыревыми системами платиновых электродов. Эксперименты при комнатной температуре показали, что деградация омической проводи-*

мости в этих системах необратима. Это предположительно связано с захватом электронов проводимости ловушками в наночастицах анатаза и обеднением ансамблей электронов проводимости. Анализ динамики падения напряжения на образцах на заключительной стадии деградации дает значение критического показателя омической проводимости ≈ 1,597.

Ключевые слова: *проводимость, наночастицы анатаза, порог протекания, критический показатель*

Перспективными материалами в настоящее время являются стохастические структуры на основе ансамблей плотноупакованных полупроводниковых наночастиц, которые стали объектом особого внимания в качестве материальных платформ для сенсорики [1], фотоники [2], каталитической химии, наноэлектроники. Например, плотноупакованные полупроводниковые наночастицы могут быть использованы в сенсорной технике благодаря их высокому соотношению площади поверхности к объему, что позволяет обнаруживать молекулы-мишени.

Одним из перспективных полупроводниковых материалов является диоксид титана в модификации анатаз, который использовался в серии экспериментов [3]. Проведенные исследования отражают эффект постепенной деградации омической проводимости межэлектродных мостиков из наночастиц анатаза при протекании постоянного тока.

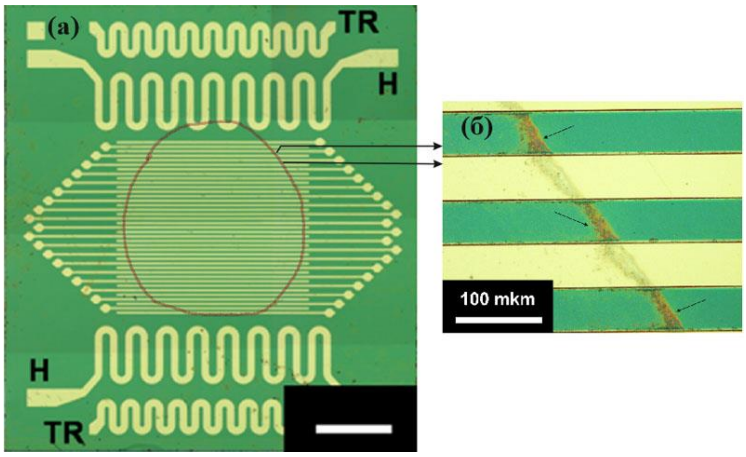


Рис. 1. (а) Макроснимок подложки со встречно-штыревой электродной системой, использованной в экспериментах; масштаб соответствует 1,5 мм; (б) Изображение произвольно выбранного участка с тремя межэлектродными мостами (для наглядности обозначены стрелками), масштаб соответствует 100 мкм

На рис. 1 представлен макроснимок подложки с «высеянными» наночастицами анатаза, образующими кольцевидную структуру вдоль границы нанесенного объема суспензии.

Основное соотношение, описывающее напряжение U(t) исследуемых образцов под действием постоянного тока I, может быть записано в следующем виде:

$$I = G(t)U(t) + C_{tot}\frac{dU(t)}{dt}, \quad (1)$$

Зависимости U(t) можно разделить на три характерные области: кратковременную переходную область длительностью порядка нескольких секунд (I); квазистационарную область, характеризующуюся медленным увеличением падения напряжения (II); область быстрого увеличения U(t) (III) (рис. 2 (а)).

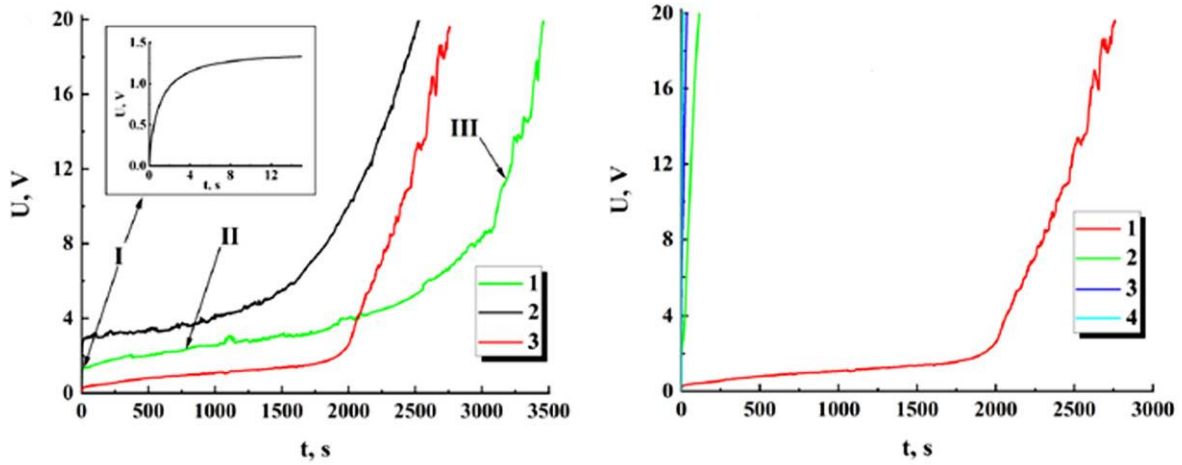


Рис. 2. (а) График зависимости напряжения от времени для трех различных образцов. (б) Серия зависимостей U(t) для образца с числом электродных мостиков, равным 63 и средней шириной мостиков, равной ≈ 40,4 мкм. Кривые на рис. (б) обозначены числами в порядке последовательности прогона

Данные, представленные на графике 2 (б), свидетельствуют о резком снижении количества свободных носителей заряда в межэлектродных мостиках в процессе циклического воздействия с низкой способностью к восстановлению их концентрации между последовательными циклами [4].

Из полученных экспериментальных данных могут быть восстановлены значения омической проводимости на различных этапах эксперимента. Текущее значение омической проводимости [3-4] исследуемого образца может быть оценено как:

$$G(t) = \frac{I - C_{tot}\left(dU(t)/dt\right)}{\overline{U}(t)}, \qquad (2)$$

где $\overline{U}(t)$ – полученное значение падения напряжения на образце, сглаженное с использованием метода скользящего окна во временной области.

Изменения в проводимости мостовидных структур, состоящих из плотноупакованных наночастиц анатаза, в результате длительного воздействия постоянного тока могут быть интерпретированы как процесс необратимого перехода от полупроводникового состояния к диэлектрическому. Происходит это из-за попадания электронов проводимости в поверхностные ловушки в наночастицах анатаза; следовательно, происходит обеднение подвижных носителей заряда.

Интерпретация значений проводимости вблизи порогов протекания в рассматриваемых дисперсных системах позволяет определить значение критического показателя проводимости, приблизительно равное 1,597.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Chen N., Deng D., Li Y., Xing X., Liu X., Xiao X., Wang Y. The xylene sensing performance of WO_3 decorated anatase TiO_2 nanoparticles as a sensing material for a gas sensor at a low operating temperature // RSC Adv. 2016. – Vol. 6. – P. 49692-49701.

2. Baldini E., Palmieri T., Pomarico E., Auböck G., Chergui M. Clocking the ultrafast electron cooling in anatase titanium dioxidenanoparticles // ACS Photonics, 2018. – Vol. 5. – P. 1241-1249.

3. Zimnyakov D.A., Volchkov S.S., Vasilkov M.Y., Plugin I.A., Varezhnikov A.S., Gorshkov N.V., Ushakov A.V., Tokarev A.S., Tsypin D.V., Vereshagin D.A. Semiconductor-to-insulator transition in inter-electrode bridge-like ensembles of anatase nanoparticles under a long-term action of the direct current // Nanomaterials, 2023. – № 9, Vol. 13. – P. 1490.

4. Кочкуров Л.А., Волчков С.С., Васильков М.Ю., Плугин И.А., Климова А.А., Зимняков Д.А. Деградация проводимости низкоразмерных наноструктурированных полупроводниковых слоев при длительном протекании постоянного тока // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика, 2024. – Т. 24. Вып. 1. – С. 41-51.

ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ТВЧ НА ТВЕРДОСТЬ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СЛОИСТОЙ СТАЛЬ-ТИТАН-ОКСИДНОЙ СТРУКТУРЫ

Егоров И.С.
Научный руководитель: д.т.н., доцент Фомин А.А.

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

Аннотация. *В статье исследована сталь-титан-оксидная структура, полученная комбинированным способом. Первый способ заключался в нанесении титанового листа на поверхность стали методом точечной контактной сварки с последующей механообработкой. Следующим за нанесением был процесс модификации титанового слоя методом нагрева за счет ТВЧ в кислородосодержащей среде. Процесс исследования заключался в определении поверхностной твердости, которая достигала 88 HRA, и фазового состава слоистой структуры на разной глубине от поверхности до раздела двух металлов, которая состояла из низших и высших оксидов титана, интерметаллидов и твердых растворов.*

Ключевые слова: *индукционный нагрева, твердость, оксид-титана, контактная сварка*

Введение

Одной из проблем при сплавлении двух разнородных металлов является образование интерметаллидов. Интерметаллиды образуются в жидких расплавах, а также при распаде твердых растворов [1-3].

В твердом состоянии процесс возможен за счет диффузии элементов одного металла в другой. При сварке давлением интерметаллидные соединения образуются как результат высокотемпературного контактирования. В процессе сварки без образования жидкой фазы формирование соединений начинается в скрытый период, после чего в зоне соединения появляется металлографически различимый слой интерметаллида.

На начальных стадиях образования интерметаллидных соединений, как правило, происходит неравномерный рост слоя новой фазы по всему фронту контактирования металлов. Это объясняется существенным различием скорости диффузионных процессов на локальных участках поверхности.

Наличие пересыщенных твердых растворов в локальных объемах способствует зарождению центров интерметаллидной фазы. При дальнейшем увеличении количества центров кристаллизации они растут преимущественно вдоль поверхности контакта, образуя металлографически различимые объемы интерметаллидов. После образования сплошной прослойки новой фазы возрастает толщина слоя, состоящего из интерметаллидов. При этом в соответствии с диаграммой состояния возможны также образование и рост интерметаллидных фаз другого стехиометрического состава [4].

В системе «титан – железо» образуются две промежуточные фазы $TiFe_2$ и TiFe, а со стороны исходных компонентов наблюдаются превращения, связанные с полиморфными переходами титана и железа.

Максимальная растворимость Ti в α-Fe (феррите) по данным различных источников составляет от 8 до 13,7 ат.% [5-6]. С уменьшением температуры до 500° С растворимость титана в ОЦК железе снижается до 2,9 ат.%. Переход α-Fe в γ-Fe (аустенит) при температуре 1100° С сопровождается резким снижением растворимости титана до 0,76 ат.%. Образовавшиеся в системе «титан – железо» интерметаллиды значительно повышают прочность соединения и существенно снижают его пластичность. Например, при добавлении 2 % Fe в титан, твердость сплава составляет 2 ГПа, а при увеличении концентрации железа в титане до 6-9 % – твердость составляет не менее 4,5 ГПа [7-9].

Углерод в стали является наиболее диффузионно-подвижным элементом, а титан имеет высокую склонность к образованию карбидов. В связи с этим на границе сварки заготовок из титана и углеродистых сталей возможно образование частиц TiC, твердость которых при различных температурах составляет 20-28 ГПа [10]. При сварке технически чистого титана с хромоникелевыми аустенитными сталями образуются соединения титана с хромом, никелем и железом, которые охрупчивают сварной шов в еще большей степени, чем при сварке титана с углеродистыми сталями. В соответствии с диаграммой состояния растворимость железа в β-Ti выше по сравнению с α-Ti, поэтому (α+β)- и β-титановые сплавы отличаются лучшей свариваемостью со сталями.

Хорошо известны теоретические и экспериментальные исследования, в которых подробно описываются механизмы и кинетика процессов окисления тугоплавких металлов и сплавов, в частности технически чистого титана ВТ1-0 [11-13].

Металлооксидные соединения в виде покрытий образуются на поверхности титана при термической обработке за счет нагрева токами высокой частоты (ТВЧ) в воздушной среде при использовании установки индукционного нагрева. При этом определяется влияние основных режимов ТВЧ титановой основы на среднюю величину нанокристаллов в температурном диапазоне от 600 до 1200° С и длительности термообработки от 1 до 300 с.

Приведенный процесс окисления отличается высокой скоростью нагрева и малой продолжительностью термообработки. Указанные отличия приводят к ускоренному росту металлооксидного покрытия, особенно при температуре выше фазового перехода *α*-Ti ↔ β-Ti. При высокотемпературной обработке ТВЧ около 1000° С образцов из технического титана и продолжительности от 1 до 300 с на поверхности формируются толстослойные оксидные покрытия – от 1-2 до 30-40 мкм [14, 15].

Остаточные напряжения, возникающие при последующем охлаждении образцов с покрытиями, начинают сказываться при обработке длительностью не менее 150-180 с и приводят к самопроизвольному отделению оксидного слоя при незначительных внешних воздействиях. Аналогичный эффект проявляется также при температуре около 1200° С, оксидные покрытия около 8-10 мкм уже формируются при

выходе на заданную температуру, а при продолжительности нагрева от 30 до 300 с их толщина составляет от 20 до 70 мкм соответственно. Одновременно с ростом толстого оксидного покрытия при данных параметрах обработки ТВЧ происходит также образование оксидного подслоя, характеризуемого небольшой толщиной до 1,5-4 мкм. Оксидный подслой характеризуется высокой морфологической гетерогенностью при температуре обработки от 1000 до 1200° С и продолжительности воздействия от 30 до 90-120 с.

Формируемый оксидный подслой имеет значительно более высокие физико-механические характеристики, в частности твердость и модуль упругости, по сравнению с вышележащим оксидным покрытием. При малой нагрузке (10 мН) индентирования величина твердости для данных оксидных покрытий достигает 78 ± 28 ГПа, а модуля упругости – около 330-670 ГПа.

Методология

В данной работе основным объектом исследования является слоистая сталь-титан оксидная структура (СТО-структура). Нанесение покрытия титана толщиной 1 мм на стальную основу толщиной 3,8 мм было выполнено на двух разных режимах контактной точечной сварки (1 – модулированный импульс при токе $I_{св}$ = 1200 А, и длительности $\tau_{св}$ = 0,1 с «м-1200-0,1»; 2 – постоянный импульс при токе $I_{св}$ = 1200 А, и длительности $\tau_{св}$ = 1,2 с «п-1200-1,2»).

После нанесения покрытия поверхность титана подвергалась чистовой шлифовке до достижения толщины титанового слоя 0,5 мм. Конечным этапом образования многослойной структуры была модифицирующая термообработка ТВЧ при температуре 1000-1250° С в течении 60-180 с. Образцы, исследовались на параметры твердости поверхности. Измерение макротвердости поверхности покрытия и стальной основы осуществлялось методом вдавливания алмазного конуса по шкале HRA на портативном твердомере Роквелла «PHBR-2 TX».

Полученная СТО-структура с наибольшим показателем твердости была подвергнута проведению фазово-структурного анализа кристаллической структуры с целью определения образовавшихся в процессе ТКС и последующей термообработки ТВЧ соединений, в частности оксидных, карбидных, интерметаллидных и других. Для этого применялся метод рентгенофазового анализа (РФА) на дифракционном аппарате «ARL X`TRA» («Thermo Fisher Scientific») с использованием рентгеновской трубки с медным анодом (CuKα, длина волны λ = 1,540562 Å, угол сканирования 2Θ = 20-95°). Кристаллическую структуру покрытий выявляли с помощью обработки рентгенограмм в программной среде «Match! Phase Iddentification from Powder Diffraction» (ver.1.11k) с использованием актуальных базы данных «COD-Inorganics reference database» (обновлено 14.06.2021).

Результаты

В результате термообработки ТВЧ на поверхности титана образуется толстый слой окалины, характеризуемый хрупкостью и наличием внутренних напряжений. При охлаждении из-за недостаточной прочности данный наружный слой разрушается или самопроизвольно отделяется. Под отделившимся слоем окалины находятся высокотвердый оксидный и диффузионный слои, которые определяют функциональность слоистой СТО-структуры.

Для измерения твердости поверхности модифицированного титана применялся метод измерения твердости вдавливанием алмазного конуса под нагрузкой 60 кгс по шкале HRA. Данный метод позволил оценить твердость оксидного покрытия с диффузионным слоем без воздействия на стальную основу самого изделия. Данные по твердости были сведены в графический вид зависимости твердости от температуры и времени выдержки (рис. 1, 2).

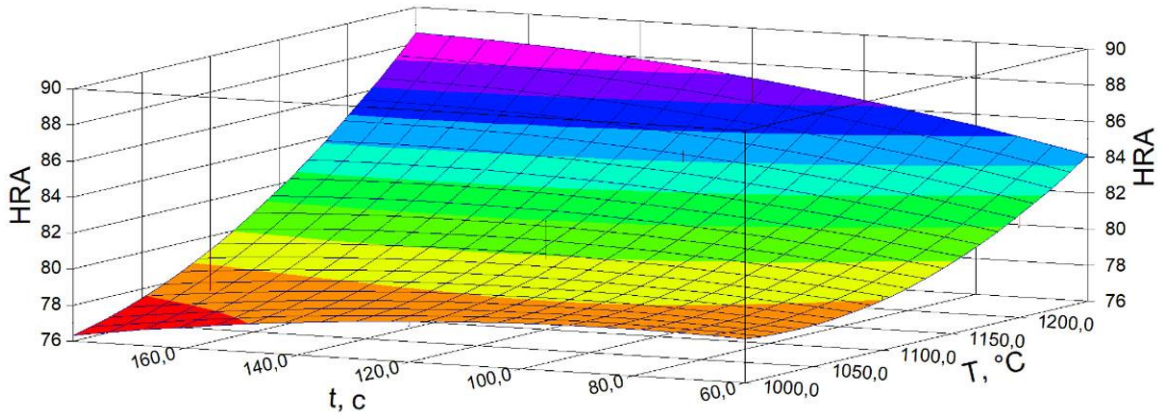


Рис. 1. Зависимость твердости HRA поверхности титан-оксидной структуры от температуры *T* и длительности *t* выдержки (ТКС проведена на режиме «м-1200-0,1»)

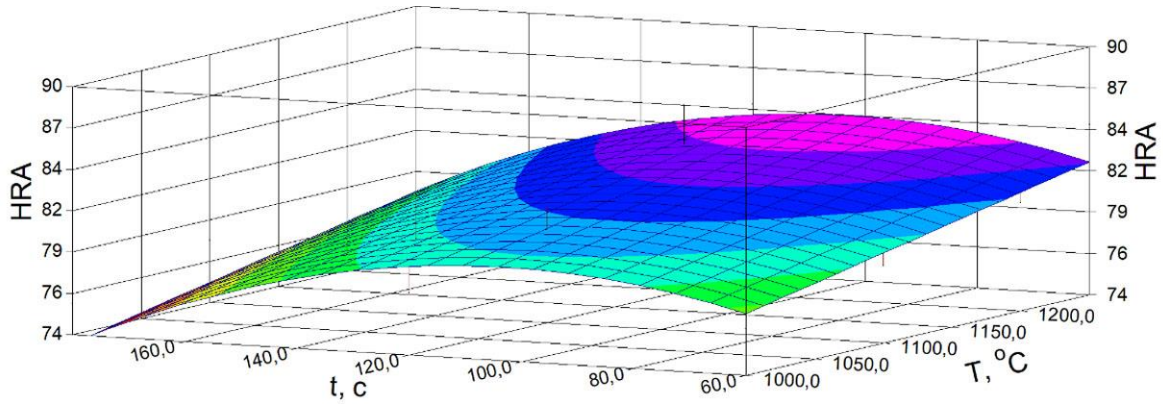


Рис. 2. Зависимость твердости HRA поверхности титан-оксидной структуры от температуры *T* и длительности *t* выдержки (ТКС проведена на режиме «п-1200-1,2»)

Применение выдержки при температуре 1000° С продолжительностью 60 с позволяет сформировать слой с твердостью около 78-79 HRA независимо от режима ТКС. Рост температуры при той же выдержке в обоих случаях обеспечивает увеличение твердости покрытия до 82-84 HRA. При дальнейшем увеличении выдержки до 120 с и при температуре 1000-1250° С формируется твердый оксидный слой с большей твердостью 80-87 HRA (соответственно температуре) в первой серии изделий и 80-85 HRA – во второй образцов. Однако дальнейшее увеличение выдержки во второй серии привело к снижению твердости ниже 75 HRA не зависимо от температуры. Данные результаты твердости связанны с возможным наличием пор в основе, которые при повышении температуры выдержки привели к образованию пустот в соединении титана со сталью. В случае первой серии изделий предварительная контактная сварка не оказывает существенного влияния на СТО-систему в связи с линейным ростом твердости при повышении температуры выдержки и выдержки. Хотя применение выдержки при температуре 1000 ± 2 %° С не обеспечивает линейной зависимости твердости от выдержки.

Полученная износостойкая СТО-структура, показавшая наилучший результат в твердости более 88 HRA изучена на фазово-структурное состояния процентный состав которого отображен в таблице 1. Процесс РФА осуществляли на границе соединения «сталь-титан» после ТКС, проведенной на режиме модулированного импульса при сварочном токе $I_{св}$ = 1200 А, и длительности импульса $\tau_{св}$ = 0,1 с (рис. 3, а), на поверх-

ности СТО-структуры самого покрытия (рис. 3, б), на глубине 0,25 мм от поверхности покрытия (рис. 3, в) и на границе раздела металлов (рис. 3, г) после термообработки ТВЧ при температуре T = 1250° С и выдержки 180 с.

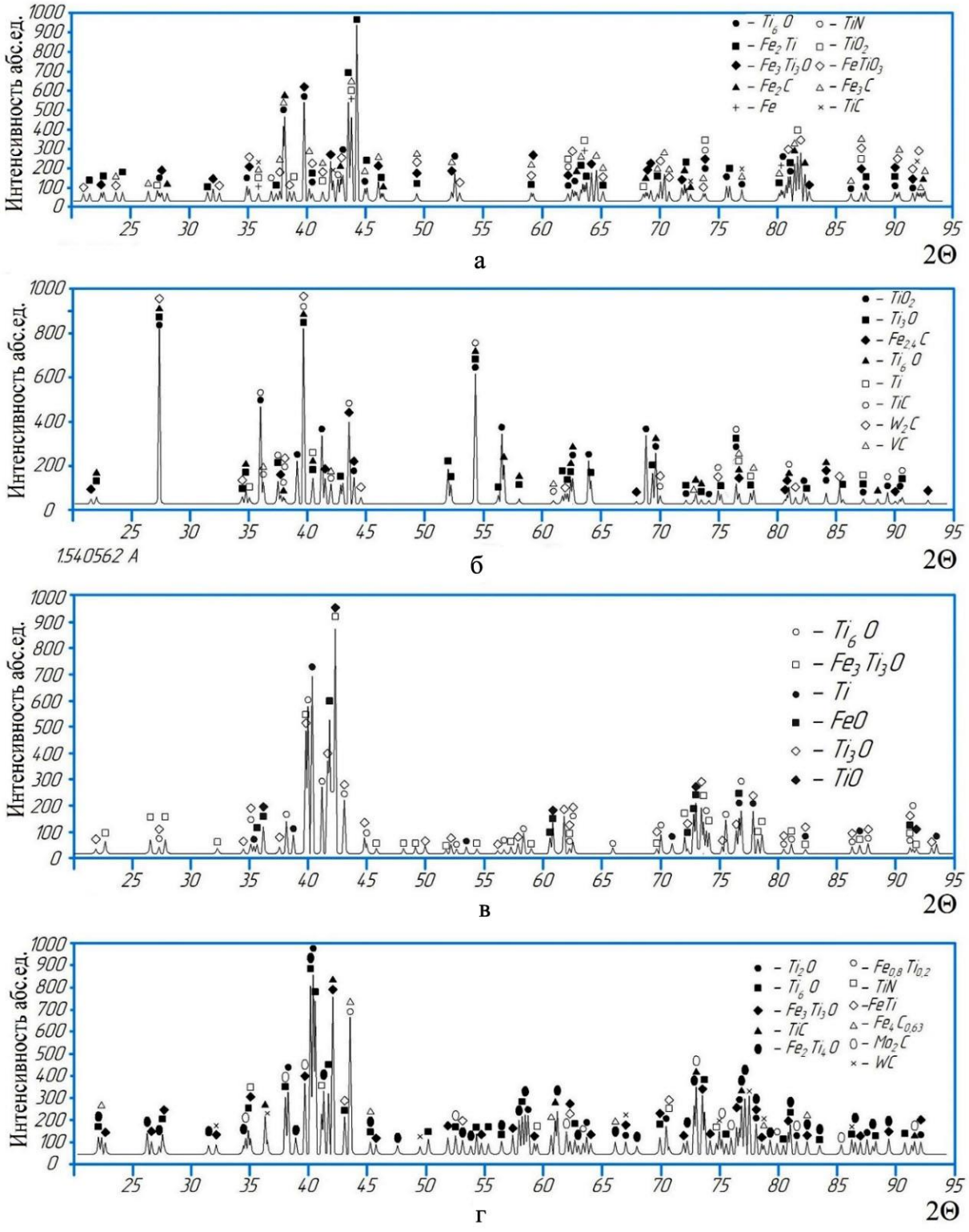


Рис. 3. Дифрактограмма СТО-структуры на границе раздела после ТКС (*а*), на поверхности титана после термообработки ТВЧ (*б*), на глубине 250 мкм титанового покрытия модификации (*в*) и на границе раздела материалов, подвергнутых модификации (*г*)

Таблица 1

Содержание фаз в СТО-структуре образца «1-1250-180»

Анализируемая область	Химическое соединение, фаза	Содержание, вес.%
Граница раздела «титан-сталь» после ТКС	Ti_6O, низший оксид	33,8
	Fe_2Ti, интерметаллид	30,4
	Fe_3Ti_3O, сложный оксид	10,5
	Fe_2C, мартенсит	7,3
	α-Fe, феррит	6,1
	TiN, осборнит	3,7
	TiO_2, рутил	3,4
	$FeTiO_3$, ильменит	2,3
	Fe_3C, цементит	1,2
	TiC, карбид титана	1,3
Титановая поверхность сталь-титановой сборки после термообработки ТВЧ	TiO_2, рутил	42,3
	Ti_3O, низший оксид	23,5
	TiC, карбид титана	10,2
	$Fe_{2,4}C$, мартенсит	8,3
	Ti_6O, низший оксид	7
	α-Ti, исходная фаза	5,2
	W_2C, карбид вольфрама	2,8
	VC, карбид ванадия	0,7
На глубине в 250 мкм от поверхности титана сталь-титановой сборки после термообработки ТВЧ	Ti_6O, низший оксид	29,2
	Fe_3Ti_3O, сложный оксид	26,4
	α-Ti, исходный титан	16,1
	FeO, вюстит	13,0
	Ti_3O, низший оксид	10,7
	TiO, оксид титана (II)	4,6
Граница раздела «титан-сталь» после термообработки ТВЧ	Ti_2O, рутил	27,9
	Ti_6O, низший оксид	17
	Fe_3Ti_3O, сложный оксид	13,4
	$Fe_{0,8}Ti_{0,2}$, эвтектика α-Fe	11,6
	TiC, карбид титана	10,7
	Fe_2Ti_4O, сложный оксид	9,7
	TiN, осборнит	4,5
	FeTi, твердый раствор β-Ti(Fe)	2
	$Fe_4C_{0,63}$, мартенсит	1,4
	Mo_2C, карбид димолибдена	1,2
	WC, карбид вольфрама	0,6

В процессе образования неразъёмного соединения на границе сплавления образовались различные фазы, представленные интерметаллидом Fe_2Ti (30,4 %) температура образования которого 1427° С, оксиды изоморфные карбиду быстрорежущей стали Fe_3Ti_3O (10,5 %) и наибольшую часть составили низшие оксиды α-титана Ti_6O (33,8 %) в виду плотного соприкосновения металлов перед сваркой, что снизило доступ кислорода в зону сплавления и предотвращение образования рутила (рис. 3,46, а). Из-за технологических особенностей часть зоны сплавления сконцентрирована на одной из граней, где есть доступ кислороду ввиду, чего наблюдается небольшой процента содержания фазы рутила TiO_2 (3,4 %). Обнаружены также карбиды железа титана и вольфрама. Наличие различных оксидов и интерметаллидов объясняет резкое повышение твердости в зоне сварки в виду высоких напряжений между фазами и разнородными металлами.

Изучение поверхности титанового покрытия после термообработки ТВЧ показало, что данная модификация привела к образованию на его поверхности в основном рутила TiO_2 (42,2 %) (рис. 3, б).

В составе также присутствуют низшие оксиды титана Ti_3O (23,5 %), Ti_6O (7 %) и остаточное количество исходной фазы α-Ti (5,2 %). В процессе высокотемпературной обработки титан активно взаимодействует с углеродом, диффузионно-переходящем из стали, о чем свидетельствует наличие его карбидов и карбидов железа, характерные области которых присутствовали на поверхности титана после обработки. Карбид железа $Fe_{2,4}C$ нестехиометрического состава выражен в виде фазы мартенсита, согласно чему, можно судить о нагреве до закалочной температуры для стали Р6М5 1250 ± 10° С. На торцевых частях также наблюдаются различные карбиды W_2C и VC, характерные для быстрорежущих сталей.

Титановый слой на глубине 250 мкм характеризуется в большей части наличием низших оксидов Ti_6O (29,2 %), Ti_3O (10,7 %), оксидом Fe_3Ti_3O (26,4 %), α-Ti (16,1 %) и вюститом FeO (12 %), для образования которого необходима температура свыше 960° С (рис. 3,46, в).

Данная область, согласно полученным результатам РФА, является переходной между сверхтвердым слоем рутила и высокотвердой интерметаллидной зоной сплавления. За счет наличия низших оксидов, характеризующихся более высокой плотностью и низкой «рыхлостью» по сравнению с рутилом, и малого количества оксида титана TiO (4,6 %) в глубине приваренное покрытие обладает высокой твердостью и прочностью. Это позволяет данной области покрытия работать в роли переходной подложки между диффузионной и интерметаллидной областями.

Фазовый состав границы раздела металлов после термообработки ТВЧ также претерпел существенные изменения, в виду которых произошло образование рутила TiO_2 (27,9 %) (рис. 3, г). Насыщение кислородом окраиной части ядра сплавления и ограничение его доступа в центральную часть привело к сохранению большого количества низшего оксида Ti_6O (17 %) (рис. 3, г). Данная зона, как и все остальные, содержит изоморфный оксид к карбиду быстрорежущей стали Fe_3Ti_3O (13,4 %), карбиды титана, молибдена и вольфрама. Карбид железа выражен в виде мартенситной фазы. Процесс модификации наблюдалось снижение напряжений за счет уменьшения содержания интерметаллидной фазы Fe_2Ti (с 30,4 % до 2 %) и образованию нестехиометрических интерметаллидов $Fe_{0,8}Ti_{0,2}$ (11,6 %), для которых характерна температура образования свыше 1280° С.

Вывод

Анализ полученных результатов твердости показал, что применение ТКС с модулированным импульсом при токе 1200 А и времени 0,1 с обеспечивает образование стабильной системы «сталь-титан», при которой идет рост твердости в зависимости от повышения технологических режимов термообработки ТВЧ.

В свою очередь термообработка ТВЧ при температуре 1000-1100° С не обеспечивает высокой твёрдости поверхности покрытия в отличии от применения более высокой температуры. Так как конечной целью работы является получения системы с наибольшей твердостью.

Из полученных результатов РФА было определено, что слоистая система покрытия из титана на стальной основе состоит из рутила Ti2O, низших оксидов Ti6O в центре слоя титана, а на границе сплавления стали с титаном из рутила TiO2, низшего оксида Ti_6O и интерметаллида $Fe_{0,8}Ti_{0,2}$. Полученный состав обеспечивает полученной системе сочетание высокой твердости.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Трыков Ю.П. Научные основы проектирования и изготовления нового класса конструкционных материалов – слоистых интерметаллидных композитов / Ю.П. Трыков, В.Г. Шморгун, Л.М. Гуревич // Конструкции из композиционных материалов. – 2006. – № 4. – С. 132-134.

2. Explosive welding of titanium with stainless steel using bronze – Tantalum as Interlayer / Iu. N. Maliutina [et. al.] // The 9th International Forum on Strategic Technology. – 2014. – Vol. 978-1. – P. 436-439.

3. Investigation of tensile and high cycle fatigue failure behavior on a TIG welded titanium alloy / D. Ren [et. al.] // Intermetallics. – 2021. – Vol. 132. – P. 107-115.

4. Влияние состава атмосферы на образование соединения титана со сталью при сварке взрывом / О.Л. Первухина [и др.] // Известия ВолгГТУ. – 2006. – № 9. – С. 51-54.

5. Basinski Z.S. The lattice expansion of iron / Z.S. Basinski, W. Hume-Rothery, A.L. Sutton // Proceedings of the Royal Society London A. – 1955. – Vol. 229. – № 1179. – P. 459-467.

6. Egorov I. Influence of induction treatment on the steel-titanium layered structure to obtain a highly hard working titanium-oxide surface / I. Egorov, A. Fomin, A. Shelkunov // Proc. of SPIE. – 2021. – Vol. 11845. – P. 118451E.

7. Петренко В.Р. Сварка титана со сталью: Монография / В.Р. Петренко, Л.С. Киреев, В.В. Пешков. – Воронеж: ВГТУ, 2004. – 173 с.

8. Семеноженков М.В. Возникновение дефектов при сварке титановых конструкций в зависимости от геометрических параметров соединяемых элементов / М.В. Семеноженков, К.Ю. Заводских // Сварка и родственные технологии в машиностроении и электронике. – 2017. – С. 4-11.

9. Формирование структуры в многослойных соединениях титана со сталями с различным содержанием углерода после высокотемпературных нагревов / В.Г. Шморгун [и др.] // Известия ВолгГТУ. – 2009. – № 11. – С. 23-26.

10. Фомин А.А. Оборудование и технология индукционно-термической обработки малогабаритных металлических изделий с биосовместимыми покрытиями / А.А. Фомин, А.Б. Штейнгауер, В.Н. Лясников // Вестник СГТУ. – 2011. – № 2. – № 56. – С. 186-192.

11. Влияние процесса окисления и модификации поверхности при обработке токами высокой частоты на кинетику нагрева титана / А.А. Фомин [и др.] // Вопросы электротехнологии. – 2017. – № 1. – С. 73-82.

12. Горбунов А.С. Влияние частоты тока при индукционном нагреве внешних цилиндрических поверхностей на эффективность процесса нагрева / А.С. Горбунов // Научно-практические исследования. – 2020. – № 1-2 (24). – С. 30-32.

13. Influence of vanadium filler on the properties of titanium and steel TIG welded joints / Q. Chu [et. al.] // J. Mater. Process. Tech. – 2017. – Vol. 1. – № 240. – P. 293-304.

14. Нанокристаллическая структура поверхностного слоя технически чистого титана, подвергнутого индукционно-термическому оксидированию / А.А. Фомин [и др.] // Письма в ЖТФ. – 2013 – Т. 39. – № 21. – С. 70-75.

15. Пат. 2623979 Российская Федерация, МПК7 С 22 F 1/18. Способ химико-термической индукционной обработки малогабаритных изделий из альфа-титановых сплавов / Фомин А.А., Штейнгауер А.Б., Фомина М.А., Родионов И.В., Кошуро В.А. заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (СГТУ имени Гагарина Ю.А.). – № 2015142859; заявл. 08.10.15; опубл. 29.06.17, Бюл. № 19. – 7 с.

ВНЕДРЕНИЕ ОСТРОВКОВЫХ СТРУКТУР В ДАТЧИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Щербак Е.С.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Сидорова С.В.

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

Аннотация. *В данной статье рассматривается СТМР-датчик магнитного поля. Описан принцип работы таких датчиков, указана функция островковых тонких плёнок. Приведена схема чувствительного элемента СТМР-датчика и зависимость сопротивления от магнитной индукции. Представлены результаты обработки сканов островковых тонких пленок кобальта в специализированном программном обеспечении.*

Ключевые слова: *СТМР-датчик магнитного поля, островковые тонкие плёнки*

Введение. Датчики магнитного поля широко применяются в различных областях: в энергетической, химической, фармакологической промышленности, в повседневной жизни [1]. Одним из видов магнитных датчиков является СТМР-датчик, функционирующий на основе магнетосопротивления – эффекта туннелирования электронов через нанометровый слой диэлектрика либо полупроводника из одной тонкой плёнки ферромагнетика в другой. Если магнитное поле в обоих ферромагнитных слоях сонаправлено, то электроны, спин которых направлен по вектору магнитного поля, легко туннелируют – сопротивление структуры электрическому току оказывается низким. Если магнитное поле в этих слоях противонаправлено, туннельный переход затрудняется, так как в одном из слоёв электрон будет двигаться против направления магнитного поля. Вследствие этого сопротивление датчика возрастает на 20...40 % [2].

Интерес представляют датчики, чувствительный элемент которых состоит из ОТП (островковых тонких плёнок) кобальта. Преимуществом островковых слоёв является использование не только классической проводимости, когда электрон ведёт себя как свободная частица, но и прыжковой – туннелирования электронов между островками тонкой плёнки. Внедрение кобальтовых островковых структур позволит увеличить чувствительность и снизить энергопотребление СТМР-датчика (рис. 1) за счёт магнитных свойств кобальта (высокая коэрцитивная и сила и насыщение).

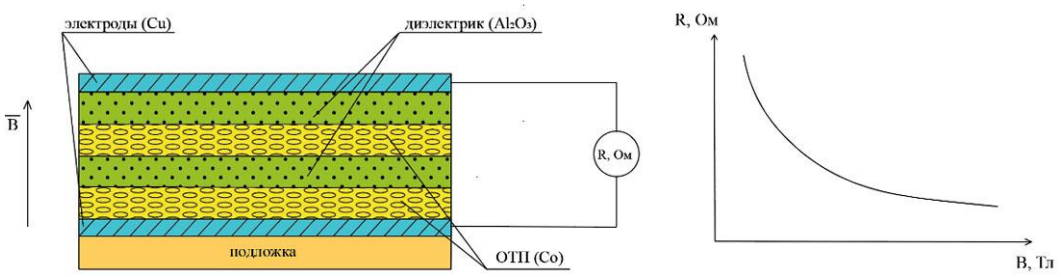


Рис. 1. Схема (а) и характеристическая зависимость (б) сопротивления от магнитной индукции чувствительного элемента датчика на ОТП

Целью данной работы является отработка режимов получения островкового слоя кобальта для внедрения в качестве чувствительного элемента в СТМР-датчик.

Постановка и проведение эксперимента. В качестве технологического оборудования использовали модульную технологическую установку МВТУ-11-1МС для получения многослойных и многокомпонентных наноструктурированных покрытий в вакууме. В ней реализованы методы магнетронного распыления, термического испарения материалов и ионной обработки, позволяющие формировать функциональные слои на подложке в одном вакуумном цикле [3].

Для контроля туннельного тока, протекающего между медными электродами через плёнку кобальта, использовался пикоамперметр Keithley. Нанесение плёнки проводилось на собранном стенде (рис. 2) методом термического испарения, что позволило контролировать туннельный ток плёнки в процессе осаждения.

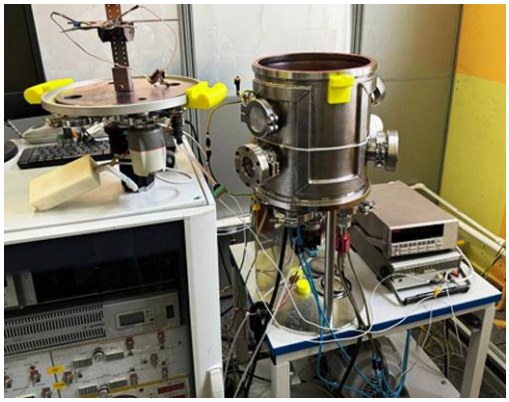


Рис. 2. Стенд контроля начала роста ОТП с помощью
пикоамперметра KEITHLEY 6485 на базе МВТУ11-1МС

Для отработки режимов получения островкового тонкого слоя кобальта были проведены эксперименты по измерению туннельного тока в процессе формирования покрытия из кобальта на установке МВТУ-11-1МС методом термического испарения. Измерение тока проводилось в процессе нанесения плёнки путём подключения медных электродов подложки, на которую наносится плёнка, в электрическую цепь пикоамперметра.

По полученным графикам туннельного тока выделены три промежутка, характеризующие разные механизмы формирования покрытия. В интервале времени от 0 до 1 с ток имеет малые значения до 10^{-9} А, частицы кобальта при конденсации на поверхности подложки мигрируют или реиспаряются, наблюдаются большие расстояния между адатомами кобальта. В интервале времени от 1,0 до 3,5 с наблюдается процесс формирования ОТП с неравномерным увеличением величины туннельного тока от 10^{-9} до $8{,}6 \cdot 10^{-9}$ А. Происходит активная коалесценция (слияние отдельных частиц кобальта в островки), размеры островков интенсивно увеличиваются. В интервале времени от 3,5 с и более в результате неоднократных этапов коалесценции сами островки растут в размере, при этом расстояния между островками заполняются новыми адатомами, значение тока не сильно колеблется и находится в диапазоне $(8{,}6\ldots8{,}9) \cdot 10^{-9}$ А. Затем образуется сплошная плёнка.

Для получения ОТП кобальта выбрано время нанесения 3 с, попадающее в зону активного роста островков. Таким образом, можно будет наносить плёнки при фиксированном времени, варьируя при этом значение тока на термическом испарителе. При времени нанесения t = 3 с и расстоянии от образца то термического испарителя 100 мм было проведено 3 эксперимента по нанесению плёнки кобальта при следующих значениях тока на испарителе 8,7, 9,1 и 9,3 А. Полученные образцы исследованы на сканирующем электронном микроскопе.

Обработка результатов экспериментальных исследований. Сканы структур, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа, были обработаны для оценки расстояния между соседними островками (рис. 3).

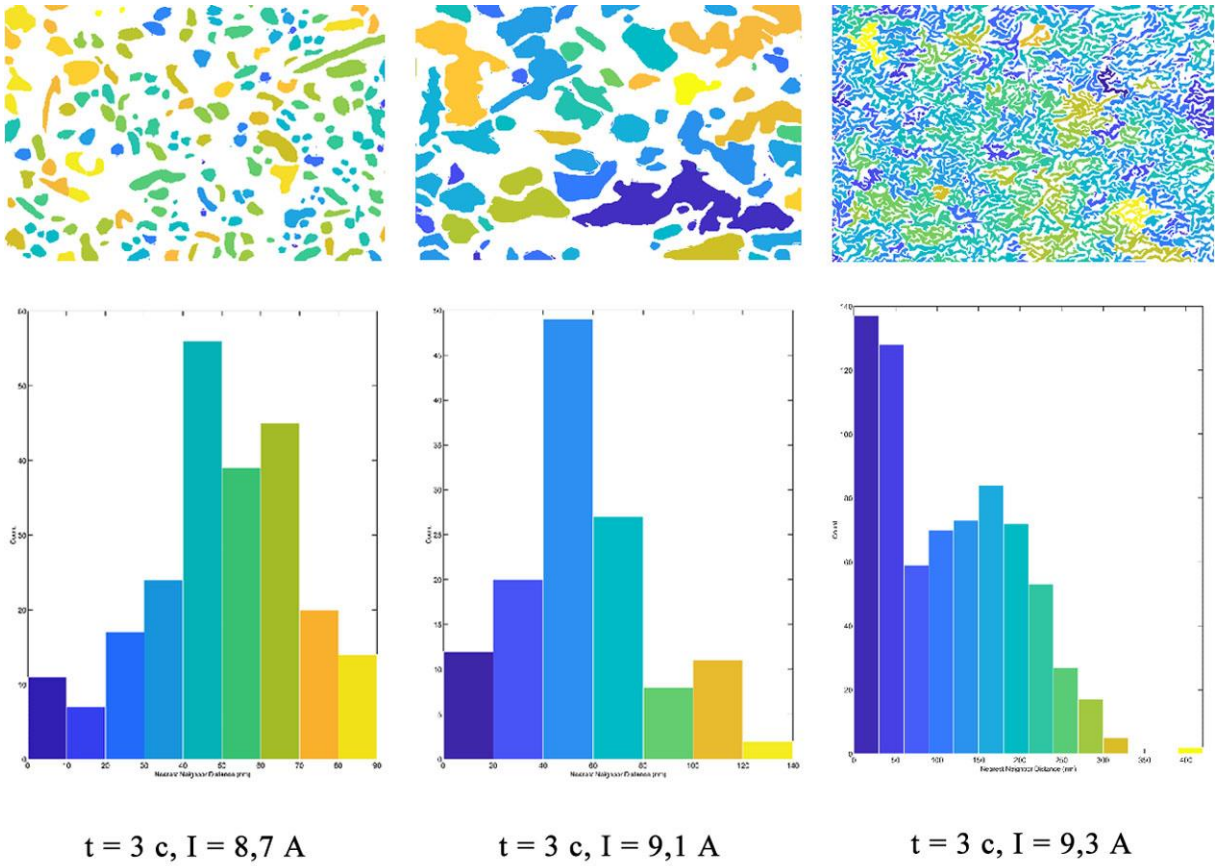


Рис. 3. Результаты моделирования для различных режимов формирования ОТП

Расстояние между островковыми структурами важно для оценки туннельной проводимости, за счёт внедрения которой планируется повышение производительности датчика. В результате были получены гистограммы расстояния между островками, по которым можно оценить наиболее часто встречающиеся расстояния для каждого образца.

Обработка результатов экспериментов в программе MIPAR позволила оценить расстояние между соседними островками: для островковой тонкой плёнки (ОТП) колеблется до 50 нм, для плотной ОТП – до 40 нм, для лабиринтной тонкой плёнки (ЛТП) – до 30 нм.

Заключение. В процессе выполнения работы было освоено оборудование для нанесения тонких островковых плёнок кобальта термическим испарением и контроля их свойств: вакуумная установка МВТУ11-1МС, пикоамперметр. Проведена отработка режимов формирования островкового слоя кобальта, в результате которой выявлено, что формировать ОТП регулярной структуры можно из данных режимов: t = 3 с, h = 100 мм, I = 8,7…9,3 А. Обработка результатов экспериментов в программе позволила оценить расстояние между соседними островками: для ОТП колеблется до 50 нм, для плотной ОТП – до 40 нм, для ЛТП – до 30 нм.

В дальнейшей работе планируется проведение экспериментальных исследований и построение математической зависимости геометрических параметров островковой пленки от дополнительных режимов ее формирования, а также получение и тести-

рование экспериментального образца магнитного датчика с начальным количеством островковых слоев.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ходанова Д.А. Датчики магнитного поля // Электронное научно-практическое периодическое издание «Экономика и социум». 2019. № 12 (67). С. 1127-1131.

2. Физические основы микро- и наноэлектроники / В.В. Андреев, В.П. Жалнин, А.А. Столяров. – Москва: Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2023. – 292 с.

3. Нестеров С.А. Десять лучших инновационных продуктов выставки Vacuum Techexpo 2016 // Наноиндустрия. 2016. № 3. С. 36-52.

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА СЛУХОВОГО АППАРАТА

Юрьев В.Ю.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Пичхидзе С.Я.

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

Аннотация. *В работе построена математическая модель корпуса слухового аппарата, изготовленного из пластика марки ABS, определены прочностные характеристики конструкции.*

Потеря слуха является насущной проблемой, которая требует особого внимания. Так, по статистике ВОЗ на данный момент более 5 % населения мира, для 430 млн. человек требуется реабилитация в связи с нарушениями слуха. По оценкам, к 2050 г. данные цифры могут вырасти до 10 % или 700 млн. человек. От тугоухости той или иной степени на данный момент страдает около 30 % населения земли. Группа риска достаточно широка. Страдают работники буровых установок, заводских цехов, музыканты, руководящие работники и др. [1].

Слуховой аппарат представляет медицинское устройство для индивидуального пользования, что помогает людям с нарушением слуха. Современные слуховые аппараты являются электронными звукоусиливающими устройствами, которые состоят из нескольких частей: микрофона, который улавливает звуки и преобразует их в электрические сигналы; усилителя, который усиливает звуковые сигналы; динамика (в слуховых аппаратах он называется телефоном), который преобразовывает электрические сигналы обратно в звуки; ушного вкладыша (только в заушных слуховых аппаратах), что удерживает аппарат в ушном канале, через который звуки проводятся к барабанной перепонке; соединительной пластиковой трубки, которая проводит звук из слухового аппарата в ушной вкладыш (только заушные слуховые аппараты) [2, 3].

Цель работы: разработка математической модели и анализ конструкции корпуса слухового аппарата при различных статических нагрузках.

Была разработана 3D-модель конструкции корпуса заушного слухового аппарата, изготовленного из пластика ABS, включающая в себя две половинки корпуса рис. 1, 2. По построенной 3D-модели оценены параметры деформации изделия, рис. 3, 4.

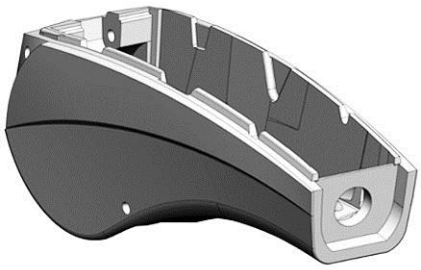


Рис. 1. Нижняя часть корпуса слухового аппарата

Рис. 2. Верхняя часть корпуса слухового аппарата

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	2000	Н/мм^2
Коэффициент Пуассона	0.394	Не применимо
Модуль сдвига	318.9	Н/мм^2
Массовая плотность	1020	кг/м^3
Предел прочности при растяжении	30	Н/мм^2
Предел прочности при сжатии	50	Н/мм^2
Предел текучести	52	Н/мм^2
Коэффициент теплового расширения		/K
Теплопроводность	0.2256	W/(м·K)
Удельная теплоемкость	1386	J/(кг·K)
Коэффициент демпфирования материала		Не применимо

Рис. 3. Параметры материала корпуса слухового аппарата

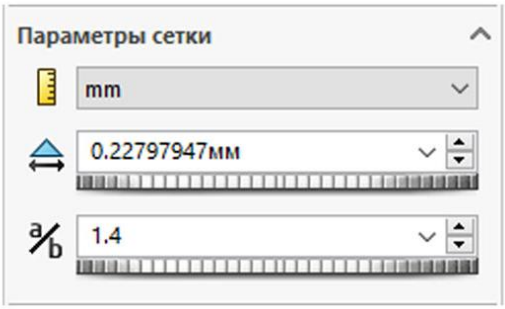
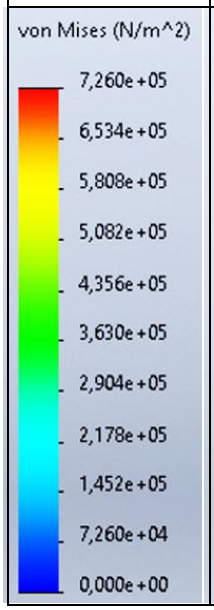
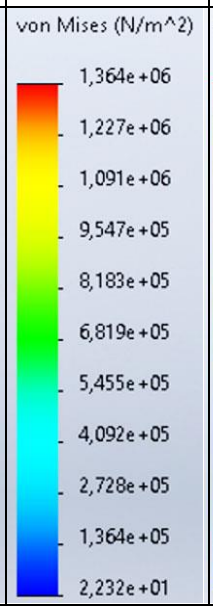
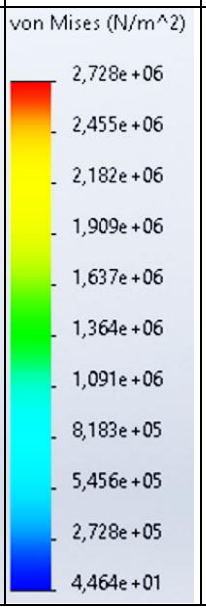
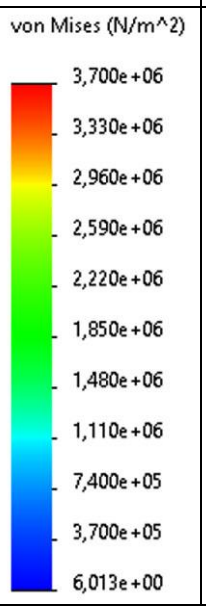
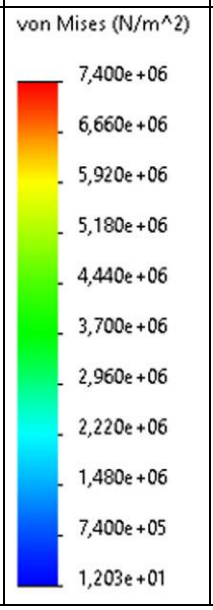
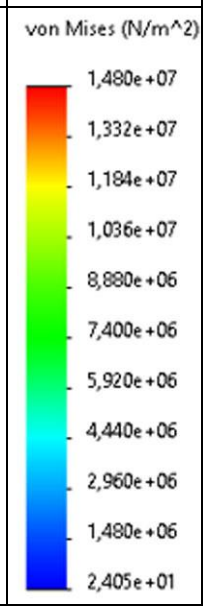


Рис. 4. Параметры сетки

Для оценки прочностных характеристик математической модели корпуса был проведён расчёт в программе SOLIDWORKS 2021. Результаты анализа приведены ниже, табл. 1.

Таблица 1

Эпюры напряжений

Нагрузка, Н					
Верхняя часть корпуса слухового аппарата			Нижняя часть корпуса слухового аппарата		
2	4	8	2	4	8
					

Для оценки работоспособности корпуса заушного слухового аппарата проведен расчёт запаса прочности модели в разработанном виде при нагрузках в 2, 6 и 8 Н для верхней и нижней частей. Запас прочности корпуса составляет примерно 4,2; 3,5 и 2,8 раз для нижней, соответственно 3,4; 2,9 и 2,4 раз для верхней части корпуса. Основываясь на результатах расчёта статических напряжений, построен график зависимости запаса прочности от приложенной нагрузки, рис. 13, 14. Проведенный расчет запаса прочности при нагрузках 2, 6 и 8 Н показал, что с повышением нагрузки запас прочности пропорционально падает с 4,2 до 2,8 раз и с 3,4 до 2,4 раз, соответственно.

Графики изменения запаса прочности при нагрузках на верхнюю и нижнюю части корпуса заушного слухового аппарата представлены на рис. 5, 6.

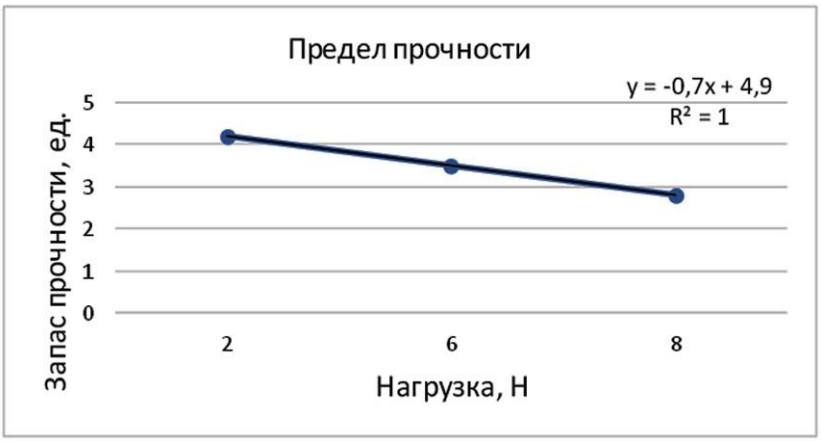


Рис. 5. График изменения запаса прочности при нагрузках на нижнюю часть

Рис. 6. График изменения запаса прочности при нагрузках на верхнюю часть

На второй стадии работы для наглядности реализована 3D-печать корпуса слухового аппарата из ABS – пластика, рис. 7.

Рис. 7. 3D-модель корпуса слухового аппарата

Выводы: проведен анализ конструкции корпуса слухового аппарата. Показано, что корпус слухового аппарата способен выдерживать необходимые нагрузки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Глухота и потеря слуха [Электронный ресурс] / Издательство: Всемирная организация здравоохранения, 2023 URL: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss.

2. Слуховые аппараты и аудиометры: Техническая Список источников / Эфрусси М.М. – М.: Энергия, 1975. – 96 с.

3. Основы аудиологии и слухопротезирования. Изд. 2 / Королева И.В. – М.: ИПЦ КАРО, 2022. – 448 с.

4. Юрьев В.Ю., Пичхидзе С.Я. Анализ конструкции корпуса слухового аппарата / Сборник трудов X Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий» (24 апреля 2024 года). − М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2024. − Т. II. – 6 с.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТУПЕНЧАТЫХ МЕДНЫХ МИШЕНЕЙ ДЛЯ ЛАЗЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Юсупова Е.Д., Пешкичева Л.Е., Пахомов С.Н., Горнов В.Н., Вихляев Д.А.

РФЯЦ-ВНИИТФ имени академ. Е.И. Забабахина, г. Снежинск

Аннотация. *Для экспериментов на мощной лазерной установке РФЯЦ-ВНИИТФ изготовлены ступенчатые медные мишени. Рельеф мишени формировался методом штамповки и химического травления. Результаты измерений параметров мишеней на оптическом профилометре подтвердили их соответствие предъявляемым требованиям.*

Ключевые слова: *уравнения состояния, скорость ударной волны, ступенчатая мишень, травление, фотолитография*

Введение

К настоящему времени накоплен большой объем экспериментальной информации об упругопластических и прочностных свойствах различных материалов в широком диапазоне давлений: от десятков килобар до сотен мегабар [1]. Эти данные являются основой для построения полуэмпирических моделей уравнений состояния (УРС) вещества, подвергаемого сильному ударному нагружению. Применение мощных лазерных установок для генерации ударных волн сделало возможным исследование состояний вещества с недоступными ранее экстремально высокими давлениями (десятки гигабар) и температурами (кэВ).

Одним из важных параметров для построения УРС является скорость ударной волны (УВ). В экспериментах на лазерных установках для её определения облучают мишени из исследуемого вещества и измеряют время (Δt) между приходом лазерного импульса на мишень и выходом УВ на тыльную сторону мишени. Общая толщина исследуемого материала не должна превышать расстояние, на котором происходит распад ударной волны. Для увеличения точности измерения скорости УВ используют сту-

пенчатые мишени [2]. Дополнительную погрешность в результаты измерений вносит высокая шероховатость поверхности мишени.

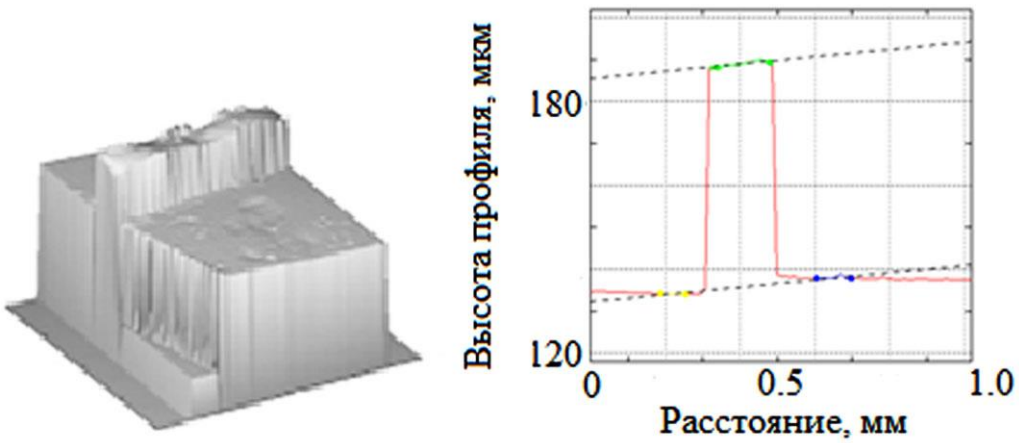
Для проведения экспериментов на мощной наносекундной лазерной установке РФЯЦ-ВНИИТФ по исследованию свойств веществ требовалось изготовить медные мишени со ступенькой шириной l = 100-500 мкм и высотой h = 50-70 мкм. Общая толщина и шероховатость мишени не должны превышать 200 мкм и 1 мкм соответственно.

Изготовление мишеней

При изготовлении мишеней использовалась медная фольга М00 толщиной 200 мкм. Металл является пластичным, ковким, химически активным, легко переводится в раствор кислотами и электролитами, поэтому из него можно изготовить ступенчатую мишень методами штамповки или химического травления.

Метод штамповки

Процесс штамповки представляет собой деформацию материала с помощью давления. На открытый штамп, изготовленный из полированных стальных брусков, расположенных друг от друга на расстоянии 200 мкм, оказывали механическое воздействие. Такая форма обеспечивала выход вытесненных излишков материала. Полученная штамповка имела скругленную поверхность ступеньки, поэтому под микроскопом МБС-2 с помощью скальпеля часть металла снималась. Для определения параметров изготовленной мишени проводилось сканирование её поверхности на оптическом профилометре бесконтактным методом, основанным на хроматической аберрации оптических линз. На рисунке 1 представлено трехмерное изображение рельефа мишени и её профиль. В результате измерений определено, что шероховатость поверхности мишени Rz = 0,9 мкм, высота и ширина ступеньки составляют 50 ± 5 мкм и 170 ± 20 мкм соответственно.



а б

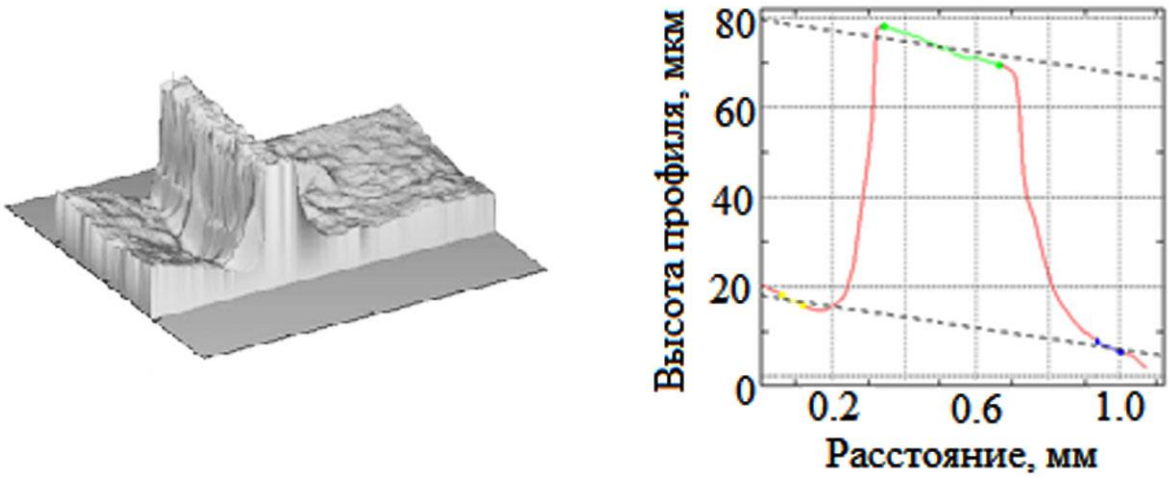
Рис. 1. Топография мишени, полученной методом штамповки:
а – 3D-изображение; б – профиль

Метод химического травления

Химическое травление является одним из эффективных методов управляемого удаления поверхностного слоя материала с заготовки под действием химических веществ. Для меди наиболее подходящим травящим раствором является хлорное железо $FeCl_3$ концентрации 30 г/л. Скорость травления установлена эмпирически и составляет ~3,3 мкм/мин. Для формирования необходимого профиля применяются защитные маски. В качестве масок обычно используются материалы, не вступающие

в химические реакции с травящими растворами. В настоящей работе маски изготавливались из полимерных пленок. Лицевая сторона мишени покрывалась фоторезистной плёнкой МПФ-ВЩ и засвечивалась через фотошаблон с помощью ультрафиолетового источника UltraV-CN (λ = 365 нм). Неэкспонированные участки удалялись с помощью 1-2 % масс. раствора кальцинированной соды. Таким образом получалась контактная маска шириной ~280 мкм. Для предотвращения нежелательного травления тыльная сторона мишени закрывалась клейкой лентой. Затем проводилось травление в течение 15 минут. После чего экспонированный фоторезист снимался раствором ацетона, и мишень очищалась.

В процессе травления шероховатость поверхности увеличилась и составила Rz = 2,9 мкм. Для улучшения качества поверхности образцы подвергались электрохимическому полированию в электролите на основе ортофосфорной кислоты и спиртов. Спирты добавлялись для предотвращения точечного травления и повышения отражательной способности металла [3]. После электрополирования значение шероховатости уменьшилось до Rz = 0,8 мкм. На рис. 2 представлено трехмерное изображение рельефа изготовленной мишени и её профиль, полученные на оптическом профилометре.



а б

Рис. 2. Топография ступеньки, полученной химическим травлением:
а) 3D-изображение; б) профиль

В результате измерений определено, что высота и ширина ступеньки составляют ~60 мкм и 300 ± 100 мкм соответственно.

Заключение

Для проведения экспериментов на мощной наносекундной лазерной установке РФЯЦ-ВНИИТФ по исследованию свойств веществ изготовлены медные ступенчатые мишени. Для этого использовались методы штамповки и химического травления. Все полученные образцы соответствовали предъявляемым требованиям. Однако метод изготовления, основанный на химическом травлении, является более предпочтительным, так как в нем минимизирован человеческий фактор и обеспечивается повторяемость параметров мишени.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аврорин Е.Н., Водолага Б.К., Симоненко В.А., Фортов В.Е. Мощные ударные волны и экстремальные состояния вещества. УФН, 1993. – т. 163, № 5, 1-34.

2. Канель Г.И., Разоренов С.В., Уткин А.В., Фортов В.Е. Ударно-волновые явления в конденсированных средах. – М.: Изд-во «Янус-К», 1996.

3. Сильченко Д., Пилипенко А. Установление особенностей анодного поведения меди в растворе фосфорной кислоты с добавлением спиртов. Восточно-Европейский журнал корпоративных технологий, 2018, № 94, стр. 35-41.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ МАЛОЙ ПЛОТНОСТИ ДЛЯ ЛАЗЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Пешкичева Л.Е., Юсупова Е.Д., Смирнов Ю.Ю., Башкин Д.И., Юрченко О.С., Кочегарова Л.П.

РФЯЦ-ВНИИТФ имени академ. Е.И. Забабахина, г. Снежинск

Аннотация. *В работе представлена технология изготовления пенных материалов, используемых в качестве составной части лазерных мишеней, применяемых для изучения закономерностей развития гидродинамических неустойчивостей. Требуемое сочетание низкой плотности, малого размера пор (100 мг/см^3, поры менее 50 μm) можно получить матричным методом с использованием кремниевых SiO_2-сфер в качестве формовочного материала.*

Ключевые слова: *гидродинамические неустойчивости, лазерная мишень, пена околокритической плотности, полиметил-пентен, матричный метод*

При изучении причин образования гидродинамических неустойчивостей, возникающих в исследованиях инерциального термоядерного синтеза, используют лазерные мишени, состоящие из разноплотных материалов [1, 2]. Перспективным материалом в качестве легкого материала показали себя пены с низкой плотностью. Являясь объектом лазерного воздействия на пикосекундной лазерной установке в РФЯЦ-ВНИИТФ, к пенному материалу предъявляют ряд требований – по элементному составу, плотности, размеру пор, а также форме и размерам. Верхний предел по плотности составляет 100 мг/см^3, целевое значение 10-55 мг/см^3. Размер пор должен составлять менее 50 мкм, целевой параметр менее 10 мкм.

Для изготовления пен был предложен матричный метод:

1) подготовка формовочного материала;

2) приготовление низко концентрированного раствора поли(3-метил-1-пентен)а;

3) смешивание полимерного раствора с формовочным материалом и удаление растворителя из полимерного раствора;

4) травление формовочного материала.

В качестве формовочного материала использовали стеклянные сферы. При структурировании полимерной матрицы микросферы, занимая объем в растворе, снижают плотность образующейся пены.

В первом случае использовали коммерческие микросферы, диаметр которых составляет 10-25 мкм. Во втором наносферы синтезировали классическим Штобер методом, который описан в работе [3].

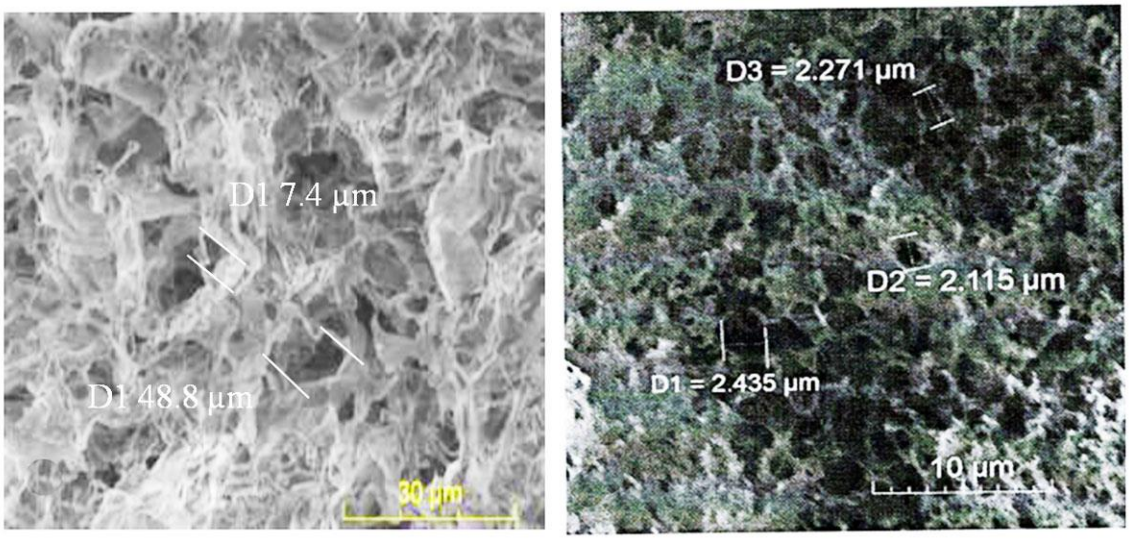
Низко концентрированный раствор простым растворением поли(3-метил-1-пентен)а в циклогексане получить затруднительно, из-за специфичности процесса рас-

творения полимеров [4]. Приготовление раствора производят путем дробного растворения полимера.

На первом этапе под многократным температурным воздействием готовят раствор от 2 до 5 %, а затем его разводят до концентрации 10 мг/см^3. Далее полимерный раствор смешивают с формовочным материалом. Чтобы в смеси не происходило осаждение сфер, массу замораживают жидким азотом. Для удаления растворителя был предложен метод вакуумной сушки.

Вакуумную сушку проводили в течение 7 часов при давлении 0,1 мбар. Поли(3-метил-1-пентен), в отличие от кремниевых сфер, устойчив к действию фтороводородной кислоты, поэтому формовочный материал удаляют травлением в кислоте в течение 7 дней. За это время кислота проникает в полимерную матрицу и вытравливает стеклянные сферы, а в пенной структуре образуются поры. Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (далее – РФЭС) убедились, что все сферы в полимерной структуре удалены: кремниевый пик в диапазоне энергий связи 100-150 исчезает. После травления образцы пены промывают дистиллированной водой в течение нескольких дней. От следов воды образцы сушили под колпаком.

Значение плотности определяли весовым методом. Размеры образцов измеряли с помощью микроскопа Olympus IX73, взвешивание проводили на аналитических весах MB 210-A с дискретностью 0,01 мг. Плотность пенных образцов, изготовленных с помощью коммерческих сфер, составляет 10-30 мг/см^3. При использовании синтезированных наносфер, плотность находится в диапазоне от 45 до 75 мг/см^3. Исследование топографии и измерения размеров пор выполнено при помощи сканирующего электронного микроскопа. Предел допускаемой относительной погрешности измерений линейных размеров ± 3 %. SEM-изображения образцов представлены на рис. 1.



а б

Рис. 1. Снимки во вторичных электронах пены из поли(3-метил-1-пентен)а, изготовленной а – с помощью коммерческих сфер, б – с помощью синтезированных сфер

Размер пор в структуре пены, изготовленной с помощью коммерческих сфер, не превышает 50 мкм по всему объему пены (рис. 1, а). Толщина структурных составляющих – «перегородок» (показаны стрелками на рисунках) не менее 0,3 мкм. Размер пор, в образце пены, изготовленной с помощью синтезированных сфер, меньше и составляет от 0,6 до 3,4 мкм (рис. 1, б). Оба образца пены представляют собой достаточно однородный материал.

Таким образом, изготовленные образцы пены подходят по требованиям для экспериментов на пикосекундной лазерной установке.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Raman K.S., Hurricane O.A., Park H.-S., Remington B.A. et al. Three-dimensional modeling and analysis of a high energy density Kelvin-Helmholtz experiment, Physics of Plasmas, T. 19, № 9. (2012) P. 092112-1(9). DOI: 10.1063/1.4752018.

2. Rigon G. Rayleingh-Taylor instability experiments on the LULI2000 laser in scaled condition for young supernova remnats / G. Region, A Casner, B. Albertazzi Th. Michel and other // Physical Review E 100, 2019 – p. 011201 (6). DOI: 10.1103/ PhysRevE 100.021201.

3. Морозов Р.С. Свойства и модификация поверхности микропористых сферических частиц TiO2 и SiO2-TiO2, полученных пероксидным способом: дис. … канд. Хим.наук. – Челябинск, 2018. – 154 с.

4. Тагер А.А. Физико-химия полимеров 4-е изд. / под ред. А.А. Аскадского. – М.: Научный мир, 2007. – 573 с.

АТОМНО–СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ – МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЕНКИ

Кошелева М.А., Ибрагимов А.Р.

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

Аннотация. *В данной работе рассматривается метод исследования структур – атомно-силовая микроскопия (АСМ). Описаны основные параметры и режимы работы АСМ. Рассмотрены основные проблемы, встречающиеся при сканировании коллоидной фотонно-кристаллической пленки из полистирола, и методы их решения. Приведены результаты индивидуального подбора параметров для областей, включающих в себя несколько типов структур, обладающих различными геометрическими и физико-химическими свойствами.*

Ключевые слова: *фотонные кристаллы (ФК), атомно-силовая микроскопия (АСМ), параметры сканирования*

Фотонные кристаллы (ФК) – это материалы, обладающие структурой, характеризующейся строго периодическим изменением коэффициента преломления в одном, двух или трех направлениях. Одним из видов фотонных кристаллов являются коллоидные фотонные кристаллы, состоящие из сферических наноразмерных частиц диэлектрического материала.

Периодичность структуры ФК приводит к возникновению в них фотонных запрещенных зон (ФЗЗ) – диапазонов частот и длин волн света, распространение которых запрещено в ФК. Это свойство позволяет использовать фотонные кристаллы при создании беспороговых лазеров, биосенсеров, метаматериалов, светодиодов и других устройств. Оптические характеристики ФК пленок напрямую зависят от геометрических, поэтому наибольший интерес представляют структуры с контролируемыми свойствами, на каждом этапе создания которых необходимо осуществлять контроль получаемых результатов.

Атомно-силовая микроскопия (АСМ) – метод исследования морфологии поверхности и ее локальных свойств с высоким пространственным разрешением. АСМ является наиболее подходящим методом исследования, так как позволяет изучать структуры независимо от их физико-химических свойств. В данной работе используется полуконтактный режим работы АСМ, так как позволяет изучать не только структуру поверхности, но и ее локальные механические свойства (рис. 1).

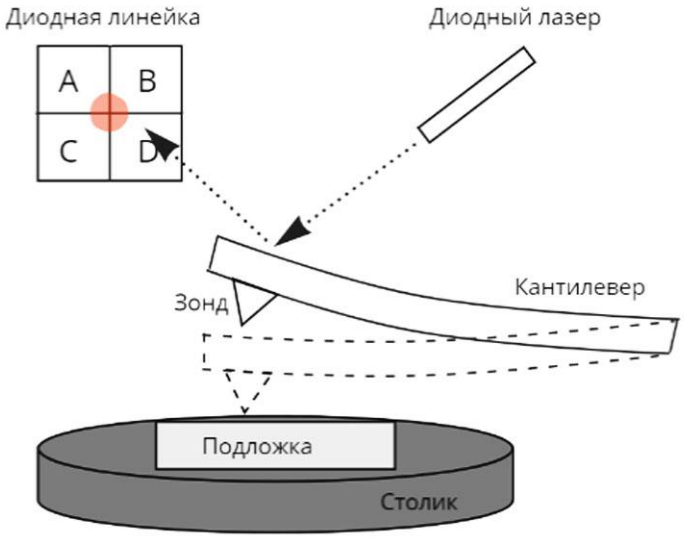


Рис. 1. Схема работы АСМ

В данной работе рассматривается коллоидная ФК пленка, полученная методом вертикального вытягивания из раствора полистирола с диаметром частиц 400 нм. Исследуемая пленка была получена при неизменных параметрах в одном технологическом процессе, однако, на макрофотографии ее поверхности наблюдаются три различных зоны: синяя, розовая, зеленая (рис. 2).

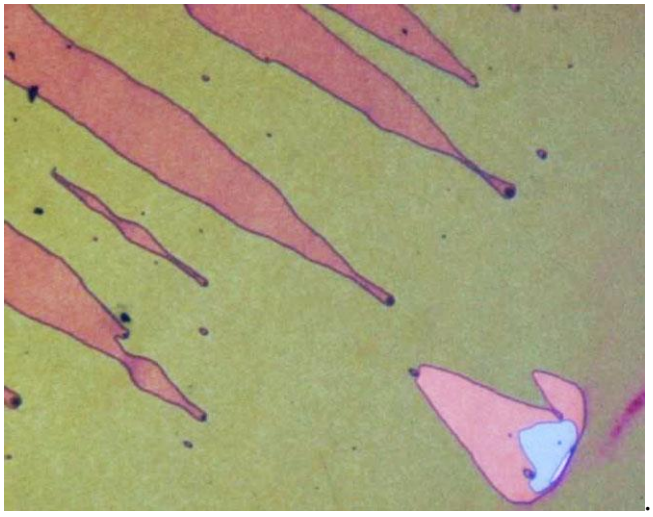


Рис. 2. Макрофотография ФК пленки

Так как каждая зона обладает особенными геометрическими характеристиками, такими как плотность упаковки частиц и их упорядоченность, получить качественные изображения при стандартных параметрах полуконтактного режима работы не пред-

ставилось возможным. Для каждой области был осуществлен индивидуальный подбор следующих параметров: расстояния от зонда до образца, амплитуды, коэффициента обратной связи и скорости сканирования. Ранее в работе [1] была исследована каждая из зон ФК пленки и выявлено, что параметры сканирования напрямую зависят от геометрических характеристик образца.

Большой интерес представляет изучение стыка между различными областями, каждая из которых ограничена контуром темного цвета. Причинами его возникновения могут являться различные дефекты, разница между толщинами зон, скопление большого количества частиц и другие особенности поверхности.

Для сканирования стыков был осуществлен подбор параметров, представленный в таблице 1, полученные изображения представлены в таблице 2.

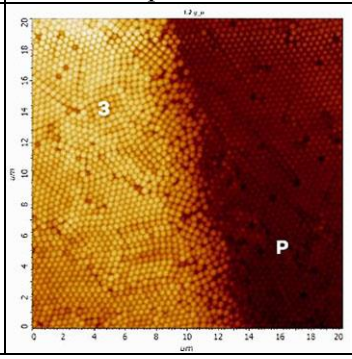
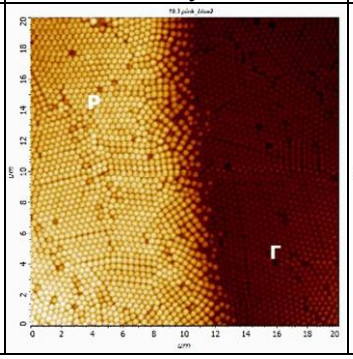
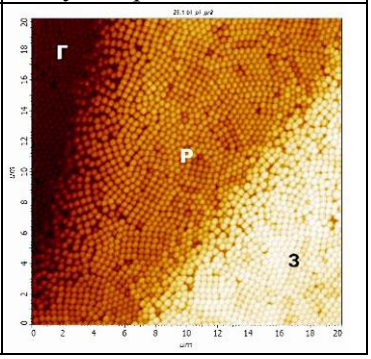
Таблица 1

Параметры сканирования

Set Point	Gain	Rate	Amp	Size	Points
20,997	0,5	0,5	0,6559	15 × 15 мкм	1024

Таблица 2

Полученные АСМ изображения

	Зеленая и розовая	Розовая и голубая	Голубая, розовая, зеленая
изображение			

Проанализировав полученные данные можно сделать следующие выводы: область зеленого цвета обладает наибольшим количеством слоев и менее упорядоченной структурой, чем другие области.

У зоны голубого цвета плотность упаковки частиц самая высокая, а толщина покрытия значительно ниже, что демонстрирует разница в цветах на полученном изображении структуры поверхности. Для каждого стыка характерна неупорядоченное расположение частиц и низкая плотность их упаковки. Таким образом, стык двух и более зон – это еще одна область, для сканирования которой необходимо осуществить индивидуальный подбор параметров.

Подобранные параметры значительно отличаются от тех, которые были подобраны для каждой из зон, сканирование стыка которых осуществляется табл. 3.

Таблица 3

Сравнение значений параметров сканирования
для зеленой области, розовой и их стыка

	зеленая	розовая	зеленая – розовая
Set Point	6,490	8,800	20,997
Amp	0,0300	0,0357	0,6559

Разные области отличаются друг от друга количеством слоев, из-за чего происходит залипание зонда, вырывание и перетаскивание отдельных частиц, что приводит к возникновению артефактов и дефектов. Для предотвращения вышеперечисленных проблем расстояние от зонда до образца необходимо увеличить на порядок, что неизменно влечет к увеличению параметра амплитуды.

Подбор параметров является сложной и важной задачей, результаты выполнения которой влияют на качество полученного изображения. Корректный подбор параметров сканирования значительно улучшит качество исследования фотонных кристаллов, а также сократит время на их изучение, что несомненно станет серьезным шагом на пути к прикладному использованию данных материалов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кошелева М.А. Исследование структурных особенностей поверхности фотонно-кристаллической пленки методом атомно-силовой микроскопии. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 22-26 апреля, 2024, Москва, МГТУ имени Н.Э.Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2024.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ЧЕРВЯЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ

Жарков Н.С., Тимофеев М.Н.[1]
Научный руководитель: Тимофеев М.Н.

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

Аннотация. *В статье рассматриваются возможности применения аддитивных технологий при производстве зубчатых передач, в частности червячных.*

Ключевые слова: *аддитивные технологии, PLA, 3D-печать, зубчатая передача, червячная передача*

Технология «трехмерной печати» появилась в конце 1980-х гг. Компания 3D-Systems разработала первую коммерческую стереолитографическую машину – SLA – Stereolithography Apparatus в 1986 г. До середины 90-х гг. она использовалась главным образом в научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности, связанной с оборонной промышленностью. Первые лазерные машины – сначала стереолитографические (SLA-машины), затем порошковые (SLS-машины), были чрезмерно дороги, выбор модельных материалов – весьма скромный. Широкое распространение цифровых технологий в области проектирования (CAD), моделирования и расчетов (CAE) и механообработки (CAM) стимулировало взрывной характер развития технологий 3Dпечати, и в настоящее время крайне сложно указать область материального производства, где в той или иной степени не использовались бы 3D-принтеры [1].

Аддитивные технологии (от английского Additive Fabrication) – обобщенное название технологий, предполагающих изготовление изделия по данным цифровой модели (или CAD-модели) методом послойного добавления (add, англ. – добавлять, отсюда и название) материала [1].

Для исследования возможности применения аддитивных технологий для создания червячных передач, необходимо определиться что это за вид передачи, ее особенности, преимущества, недостатки, а также традиционные методы изготовления.

Червячная передача – механизм для передачи вращения между перекрещивающимися валами от винта (червяка) к сопряженному с ним червячному колесу. Червяк представляет собой винт трапецеидальной или близкой к ней по форме резьбой. Червячное колесо – зубчатое колесо с зубьями особой формы, которые изготавливаются инструментом (червячной фрезой), являющимся аналогом червяка, профиль колеса получается автоматически [2].

Достоинства червячных передач:

- большой диапазон редуцирования, т. е. возможность получения большого передаточного отношения, при относительно малых размерах;
- большая кинематическая точность;
- плавность в работе;
- малошумность;
- возможность самоторможения.

Недостатки:

- из-за большого скольжения в передачах возникает большое трение, что требует применение доростоящих антифрикционных материалов;
- низкий КПД; $\eta = 0,7 \ldots 0,9$;
- небольшая долговечность;
- напряженный тепловой режим.

Учитывая низкий КПД и перегрев, применение червячных передач ограничивают мощностью до 50 кВт.

Червячное колесо изготавливается, как правило, составным из стальной или чугунной ступицы и венца. Для венцов червячного колеса применяют материалы с хорошими антифрикционными и антизадирными свойствами. Червяки в основном изготавливают из углеродистых и легированных сталей. Реже для червяков применяют чугуны СЧ18 или СЧ20; для специальных целей, например, для работы в морской воде – титановые сплавы или другие коррозионностойкие материалы.

Применение аддитивных технологий для изготовления червячных колес позволит:

- Упростить технологический процесс изготовления;
- Уменьшить вероятность брака;
- Добиться высокой точности рабочей поверхности, тем самым увеличив эксплуатационный срок;
- Увеличить физико-механические свойства изделия;
- Уменьшить экономические издержки производства.

Методика изготовления червячного колеса аддитивным методом подразумевает применение технологии печати FDM. Это наиболее распространенный способ 3D-печати полимерами, заключающийся в послойном нанесении расплавленного материала экструдером, и его дальнейшем застывании в монолитную конструкцию [3]. Применяемым материалом в нашем исследовании послужит PLA пластик.

PLA является биоразлагаемым, биосовместимым, термопластичным алифатическим полиэфиром, структурная единица которого – молочная кислота. Преимущества PLA-пластика при 3D-печати:

• Относительно низкая температура плавления;
• Высокое качество поверхности;
• Широкая цветовая палитра;
• Нетоксичность и биоразлагаемость.

Хотя использование нити PLA дает множество преимуществ по сравнению с другими вариантами, у материала все же есть несколько недостатков.

• Тенденция плавится при воздействии тепла;
• Сокращенный срок службы;
• Хрупкость изделий.

Для печати можно также использовать и другие виды пластика, но так как PLA является самым дешевым и опытный образец был изготовлен именно из него, то речь идет в основном о нем.

В качестве опытного образца был напечатана простая червячная передача, представленная на рисунке 1.

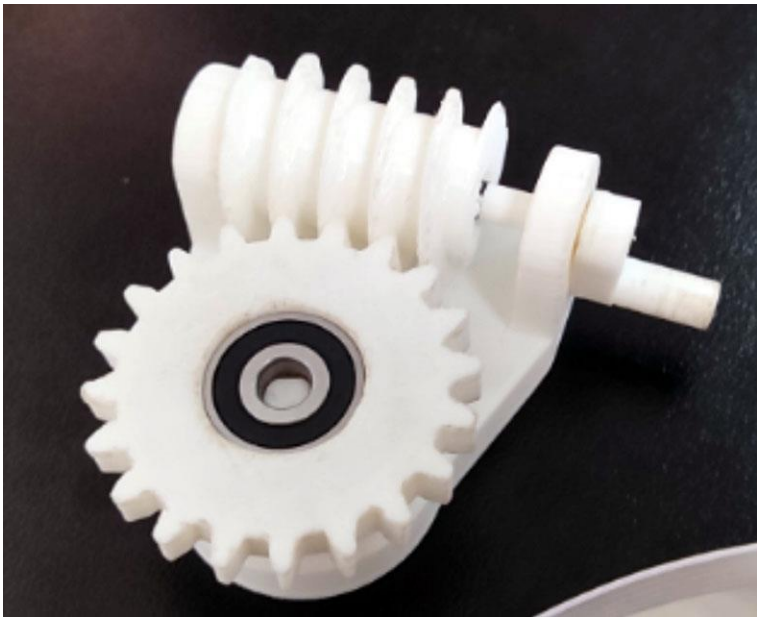


Рис. 1. Опытный образец, напечатанный на 3D-принтере

При печати использован принтер ANYCUBIC KOBRA NEO. Температура стола 60°, температура сопла 250°, плотность заполнения 10 %.

Аналогичная металлическая червячная передача была изготовлена методом традиционной механической обработки из стали 45 с пределом прочности на разрыв 600 МПа.

Для оценки и сравнения прочностных характеристик двух передач был проведен ряд испытаний на изгиб, растяжение (сжатие) и износостойкость.

Статические испытания на изгиб и растяжение (сжатие) проводились на универсальной испытательной машине МИМ.1 [4]. Оценка износостойкости методом трибологических испытаний на машине трения [5].

Анализ результатов испытаний прочностных характеристик показал, что предел прочности на изгиб металлической червячной передачи составляет 490 МПа, а предел прочности на сжатие – 620 МПа. Для напечатанного аналога данные характеристики составили 45 МПа и 58 МПа соответственно, что в 11 раз ниже. Износостойкость зубьев, напечатанных на 3D-принтере, оказалась на 15-20 % ниже металлического аналога. [6].

Заключение

Прочностные характеристики червячной передачи, полученной методом аддитивных технологий, значительно уступают металлическому аналогу, но при этом сохраняет свою работоспособность.

Для повышения качества напечатанной передачи можно предпринять следующие действия: изменять температурные режимы при печати, толщину слоя, а также скорость печати, чтобы минимизировать необходимость механической обработки после изготовления. Также можно увеличить степень заполнения изделия для повышения прочностных характеристик. Для повышения износостойкости предлагается нанесения антифрикционного покрытия на готовое изделие.

Применение аддитивных технологий для изготовления червячных передач является перспективным направлением. Несмотря на то, что при испытаниях опытный образец по прочностным характеристикам уступает металлическому аналогу, стоимость и время изготовления напечатанной передачи значительно ниже традиционных методов. Но требуется дальнейшая оптимизация технологических режимов и материалов для достижения необходимых прочностных показателей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении: учеб. пособие / М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Мутылина, – С.-Пб.: СпбПУ, 2013. – 221 с.

2. Чихаева О.А. Изучение червячных передач: учеб-методич. пособие / О.А. Чихаева, А.С. Лукьянов, Л.А. Дмитриева. – М.: МПУ, 2021. – 58 с.

3. Разработка технологического процесса изготовления червячного колеса с использованием аддитивных технологий: [Электронный ресурс] // cyberleninka.ru. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologicheskogo-protsessa-izgotovleniya-chervyachnogo-kolesa-s-ispolzovaniem-additivnyh-tehnologiy/viewer.

4. Универсальная испытательная машина МИМ.1 [Электронный ресурс] // gost-lab.com. Режим доступа: https://gost-lab.com/mim-1.

5. Машина трения: назначение и принцип работы [Электронный ресурс] // vils.ru. Режим доступа: https://vils.ru/articles/mashina-treniya/: свободный.

6. Испытания на статический изгиб [Электронный ресурс] // lnk-msk.ru. Режим доступа: https://lnk-msk.ru/statik_izgib.

ОБЗОР АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК СПОСОБА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Сизоров А.А., Тимофеев М.Н.
Научный руководитель: Тимофеев М.Н.

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

Аннотация. *В статье рассмотрен метод аддитивного производства элементов зубчатых передач на примере изготовления планетарного редуктора аддитивным способом из пластика PLA.*

Ключевые слова: *аддитивные технологии, PLA, 3D-печать, зубчатая передача*

В настоящее время большое количество устройств имеет в своей конструкции механические передачи, размер и масса которых имеют большее значение, чем их прочность. Как пример, механические передачи в беспилотных аппаратах (как правило, летательных), которые должны в первую очередь соответствовать требованиям по массе изделия. В последнее время в боевых действиях все чаще используются дроны, производство которых должно быть быстрым и дешевым. Производство зубчатых колес классическим способом подразумевает использование металлорежущих зуборезных и зубообрабатывающих станков, стоимость которых превышает несколько миллионов рублей, что кратно дороже 3D-принтера (стоимость 3D-принтеров начинается с двадцати тысяч рублей).

В настоящее время механические передачи в дронах изготавливают из легких сплавов (чаще всего – алюминиевых) или пластика, путем обработки заготовки. Использование аддитивных методов производства позволяет избежать трат материала на стружку, а также открывает возможность автоматического производства запасных частей на полевых 3D-принтерах. Материал для печати стоит относительно дешево и стандартно поставляется в виде катушек, что удобно для транспортировки с полевым принтером.

Стоит отметить, что PLA уступает алюминиевым сплавам по теплоемкости и прочностным характеристикам, но, так как детали механических передач в составе дронов не испытывают на себе больших нагрузок и высоких температур (температура дрона в полевых условиях не превышает 45-50° С), то использование полимера в качестве материала достаточно рационально [1, 2].

Стоит обозначить основные плюсы и минусы использования PLA для производства механических передач на 3D-принтере:

Плюсы:

1. Низкая стоимость материала: PLA – один из самых дешевых расходных материалов для 3D-печати, поэтому производство механических передач из него может быть более экономически выгодным.

2. Легкость и прочность: PLA обладает хорошей сцепляемостью между слоями и отличной прочностью, что делает его отличным выбором для производства механических деталей.

3. Экологический материал: PLA – биоразлагаемый пластик, который производится из натурального сырья, такого как кукуруза или сахарный тростник.

Минусы:

1. Влажность: PLA может быть склонен к поглощению влаги из окружающей среды, что может привести к деформации деталей или уменьшению прочности.

2. Низкая ударопрочность: PLA не является самым прочным пластиком среди всех доступных для 3D-печати материалов, поэтому механические детали из него могут легко ломаться при сильных нагрузках или ударам.

3. Относительно низкая стойкость к износу и истиранию: В сравнении с некоторыми другими пластиками, такими как ABS или нейлон, PLA может быстрее изнашиваться при постоянном трении и нагрузках, что может привести к необходимости частой замены или обслуживания деталей [5].

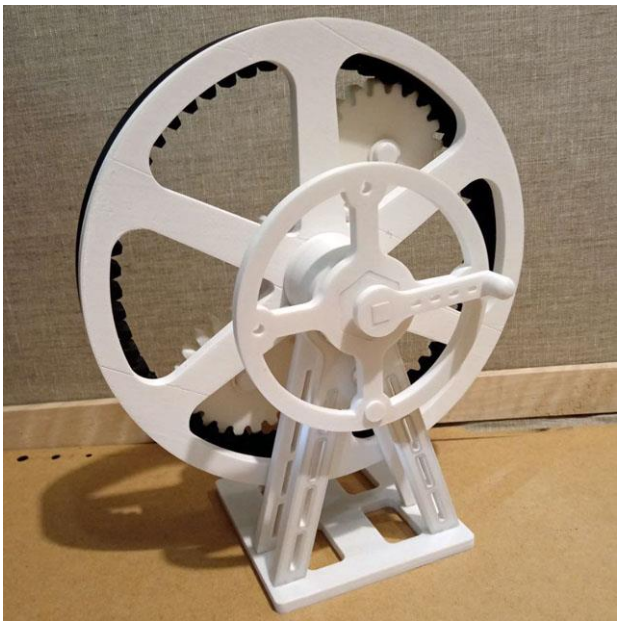
Для печати можно также использовать и другие виды пластика, но так как PLA является самым дешевым и опытный образец был изготовлен именно из него, то речь идет в основном о нем.

Планетарный редуктор – это механизм передачи, который состоит из центрального шестеренчатого колеса (солнечной шестерни), внешних зубчатых колес (планетарных колес) и внутреннего коронного колеса. Эти элементы объединены вместе в одном компакт-

ном узле и обеспечивают передачу крутящего момента с минимальными потерями. Планетарные редукторы обладают рядом преимуществ, включая высокую надежность, компактные размеры, большую передаточное отношение и минимальное трение [4]. Они являются важной частью многих механических систем, где требуется передача крутящего момента и уменьшение скорости вращения. Планетарные редукторы часто применяются в роботах и механических устройствах для точного управления движением и передачи высокого крутящего момента, а также в механизмах спутников, ракет и других космических аппаратах, где важна надежность и точность передачи [3, 6].

В качестве опытного образца был напечатан планетарный (сателлитовый) редуктор (рис. 1).

а



б

Рис. 1. Планетарный редуктор, напечатанный на 3D-принтере в качестве опытного образца (а – вид спереди, б – вид сзади)

Для изготовления деталей редуктора использован принтер ANYCUBIC KOBRA NEO. Параметры печати:

- Температура стола: 60° С
- Температура сопла экструдера: 250° С
- Плотность заполнения: 25 %

При изготовлении планетарного редуктора было выделено несколько важных моментов:

1. При печати стоит учитывать, что качество изготавливаемой детали зависит от ряда параметров, таких как настройки принтера (температура стола, экструдера и скорость движения экструдера) и параметры печати (плотность печати)

2. После печати полученные детали требуют обработки, а именно срезания поддержек, что может быть затруднительно при печати сложных маленьких деталей.

3. При недостаточности температуры стола принтера возможен отрыв деталей, особенно вертикальных, что требует остановить печать и начать ее с начала.

Износостойкость PLA является одним из недостатков этого материала. В сравнении с другими пластиками, такими как ABS или PETG, PLA более склонен к царапинам, трещинам и общему износу из-за его более хрупкой структуры, поэтому было принято решение провести испытание конструкции на эксплуатационный износ.

Предварительно был замерен диаметр оси сателлита на водиле редуктора (рис. 2) и принят равным 16,3 мм.

Рис. 2. Предварительное измерение диаметра оси водила

Далее было произведено 100 оборотов сателлитов вокруг солнечного колеса и вновь замерен диаметр оси (рис. 3). Диаметр оси стал равен ровно 16 мм. Подобное уменьшение диаметра (150 мкм на сторону) оси водила из стали 45 свойственно после более чем 1000 оборотов.

Из опыта можно сделать вывод, что износостойкость осей из PLA примерно в 10 раз ниже износостойкости деталей из стали.

Стоит отметить, что проблемы износа осей и валов можно избежать, включив в конструкцию подшипники (подшипники в конструкции образца отсутствуют), однако это не избавит от износа элементы зубчатой передачи.

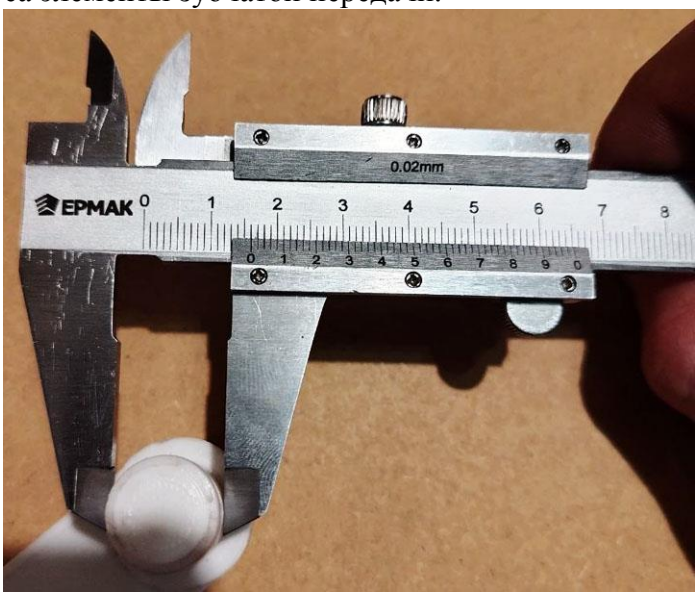


Рис. 3. Итоговое измерение диаметра оси водила

Вывод

Использование аддитивных технологий, таких как 3D-печать, для изготовления деталей беспилотников из полимеров является очень перспективным направлением. Эти технологии позволяют быстро и эффективно создавать сложные геометрические формы, а также индивидуальные детали, что особенно важно для беспилотных летательных аппаратов. Пусть опыт показал, что прочностные характеристики деталей из пластика уступают характеристикам деталей из металлов и сплавов, аддитивные технологии позволяют сократить время и стоимость производства. Таким образом, использование 3D-печати для создания деталей беспилотников из полимеров может значительно улучшить производственный процесс и повысить функциональные характеристики беспилотных систем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Производство беспилотников в РФ [Электронный ресурс] // robotrends.ru. Режим доступа: https://robotrends.ru/robopedia/proizvoditeli-bespilotnikov-rossiya: свободный (дата доступа: 20.05.2022).

2. Назначение и способы изготовления зубчатых колес [Электронный ресурс] // zuborez.ru. Режим доступа: https://www.zuborez.ru/news/naznachenie_i_sposoby_izgotovlenija_zubchatyh_koles: свободный (дата доступа: 20.05.2022).

3. Цены 3D-принтеров в интернет-каталоге магазина «Цветной мир» [Электронный ресурс] // cvetmir3d.ru. Режим доступа: https://cvetmir3d.ru/3d-printery/: свободный, (дата доступа: 20.05.2022).

4. Зубообрабатывающие станки [Электронный ресурс] // booksite.ru. Режим доступа: https://www.booksite.ru/fulltext/1: свободный, (дата доступа: 20.05.2022).

5. Механические характеристики материала аддитивных структур при разной методике определения площадей поперечных сечений образцов / А.Ю. Перелыгина, Т.Я. Дружинина, С.А. Антипин, Ю.А. Бобылева // Строительная механика и конструкции. – 2021. – № 3 (30). – С. 74-89. – DOI 10.36622/VSTU.2021.30.3.006.

6. Кузнецов Д.И. Исследование прочностных характеристик параллелепипеда, напечатанного методом FFF/FDM / Д.И. Кузнецов, М.Н. Тимофеев // Современные материалы и технологии: Сборник материалов II Международной молодежной конференции, Саратов, 19-20 мая 2021 года / под общей редакцией А.А. Фомина. – Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2021. – С. 117-120.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО РАСПЫЛЕНИЯ В ВАКУУМЕ

Бирюкова О.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Кошуро В.А.

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

Аннотация. *В работе рассмотрены различные методы формирования металлсодержащих слоев на медицинских изделиях из нержавеющих 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 от 400 В до 450 В, длительности прямоугольного импульса оставалась неизменной 2 мс, при постоянной частоте импульсов 2 Гц и изменяющейся дистанции между мишенью и подложкой (2,5 мм и 5 мм). Установлено, что в результате лазерной обработки образуются покрытия, характеризуемые средним размером частиц 31-47 мкм. Также в процессе обработки произошло значительное повешение поверхностной твердости до значений 1025* $HV_{0,98}$.

Ключевые слова: *нержавеющая хромоникелевая сталь, 12Х10НТ, вакуумное лазерное распыление, титан, макроструктура поверхности, микротвердость, лазерная обработка (ЛО)*

Развитие восстановительной медицины, в том числе персонализированной, влечет за собой необходимость создание специализированных материалов, покрытий и технологий их получения.

В медицине широко применяются различные сплавы для изготовления имплантируемых устройств, таких как ортопедические протезы, тонкостенные стенты и зубные брекеты [1].

Аустенитная нержавеющая хромоникелевая сталь марки 12Х10НТ обладает высокой коррозионной стойкостью, по сравнению с ферритными сталями, в агрессивных, что является важным аспектом биосовместимости материала. Но тем не менее, сохраняется опасность перехода ионов металла с поверхности имплантируемых устройств в окружающую биосреду [2], которые нарушают пролиферацию и дифференцировку клеток. Вследствие этого может происходить развитие воспалительных процессов и отторжения имплантата [3, 4]. С целью минимизации процессов коррозии и высвобождения ионов метал-

лов, а также повышения механических и прочностных характеристик медицинских изделий применяют нанесение упрочняющего или биосовместимого слоя из металлических и керамических материалов, например, Ti, TiN и TiO_2 [5-7].

Известны различные методы формирования титановых покрытий: газотермическое и вакуумное напыление (химическое осаждение из паровой фазы (CVD), физическое осаждение из паровой фазы (PVD) [8]. К недостаткам выше указанных методов можно отнести высокую стоимость оборудования, низкую производительность для PVD и CVD технологий, а для газотермического напыления не всегда удовлетворительную адгезию.

С развитием прогрессивных технологий в промышленности все чаще применяются методы лазерной обработки, в том числе для модификации поверхностных слоев. Например, воздействие концентрированного потока энергии на предварительно сформированные покрытия позволяет снизить объемную пористость и повысить адгезионно-когезионную прочность [9, 10]. Таким образом, в техники и производстве наблюдается тенденция к расширению применения лазерной обработки.

Известны технологии лазерной обработки (обработка в реакционной среде, наплавка и распыление в вакууме), позволяющие получать покрытия с разнообразной морфологией и структурой, и как следствие различными механическими, химическими и физическими свойствами. Так применение лазерной обработки позволяет повысить показатели прочности изделий и сформировать покрытия, при этом микротвердость покрытий зависит от энергетических параметров лазерного излучения [11].

Например, лазерная наплавка при мощности 3 кВт позволяет сформировать из порошковых материалов, содержащих преимущественно кобальт или ванадий упрочненные слои. Последующая термическая обработка проводится при 500-870° С [12]. При мощности лазерного излучения 1000-2000 Вт из порошка Fe-Cr-B-Si на поверхности аустенитной нержавеющей стали формируют слои, характеризуемые твердостью до 820 HV. Производительность процесса достигает 9 г/мин. Материал наплавляется однородным слоем, в ряде случаев наблюдается образование значительных трещин [13]. Технологии наплавки в основном широко применяются в инструментальном производстве.

Одним из методов является лазерное распыление материалов в вакууме (LPVD) [14]. Например, вакуумное лазерное напыление применяется для формирования наноструктурных слоев титана на поверхности керамики, покрытой слоем меди толщиной 350 нм. При давлении 10^{-4} Па и воздействии лазерного луча, характеризуемого энергией импульса 200 мДж и длительностью 10 нс, под углом 45° происходит испарение титановой мишени.

В результате фрактальные кластеры титана осаждаются на поверхности медного слоя. Скорость роста титанового покрытия достигает 5,7 ± 20 % нм/мин [15]. Вакуум в данном случае играет роль защитной среды. Также в качестве защитной среды применяется поток аргона, в результате формируются титановые покрытия толщиной до 80 мкм [16].

Следовательно, целью данной работы является определить возможность использования лазерного излучения для испарения мишени и формирования титансодержащих слоев на нержавеющей хромоникелевой стали, а также оценить влияние энергии импульса и дистанции напыления на механические характеристики получаемого покрытия.

Методика эксперимента

В исследованиях использовались образцы в виде пластин 25 × 25 × 3 мм из нержавеющей хромоникелевой стали марки 12Х10НТ. Перед нанесением проводилась очистка образцов от загрязнений в водном растворе этилового спирта.

Для проведения эксперимента был выбран прямой способ формирования покрытий (рис. 1). Метод заключается в непосредственном воздействии концентрированного потока лазерного излучения на материал мишени и последующем осаждении испаренных частиц материала на подложке.

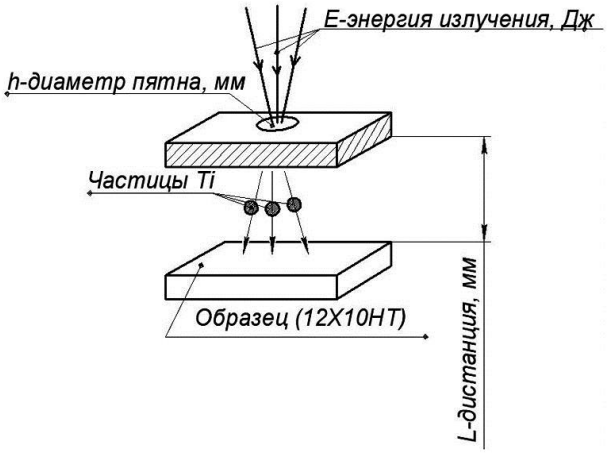


Рис. 1. Схематичное изображение прямого способа процесса формирования покрытий при воздействии лазерного излучения на материал мишени

Процесс испарения титановой мишени толщиной 0,6 мм под действием лазерного излучения проводился с использованием лабораторной вакуумной камеры (рис.2), позволяющей проводить ЛО при давлении воздушной среды 50-100 Па.

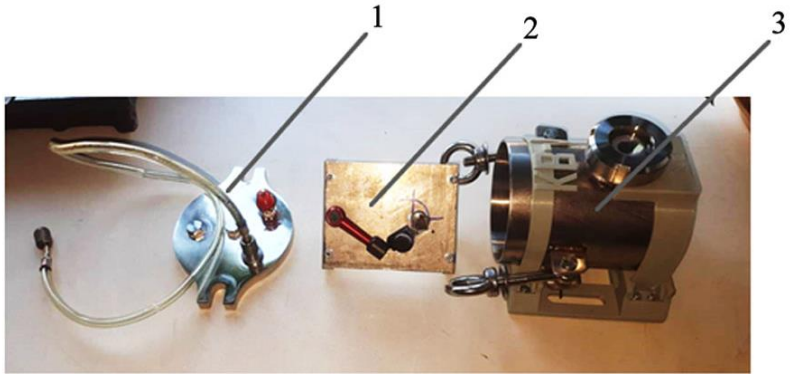


Рис. 2. Общий вид камеры: 1 – крышка камеры, 2 – столик для установки образца и мишени, 3 – камера

Процесс нанесения покрытий проводили при помощи технологической лазерной установки «LRS-50A» при различных значениях напряжения лампы накачки и соответственно энергии импульса и дистанции между мишенью и образцами согласно таблице 1. Частота (3 ГЦ), форма (прямоугольная) и длительность (2 мс) импульса оставались неизменными.

Энергия (Е, Дж) единичного импульса при различных значения напряжения лампы накачки (U, В) и длительности воздействия (τ, мс) определялась экспериментально портативным прибором для определения мощности и энергии лазерного излучения «Laserstar» от «OPHIR», Laser Measurement Group. Мощность импульса рассчитывалась с учетом длительности по формуле:

$$P_{имп} = \frac{E_{имп}}{\tau}, Вт \quad (1)$$

где: $E_{имп}$ – энергия импульса, Дж; τ – длительность импульса, с [17].

Таблица 1

Режимы ЛО

Серия образцов	Дистанция L, мм	Напряжение лампы накачки U, В	Энергия импульса, Дж	Мощность импульса $P_{имп}$, Вт
I	5	450	5,49	2745
II	2,5	450	5,49	2745
III	5	425	4,76	2380
IV	2,5	425	4,76	2380
V	2,5	400	4,04	2020

Особенности структуры поверхности покрытий, сформированных на стали лазерным напылением, исследовались с использованием микроскопа «МБС-10» и оптической системы микровтердомера «ПМТ-3». Размер структурных элементов, толщина формируемых слоев определялись с помощью анализатора изображений микроструктур «АГПМ-6М» с последующей обработкой в программе «Metallograph».

Поперечные микрошлифы изготавливались согласно известной методике [18].

Микротвердость определяли по методу микро Виккерса (ГОСТ 9450-76) с помощью микротвердомера «ПМТ-3М» при нагрузке на индентор 100 гс.

Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием программных продуктов «EXEL» и «DATAfit 9».

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, что говорит об окислении материала мишени.

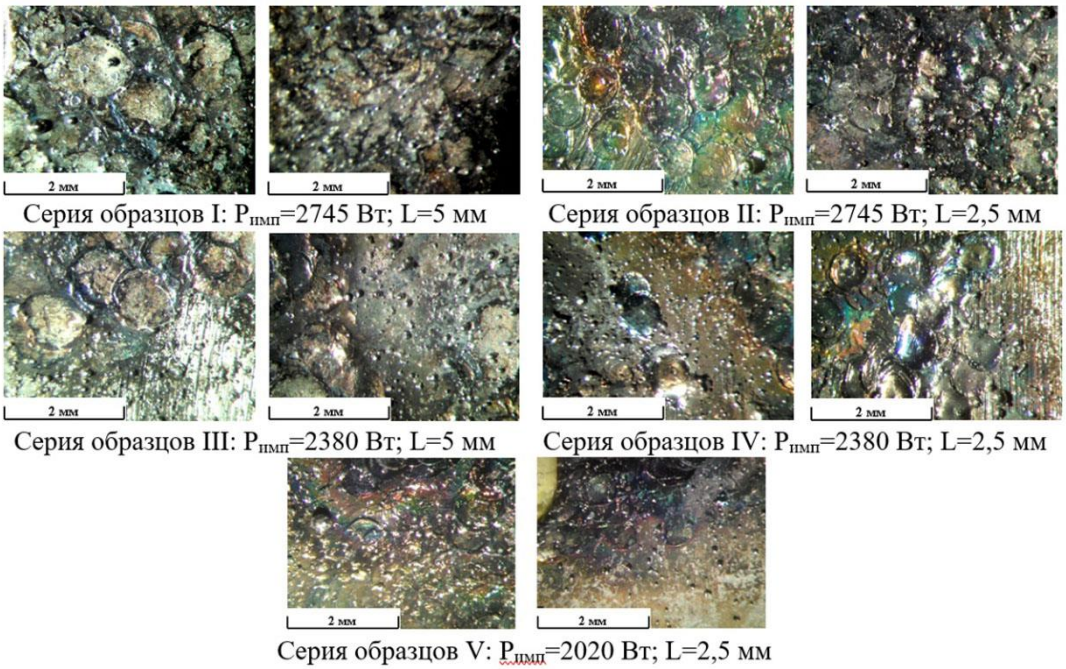


Рис. 3. Структура поверхности стальных образцов
после нанесения покрытия (МБС-10)

Покрытия формировались из сплэтов округлой формы (рис. 4) со средним линейным размером от 31 мкм до 47 мкм (табл. 2). Как видно на рисунке 4 сплеты частично наслаивались друг на друга, но в основном состоят из отдельных капель.

Таблица 2

Линейный размер частиц

Серия образцов	Дистанция L, мм	Мощность импульса $P_{имп}$, Вт	Размер частиц, мм
I	5	2745	31 ± 24
II	2,5	2745	47 ± 29
III	5	2380	41 ± 29
IV	2,5	2380	38 ± 18
V	2,5	2020	40 ± 20

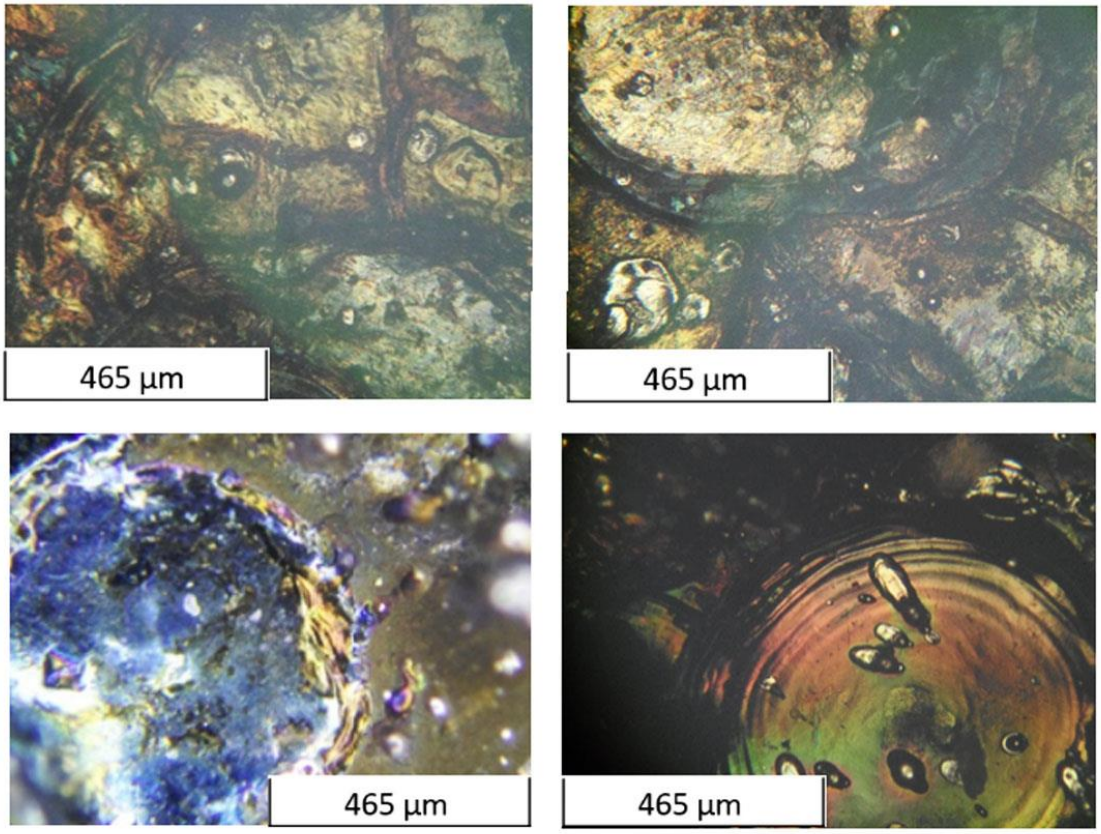
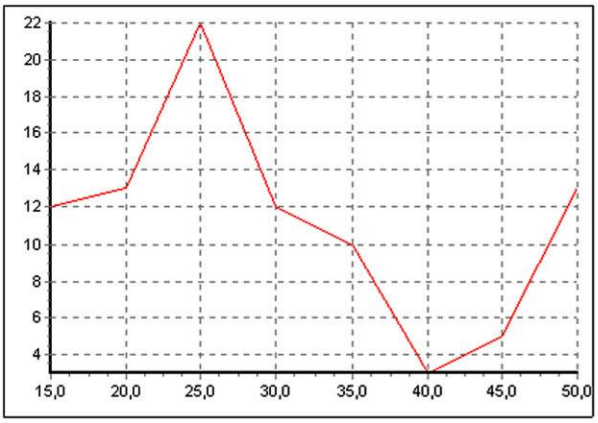


Рис. 4. Структурные элементы покрытия
(Микроструктура поверхности (миктротвердомер ПМТ-3М))

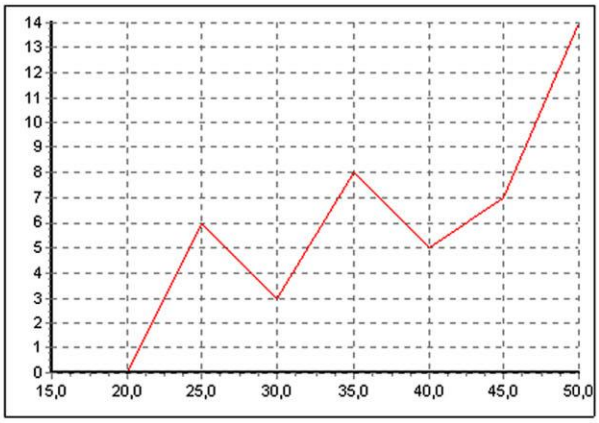
На рис. 5 приведены диаграммы распределения частиц по размеру для каждой из серий.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что распределение структурных элементов по размеру и количеству носит нормальный характер. При этом частицы имеют наибольший размер при меньшей дистанции (2,5 мм) и наибольшей мощности импульса 2745 Вт. Поэтому основными параметрами, оказывающими влияние на размер частиц, являются дистанция и мощность импульса лазерного излучения.

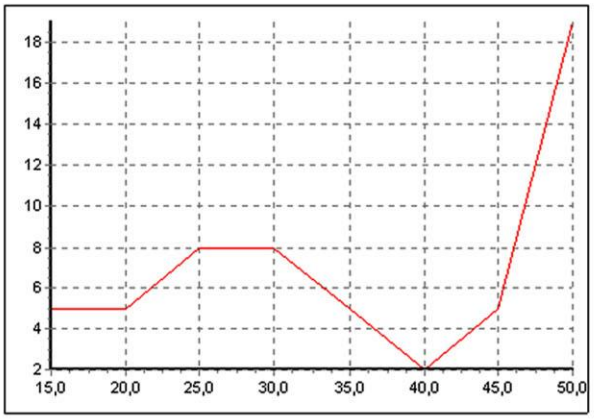
Режимы ЛО оказывали влияние на структуру и толщину формируемых слоев. Слои в целом формировались из отдельных частиц (рис. 6, а) или сплошным слоем (рис. 6, б).



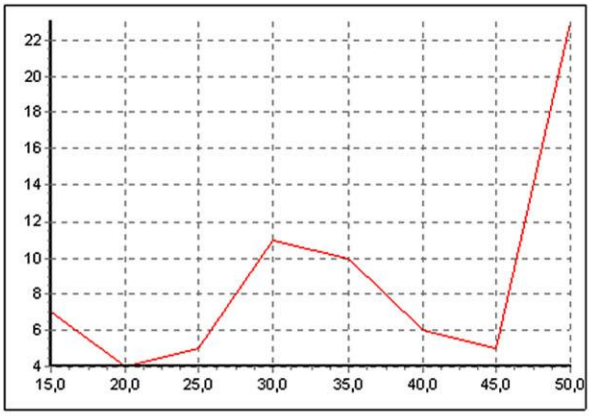
Серия образцов I:
Римп = 2745 Вт; L = 5 мм



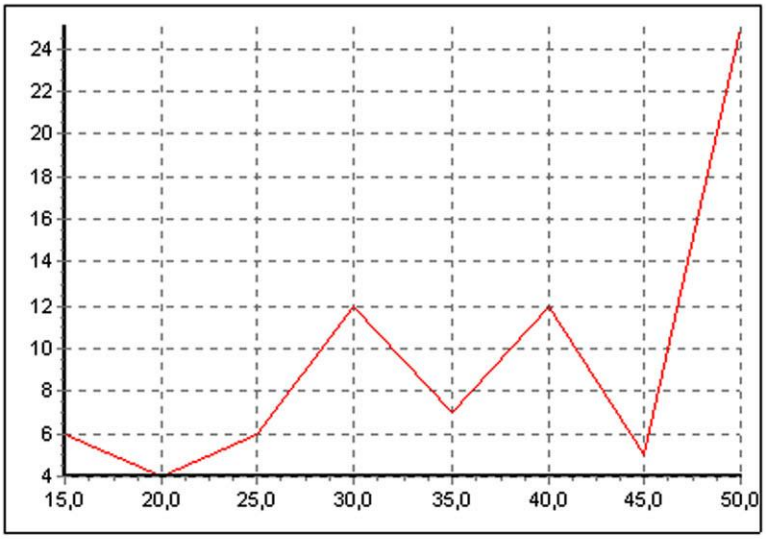
Серия образцов II:
Римп = 2745 Вт; L = 2,5 мм



Серия образцов III:
Римп = 2380 Вт; L = 5 мм

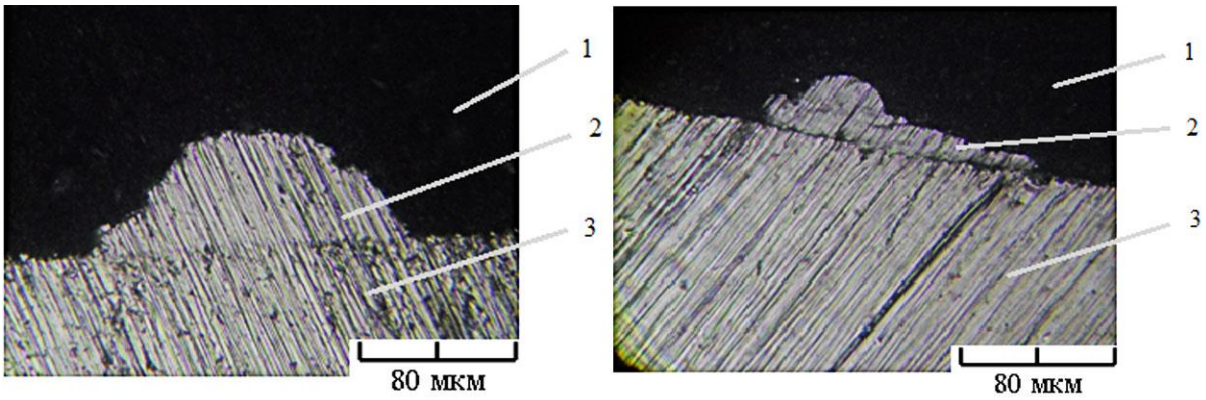


Серия образцов IV:
Римп = 2380 Вт; L = 2,5 мм



Серия образцов V: Римп = 2020 Вт; L = 2,5 мм

Рис. 5. Диаграммы распределения частиц по размеру



а б

Рис. 6. Структура покрытий, где 1 – эпоксидная смола;
2 – напыленная частица титана; 3 – основа (нержавеющая сталь)

В результате измерений установлено, что формируемые слои характеризуются большей, чем у нержавеющей стали микротведостью (табл. 3). Согласно полученным данным в процессе обработки произошло значительное повешение поверхностной твердости. При это большая дистанция способствует увеличению данного показателя. Большой разброс данных свидетельствует о частичном окислении расплавленных частиц мишени.

С увеличением энергии импульса в процессе обработки происходило оплавление поверхности с одновременным протеканием фазовых превращений за счет высоких температур нагрева, что способствует увеличению микротвердости.

Таблица 3

Значения микротвердости образцов

Серия образцов	Среднее значение микротвердости поверхности $HV_{0,98}$	Среднее значение микротвердости шлифа $HV_{0,98}$	Микротвердость основы, $HV_{0,98}$
I	416,6 ± 91,8	326 ± 171	238 ± 87,3
II	311,2 ± 39,3	774 ± 481	177 ± 115,6
III	1025 ± 259,6	498 ± 277	306 ± 146,1
IV	649,4 ± 195,7	497 ± 245	228 ± 71,1
V	583,4 ± 113,9	465 ± 224	198 ± 52,8

Экспериментально доказано, что использование лазерной обработки позволяет получить биосовместимое покрытие, а также повысить показатели поверхностной твердости изделий из хромоникелевой стали путем испарения титановой мишени под воздействием ЛО модификации металлической основы и формирования композиционного покрытия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Santonen T, Stockmann-Juvala H and Zitting A, 2010. Review on toxicity of stainless steel (Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health). p. 87.

2. Chew K-K, Zein S H S and Ahmad A L, 2012. Natural Sci. 4/3 184-8.

3. 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. Модификация поверхностей

внутрикостных имплантатов: современные исследования и нанотехнологии // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2009. – № 4 (32). – С. 17-22.

4. Карлов А.В., Хлусов И.А. Зависимость процессов репаративного остеогенеза от поверхностных свойств имплантатов для остеосинтеза // Гений ортопедии. – 2003. – № 3. – С. 46-51.

5. Radeva E.I., Martev I.N., Dechev D.A., Ivanov N., Tsaneva V.N. and Barber Z.H. 2006 Surf. Coat. Technol. 201/6 2226-9.

6. Dechev D, Ivanov N and Petrov. P 2015. J. Balkan Tribological Association 21/2 351-5.

7. Табаков В.П., Рандин А.В. Применение импульсной лазерной обработки для повышения работоспособности быстрорежущего инструмента с многослойными покрытиями // Упрочняющие технологии и покрытия. 2005. № 11. С. 18-21.

8. Девойно О.Г. Технология формирования износостойких покрытий на железной основе методами лазерной обработки: монография. Минск: БНТУ, 2020, 280 с.

9. Krishnan R., Dash S., Kesavamoorthy R., Rao C.B., Tyagi A.K., Raj B. Laser surface modification and characterization of air plasma sprayed alumina coatings // Surface and Coatings Technology. – 2006. – V. 200. – № 8. – P. 2791-2799.

10. Koval'chenko M.S., Paustovslii A.V., Botvinko V.P., Tamarov A.P. Koval'chenko M.S. Electrospark alloying followed by laser treatment of high-speed steel cutting tools // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 1996. – V. 35. – № 5. – P. 227-230.

11. Телегин С.В. Использование лазерного излучения при создании упрочненных композиционных металлокерамических поверхностных слоев // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании» (23 декабря 2020 года). – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2021. Т. I. – С. 174-178.

12. Chen J., Wang S.H., Xue L. On the development of microstructures and residual stresses during laser cladding and post-heat treatments // Journal of Materials Science. – 2012. – V. 47. – № 2. – P. 779-792.

13. Gnanasekaran S., Chelladurai S.J.S., Padmanaban G., Arthanari R., Balasubramanian V. Developing an Empirical Relationship to Predict the Wear Characteristics of Ni-Based Hardfaced Deposits on Nuclear Grade 316LN Austenitic Stainless Steel // Advances in Materials Science and Engineering. – 2021. – V. 2021. – P. 1-10.

14. Scheibe H.J., Siemroth P. Film deposition by laser-induced vacuum arc evaporation // IEEE transactions on plasma science. – 1990. – Т. 18. – № 6. – С. 917-922. Katayama S., Fushiya N., Matsunawa A. Ceramic coating on metal by laser physical vapor deposition // International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics. – AIP Publishing, 1994. – С. 285-292.

15. Lozovan A.A., Prishepov S.V., Frangulov S.V., Rizakhanov R.N., & Sigalaev S.K. (2016). Formation of fractal structures during the pulsed laser deposition of titanium in vacuum // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 80(8), 996-998.

16. Kaneta M., Matsuda K., Matsuda J., Utsumi A. (1992). Friction and wear properties of titanium films formed on aluminium by laser thermal spraying // Wear, 156 (1), 161-173.

17. Борейшо А.С., Ивакин С.В. Лазеры: устройство и действие: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 304 с.

18. Ходырев Ю.Ю., Горшков Е.В., Федоренко Е.А. Теория и практика микрообработки. – М.: Техносфера, 2013. – 352 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ МЕДИ

Тарасов В.Д., Шумилин А.И.

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

Аннотация. *В статье приведены результаты исследования шероховатости и морфологии поверхности меди МВИ после электроискровой резки проволокой ЛС-59 на электроискровом проволочно-вырезном станке.*

Ключевые слова: *электроискровая обработка, электрод-инструмент, медь, шероховатость*

Физико-механические свойства меди позволяют использовать ее в различных отраслях промышленности. Одним из направлений использования меди является производство электровакуумных приборов. В данном случае применяют чистую медь вакуумно-индукционной плавки марки МВИ.

Для применения данного материала в электровакуумных приборах требуется обеспечить высокую точность размерной обработки и заданную шероховатость поверхности. Механическая обработка не может обеспечить геометрию детали в пределах допусков. Эффективным способом получения готовых изделий в данном случае выступает электроискровая обработка (ЭИО) [1].

Особенностью ЭЭО является высокая точность соблюдения заданных размеров и шероховатости поверхности внутренних полостей. Для достижения допустимых параметров геометрии учитываются технологические факторы, влияющие на результат данной обработки. К этим факторам относятся: длительность и форма импульса, напряжение между электродами, ток импульса, температура диэлектрической жидкости, материал детали и др. [2].

Цель работы: исследование и подбор технологического режима электроискровой обработки медной диафрагмы. Установление функциональной зависимости шероховатости поверхности от длительности импульса.

Обрабатываемой деталью была выбрана диафрагма, являющаяся одной из составных частей замедляющей системы лампы бегущей волны (ЛБВ). Диафрагмы образуют систему связанных резонаторов. Операция электроискровой обработки включает резку внутреннего и наружного контуров диафрагмы. Деталь приведена на рис. 1. При этом точность линейных размеров $\pm 0{,}05$ мм, шероховатость поверхности не более $Ra = 1{,}6$ *мкм*.

Технология производства диафрагмы включает последовательность операций от стадии заготовки до выпуска готовой детали [3].

Наиболее актуальным методом подбора режима является пробный рез для определение межэлектродного зазора. Данный метод отличается низкой производительностью, но является наиболее точным.

Определить величину коррекции для внесения в управляющую программу станка с ЧПУ возможно при расчете межэлектродного зазора. Для этого необходимо рассчитать основные показатели режима обработки детали.

При увеличении энергии импульса *W* возрастает объем расплавляемого материала и образующихся лунок. Также увеличивается эвакуационная способность импульса. Также с длительностью импульса растет производительность, но увеличивается шероховатость поверхности [4].

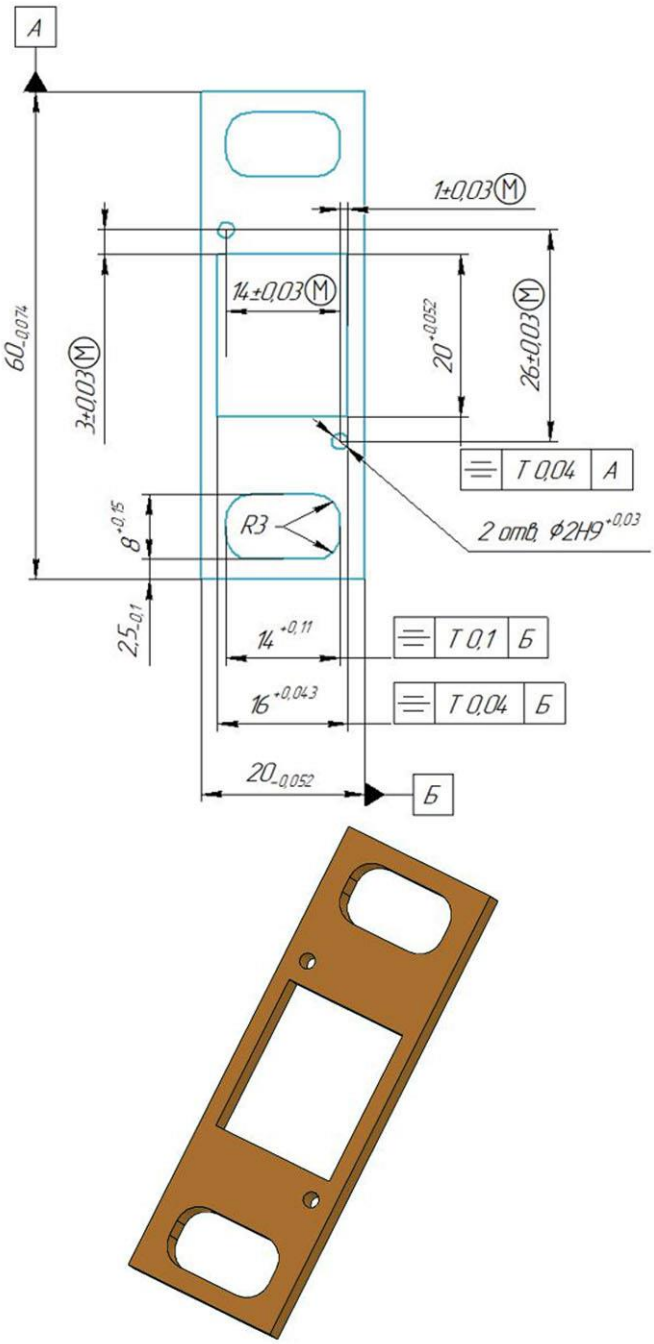


Рис. 1. Чертеж и 3D-модель диафрагмы

Энергия единичного импульса определяется по формуле:

$$W = \int_0^{t_u} U(t) I(t) dt = U \int_0^{t_u} I(t) dt = U \frac{I_{cp}}{f}, \quad (1)$$

где U – среднее напряжение на электродах, В; I_{cp} – средний рабочий ток, А; f – частота следования импульсов, Гц.

В работе использовались 6 образцов 3,5 × 5 × 2 мм, обработанных при напряжении 72 В, скорости перемещения электрода-инструмента (ЭИ) 1 мм/мин, а также выбранных частот 25-30 (F, Гц) и длительности импульса (t, мкс), допускающих стабильную обработку всего контура.

На рис. 2 приведены фотографии морфологии поверхности после обработки.

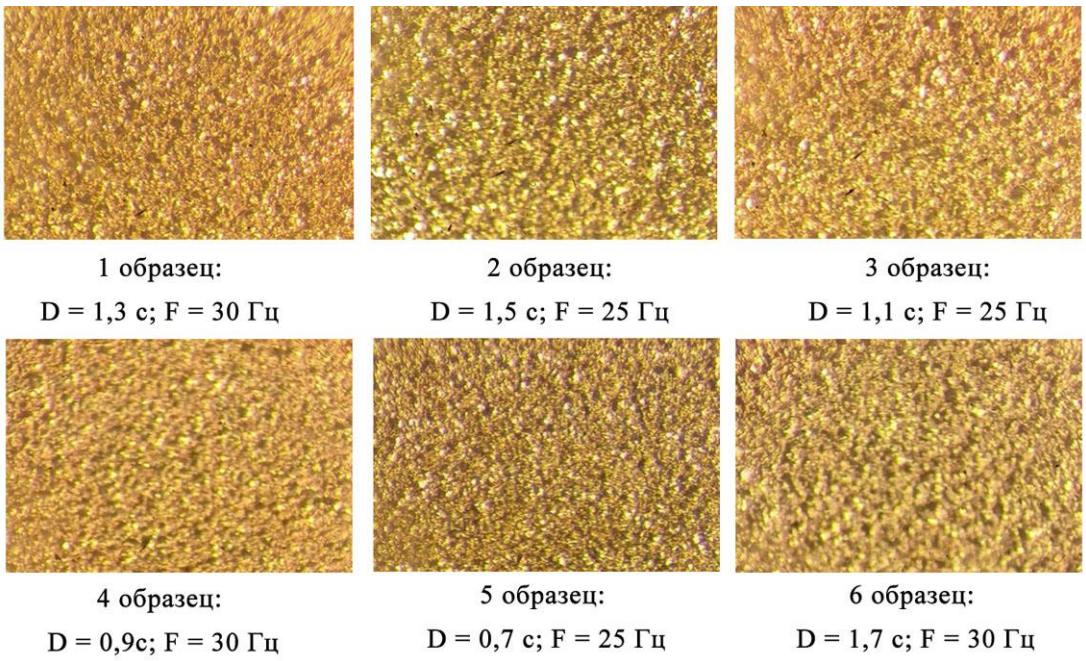


Рис. 2. Образцы МВИ после электроискровой обработки при увеличении ×56

По результатам визуального осмотра поверхности при увеличении ×56 крат видно, что с ростом длительности импульса, увеличиваются размеры зернистости поверхности. Шероховатость поверхности была измерена на профилометре Mitutoyo Surftest SJ-410, фото поверхности приведены на рис. 3. Незначительное изменение частоты обработки в диапазоне 25…30 Гц не показало существенной разницы в значениях R_a. Необходимое значение шероховатости для деталей из МВИ в соответствии конструкторской документации R_a 1,6. Наиболее близкое значение шероховатости соответствует образцу 2, рис. 2 [5]. По результатам измерений была рассчитана линейная функция, которая отражает зависимость шероховатости от длительности импульса. Данная зависимость имеет вид $Ra = \overline{Ra} \pm \Delta Ra$, рис. 3.

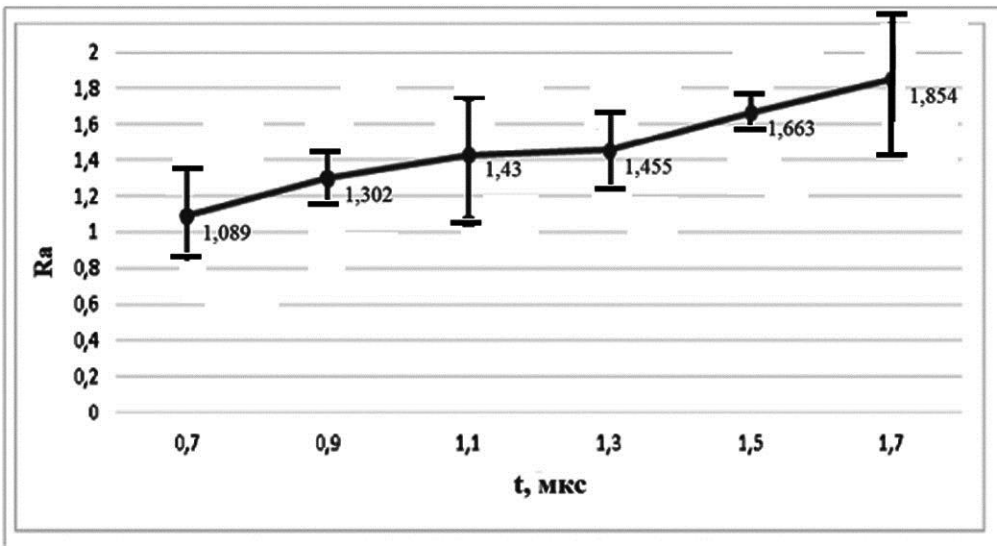


Рис. 3. График зависимости Ra от t

По результатам обработки полученных данных установлена зависимость *Ra = 0,14D + 0,97*.

Выводы: исследованы технологические режимы**,** проведена оценка шероховатости поверхности меди МВИ после электроискровой обработки. Установлена линейная зависимость шероховатости поверхности от длительности импульса *Ra = 0,14D + 0,97*. Выбран режим обработки детали, обеспечивающий заданную геометрию и шероховатость поверхности детали (t = 0,7 мкс; F = 25 Гц).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Логинов Ю.Н. Медь и деформируемые медные сплавы: учебное пособие / Ю.Н. Логинов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. – 136 с.
2. Савицкий В.В. Электроэрозионные методы обработки материалов: учебное пособие для студентов спец. «Оборудование и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов» учреждений, обеспечивающих получение высшего образования / В.В. Савицкий; УО «ВГТУ». – Витебск: УО «ВГТУ», 2006. – 276 с.
3. Расторгуев Д.А. Разработка плана изготовления деталей машин: учеб.-метод. пособие / Д.А. Расторгуев; Ин-т машиностроения; каф. «Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва». – Тольятти: ТГУ, 2013. – 51 с.
4. Журин А.В. Методы расчета технологических параметров и электродов-инструментов при электроэрозионной обработке: – Тула, 2005. – 132 с.
5. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. 1975. – 6 с.

ЛИТЬЕ МЕТАЛЛА ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Терентьев О.В., Терентьев В.В.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Шемякин А.В.

Рязанский государственный
агротехнологический университет, г. Рязань

Аннотация. *В статье рассматривается технологический процесс литья металла под давлением. Применение данной технологии позволяет сочетать гибкость конструкции литья пластмасс под давлением с прочностью и долговечностью металлических материалов, что делает ее универсальным методом для производства сложных и точных металлических деталей.*

Ключевые слова: *литье металла под давлением, металлический порошок, термопластичное связующее, спекание*

Литье металла под давлением – это технология производства металлических деталей, которая органично сочетает в себе точность литья пластмасс под давлением с прочностью и долговечностью производства металла, что позволяет изготавливать сложные металлические детали. Литье металла под давлением сочетает в себе гибкость конструкции литья пластмасс под давлением с прочностью и долговечностью металлических материалов, что делает его универсальным методом для производства сложных и точных металлических деталей. Он пластифицирует порошкообраз-

ное сырье с помощью термопластичных добавок, облегчая создание прочных металлических конструкций с предельной точностью из различных материалов, например, металлических сплавов.

При литье под давлением не используется порошкообразный металл. Вместо этого данный процесс включает в себя впрыскивание расплавленного металла под высоким давлением в матрицу, созданную в форме изготавливаемого объекта. После того, как расплавленный металл остывает и принимает форму, полученная структура представляет собой прочную металлическую деталь, изготовленную точно в форме, созданной полой матрицей.

Литье под давлением применяется при производстве деталей из цветных металлов с использованием металлов и сплавов, таких как алюминий, латунь, олово, цинк, медь, магний и свинец. Благодаря своей универсальности и гибкости конструкции, литье под давлением используется для производства деталей в различных отраслях промышленности. Вопросы применения современных технологий в ремонтном производстве рассматриваются в работах [1-5].

Процесс литья металла под давлением начинается с создания сырья, состоящего из двух основных ингредиентов: металлических порошков и термопластичного связующего. Металлический порошок составляет основу процесса, так как его характеристики определяют свойства создаваемой структуры металла. Термопластичное связующее – это промежуточная технологическая добавка, которая помогает формировать смесь и удаляется из продуктов после литья под давлением.

Металлический порошок и термопластичное связующее смешиваются и перерабатываются в пластифицированное связующее при очень высокой температуре с помощью месильной машины или экструдера со сдвиговыми валками. Тестомесы и экструдеры – это устройства, используемые для измельчения исходного порошка на мелкие частицы.

Это обеспечивает расщепление металлического порошка и термопластичного связующего на однородные частицы, тем самым сводя к минимуму деформацию во время будущих процессов спекания. Полученная смесь после тщательного соединения металлического порошка с термопластичным связующим представляет собой гранулированный порошок.

Подготовленное сырье впрыскивается в полость пресс-формы, как правило, под высоким давлением, чтобы придать изготавливаемой детали определенную форму, которая проходит дальнейшую обработку, чтобы стать конечным изделием. Этап литья под давлением аналогичен литью пластмасс под давлением, с той лишь разницей, что материал наполнен металлом. В результате процесс литья под давлением позволяет производить сложные конструкции.

Деталь, созданная после формования, содержит как металлический порошок, так и связующий материал. Следующий этап включает в себя удаление большей части связующего из отформованной детали.

Удаление связующего обычно выполняется с помощью процесса выжигания, который может включать экстракцию растворителем или термические методы. При жидкостной экстракции большая часть частиц связующего удаляется с помощью растворителей, таких как ацетон, трихлорэтан или гептан, для разложения растворимого связующего. С другой стороны, термическая экстракция использует тепло для отделения металлического порошка от частиц связующего путем полного испарения связующего.

Независимо от используемого метода, цель состоит в том, чтобы устранить частицы связующего вещества. Несмотря на то, что данный процесс не позволяет полностью удалить все связующее вещество в создаваемой детали, пористая сеть

позволяет остаточному связующему быстро испаряться на начальном этапе спекания. Когда частицы связующего испаряются, они оставляют после себя поры, которые удаляются по мере слияния частиц металла во время спекания. Прессование металлических частиц придает детали достаточную стабильность для окончательного процесса спекания.

Спекание в процессе литья металла под давлением включает в себя нагрев металлической детали до температуры, непосредственно предшествующей точке плавления, что делает деталь достаточно горячей, не подвергаясь разжижению. Обычно это делается для склеивания металлических частиц, закрывая зазоры, оставленные в процессе удаления вяжущего.

После процесса удаления связующего деталь подвергается высокотемпературному спеканию в контролируемой атмосфере, например, в печи. Температура и время спекания зависят от материала и конструкции детали. Во время спекания частицы металла сплавляются, и деталь сжимается до окончательных размеров, достигая при этом полной плотности металла.

Одним из многих преимуществ литья металла под давлением является то, что он требует меньше постобработки по сравнению с другими процессами производства металла, такими как традиционное литье металла.

После спекания готовые детали могут подвергаться дополнительным процессам вторичной отделки в соответствии с конкретными требованиями к конструкции. К таким вторичным процессам относятся: поверхностная обработка, термообработки, поверхностная цементация, чеканка.

Способность создавать металлические конструкции сложной формы делает процесс литья металла под давлением практически незаменимым в таких отраслях, как аэрокосмическая, автомобильная и медицинская. Использование широкого спектра материалов, начиная от нержавеющей стали, титана и низколегированных сталей, процесс литья металла под давлением предлагает гибкость в выборе наилучшего материала для конкретной геометрии и промышленного применения. Кроме того, данная технология является экономически эффективным вариантом для мало- и среднесерийного производства деталей, сводя к минимуму отходы материала и обеспечивая минимальное количество второстепенных операций, таких как механическая обработка, сварка или сборка.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мальчиков В.Н., Терентьев В.В. Перспективы применения аддитивных технологий в автомобилестроении // Новые технологии в учебном процессе и производстве: материалы XXI Международной научно-технической конференции. Рязань, 2023. С. 412-414.

2. Терентьев О.В., Терентьев В.В., Гречушкина Н.В. Аддитивные технологии в автомобильной промышленности // Новые технологии в учебном процессе и производстве: материалы XXI Международной научно-технической конференции. Рязань, 2023. С. 434-436.

3. Терентьев В.В. Аддитивные технологии в сельском хозяйстве // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке: материалы Международной научно-производственной конференции. Белгород, 2023. С. 209-210.

4. Терентьев В.В. Применение аддитивных технологий при эксплуатации сельскохозяйственной техники // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке: материалы XXVII Международной научно-производственной конференции. Белгород, 2023. С. 207-208.

5. Терентьев О.В., Терентьев В.В. Области применения аддитивного производства // Научно-исследовательские решения высшей школы: материалы студенческой научной конференции. Рязань, 2023. С. 65-66.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТВЕРДОФАЗНОГО МЕТОДА СИНТЕЗА $RbAg_4I_5$

Антонова А.Д.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Колоколова Е.В.,
д.х.н., профессор Гоффман В.Г.

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

Аннотация. *В работе представлены результаты усовершенствованного твердофазного метода синтеза твердого электролита $RbAg_4I_5$. Для этой цели был синтезирован йодид серебра, а затем $RbAg_4I_5$ в несколько стадий. Для исследования состава полученных материалов использовался метод рентгено-фазового анализа.*

Ключевые слова: *йодид серебра, йодид рубидия-серебра, твердый электролит*

В последнее время в мире резко возрос интерес к различным типам новых твердых электролитов, обладающих высокой ионной проводимостью. На основе твердых электролитов создают системы с высокой удельной энергией. Примером таких систем могут быть источники тока, накопители энергии. Другой аспект их использования заключается в создании преобразователей информации (сенсоры, электрохромные индикаторы) [1].

Производство твердых электролитов на основе $RbAg_4I_5$ является очень интересным на данный момент направлением. Преимущества таких электролитов – быстрый перенос ионов в твердых телах, механическая прочность, надёжность [2].

$RbAg_4I_5$ является примером твердого проводника с ионами серебра, в котором подвижные ионы Ag^+ являются причиной его высокой ионной проводимости (0,124 $Ом^{-1}$ при 20° С). Этот электролит имеет очень низкую электронную проводимость 10^{-9} Ом, следовательно, его можно считать электрическим изолятором [3].

$RbAg_4I_5$ имеет множество технологических применений. Он используется в твердотельных батареях более 40 лет. Эти батареи обладают хорошими электрохимическими характеристиками для использования в медицинских устройствах, таких как кардиостимуляторы.

Другое применение $RbAg_4I_5$ – производство тонких серебряных нанопроволок. Это возможно только потому, что $RbAg_4I_5$ является твердотельным средством диффузии ионов серебра. Он способен окисляться при контакте с серебряными электродами, установленными с разностью потенциалов [4].

Целью работы является усовершенствование твердофазного метода синтеза твердого электролита $RbAg_4I_5$.

Для получения $RbAg_4I_5$ первоначально был проведен синтез AgI, который включал в себя приготовление водного раствора, состоящего из 7,23 г $AgNO_3$ и 8,48 г KI. После перемешивание в течение полутора часов на магнитной мешалке, полученный раствор сушился в сушильном шкафу при температуре 60° С

В результате был получен порошок белого цвета, который исследовали методом рентгенофазового анализа (РФА). На рис. 1 представлена рентгенограмма, полученного образца на дифрактометре ARL X'TRA.

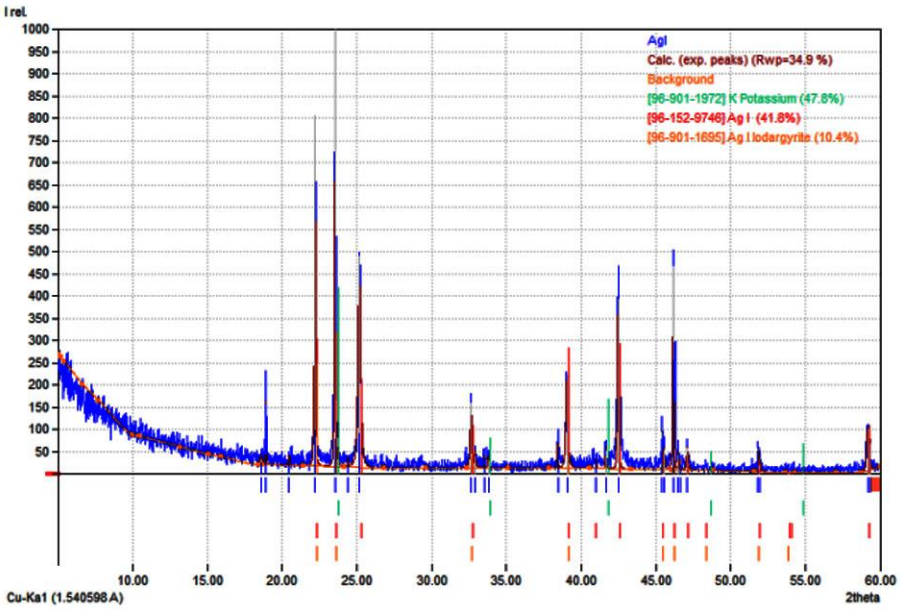


Рис. 1. Дифрактограмма AgI

На рентгенограмме видно, что полученное вещество – AgI.

Для получения $RbAg_4I_5$ синтезированный ранее порошок AgI перемешивался в агатовой ступке с порошком RbI (механохимический синтез) с добавлением нескольких капель ацетона в течение 5 минут.

Для исследования фазового состава полученного вещества был проведен РФА. На рис. 2 представлена рентгенограмма, полученного образца на дифрактометре ARL X'TRA.

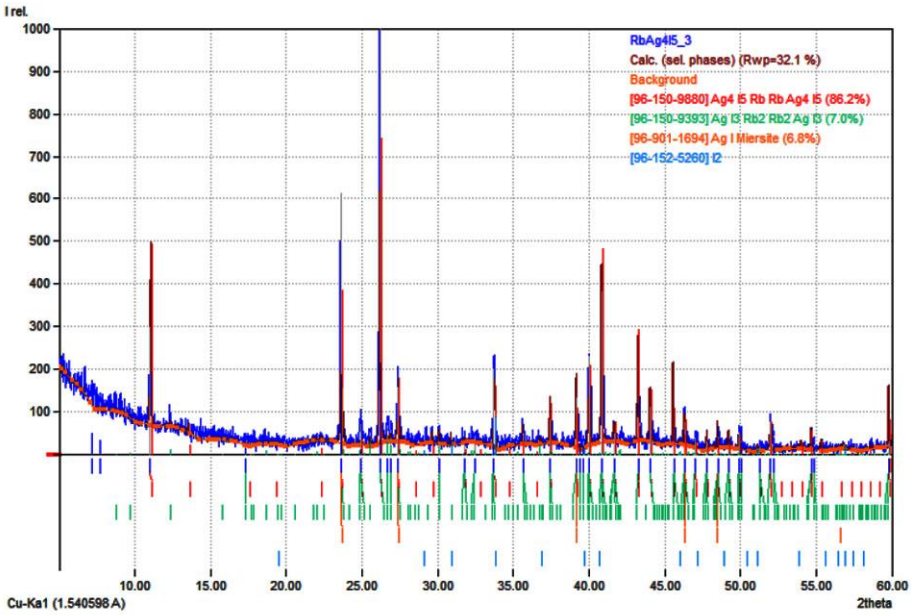


Рис. 2. Дифрактограмма $RbAg_4I_5$ на 1 этапе синтеза

Из рентгенограммы видно, что количество получившегося в процессе синтеза $RbAg_4I_5$ составляет 86,2 %. Для увеличения процентного содержания $RbAg_4I_5$ был проведен дополнительный (второй) этап синтеза. Полученный порошок перетирался в агатовой ступке в течение 10 минут. Для исследования фазового состава полученного вещества использовали метод рентгенофазового анализа. На рис. 3 представлена рентгенограмма, полученная на дифрактометре ARL X'TRA.

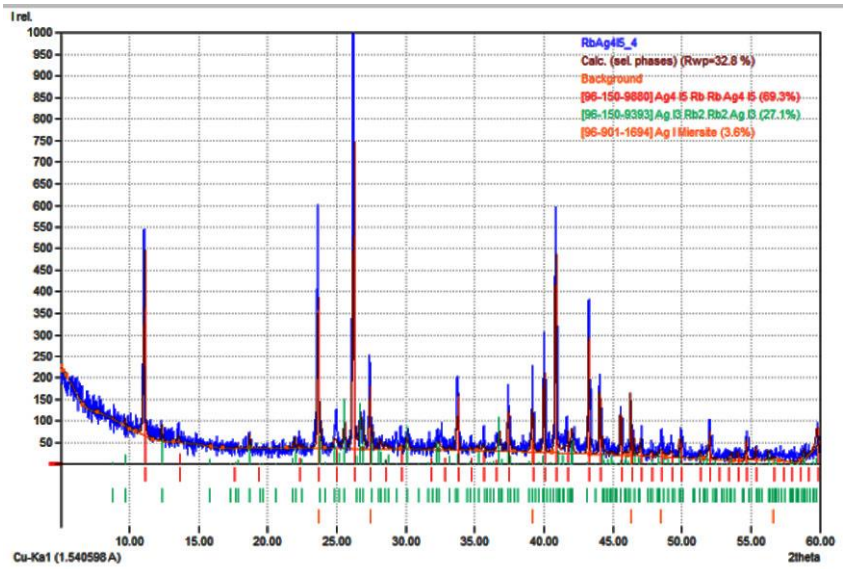


Рис. 3. Дифрактограмма $RbAg_4I_5$ на 2 этапе синтеза

Из рентгенограммы видно, что количество получившегося в процессе синтеза $RbAg_4I_5$ составило 69,3 %.

С целью увеличения процентного содержания $RbAg_4I_5$ был проведен третий этап синтеза. Полученный порошок перетирался в агатовой ступке в течение 10 минут с добавлением нескольких капель ацетона. Для исследования фазового состава полученного вещества было проведено исследование методом РФА. На рис. 4 представлена рентгенограмма, полученная на дифрактометре ARL X'TRA.

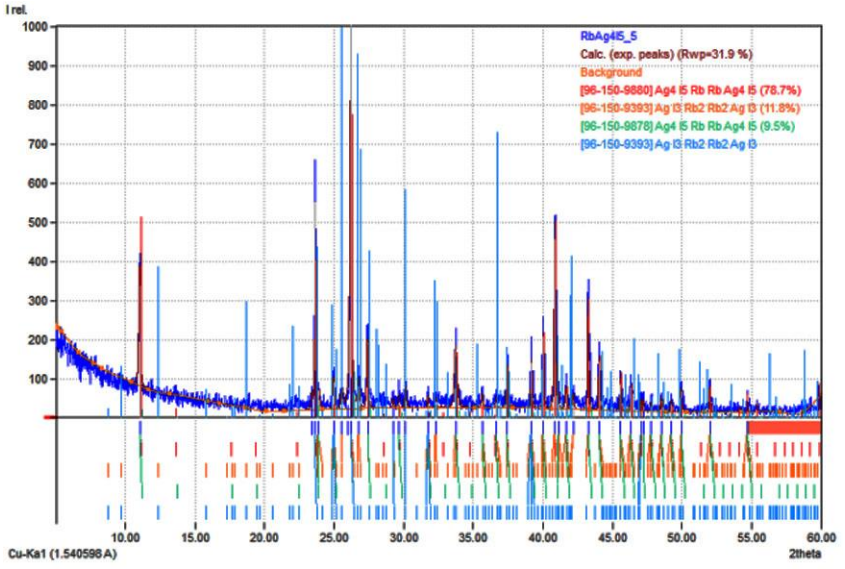


Рис. 4. Дифрактограмма $RbAg_4I_5$ на 3 этапе синтеза

На рентгенограмме показано количество получившегося в процессе синтеза $RbAg_4I_5$ – 78,7 %.

На четвертом этапе синтеза из полученного порошка были спрессованы таблетки с помощью гидравлического пресса ПРГ под давлением 10 МПа. Затем компактированные образцы сушились в сушильном шкафу в течение 4 часов при температуре 190° С. После их остывания, таблетки перетирались в агатовой ступке в течение 10 минут. Для определения элементного состава полученного вещества было проведено исследование методом рентгенофазового анализа. На рис.5 представлена рентгенограмма, полученная на дифрактометре ARL X'TRA.

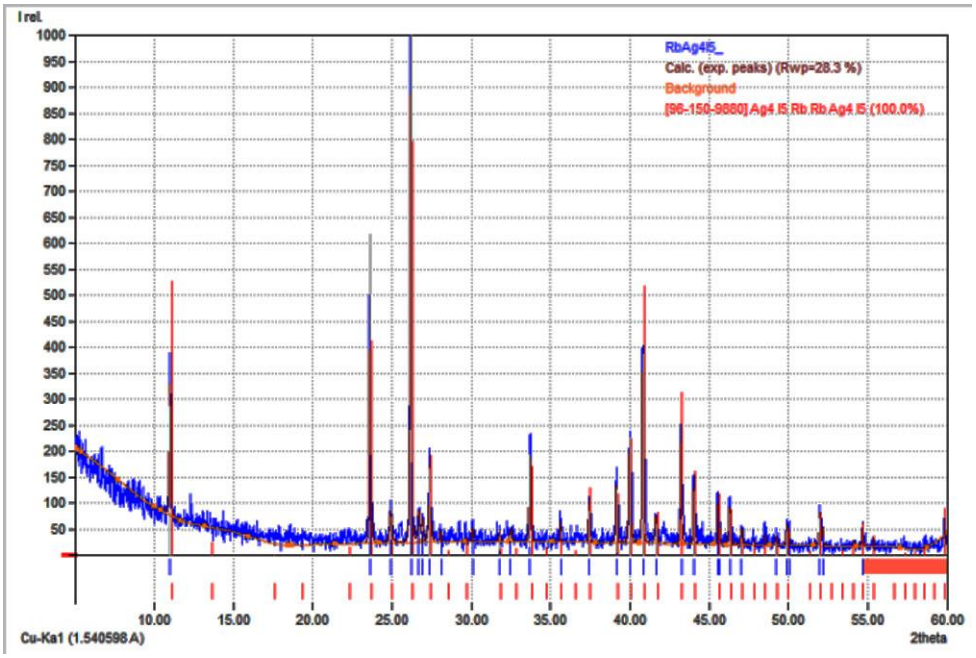


Рис. 5. Дифрактограмма $RbAg_4I_5$ на 4 этапе синтеза

На рентгенограмме показано, что количество получившегося в процессе синтеза $RbAg_4I_5$ составляет 100 %.

Таким образом, нами был усовершенствован твердофазный метод синтеза $RbAg_4I_5$. В итоге удалось получить образец $RbAg_4I_5$ со 100 % его содержанием.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Колоколова Е.В. Протонпроводящие твердые электролиты на основе сульфо- и гетерокислот для диагностики модулей энергетических комплексов: дис. канд. техн. наук: 02.00.05 / Е.В. Колоколова; науч. рук. А.М. Михайлова. – Саратов, 2006. – 145 с.

2. Гоффман В.Г. Электрохимические и электрофизические свойства твёрдого электролита $RbAg_4I_5$ / В.Г. Гоффман, С.А. Лаврентьева // Технические науки и технологии: Многопрофильный научный журнал. – Саратов, 2021. – № 2. – С. 47-53.

3. Martins D.T. Compact Ion-source Based on Superionic Rubidium Silver Iodide (RbAg4I5) Solid Electrolyte: master dissertation / D.T. Martins – Universidade Nova de Lisboa-Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2013. – 60 p.

4. Рекуперация энергии положительно заряженных ионов / И.В. Трифанов, О.А. Суханова, М.Г. Мелкозеров [и др.] // Сибирский журнал науки и технологий. – 2018. – Т. 19. № 4. – С. 716-727.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МЕДИЦИНСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРИГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ

Краморев Д.В., Телегин С.В.

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

Аннотация. *В статье предлагается устройство, на основе датчика измерения поверхности, служащее для измерения внутриглазного давления.*

Ключевые слова: *тонометр, внутриглазное давление, плата, программа, медицинский автоматизированный комплекс*

В течение всего своего существования человечество посвятило себя поиску способов восстановления и поддержания здоровья, уделяя особое внимание сохранению зрения. Среди наиболее распространенных причин глазных недугов выделяют дисбаланс внутриглазного давления.

Внутриглазное давление – это сила, оказываемая жидкостями передней камеры и стекловидного тела на внутренюю оболочку глаза. От поддержания стабильного уровня этого давления зависит форма глазного яблока и бесперебойная работа зрительной системы.

Для предупреждения развития офтальмологических нарушений необходимо проводить регулярные измерения внутриглазного давления. Эта процедура позволяет обнаружить широкий спектр заболеваний, включая глаукому, которая может привести к необратимой потере зрения [1-3].

Традиционные методы измерения внутриглазного давления сопряжены с такими недостатками, как необходимость анестезии из-за прямого контакта измерительных зондов с глазом, а также длительность процедуры (около 5 минут), что создает дискомфорт для пациента.

Бесконтактный метод, хотя и устраняет эти недостатки, требует постоянной юстировки датчика, регистрирующего данные.

Предлагаемый усовершенствованный метод измерения внутриглазного давления решает эти проблемы. Он основан на следующих принципах:

- Освещение центра роговицы узким световым пучком, направленным под углом к оптической оси глаза.
- Деформация роговицы посредством пневматического воздействия.
- Регистрация деформации роговицы фотоприемником.

Данный метод исключает необходимость юстировки датчика в подготовительных процедурах, а также устраняет дискомфорт, связанный с анестезией и контактом прибора с глазом.

Особенностью данного способа является использование рабочей пары излучатель (лазер) – фотоприемник (фототранзисторная матрица). Полученные результаты измерений не требуют сложных вычислительных процессов, что значительно снижает итоговую стоимость аппарата [25].

В основе измерителя внутриглазного давления предлагается использовать датчик измерения поверхности (ДИП) (рис. 1), который состоит из матрицы фототранзисторов (приемник) (1), источника излучения (излучатель) (3), основной платы, встроенного усилителя, микроконтроллера, интегрированного источника питания.

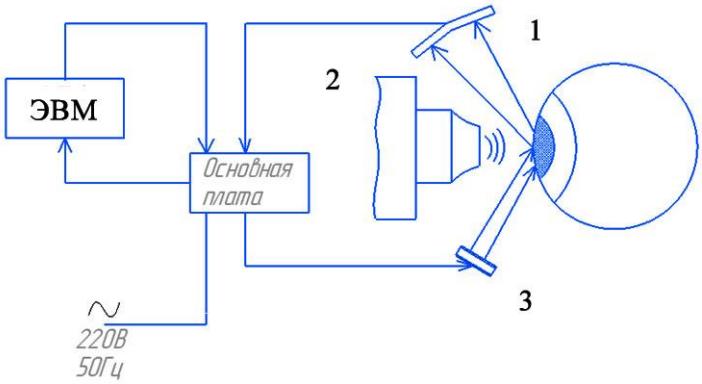


Рис. 1. Структурно-функциональная схема датчика изменения поверхности

Принцип работы заключается в фиксировании изменения угла отражения луча света от поверхности. На датчик подается напряжение 220В 50Гц, которое преобразовывается интегрированным в основную плату источником электропитания, далее, через транзистор, управляемый сигналом с ЭВМ, питание поступает на излучатель (3), формирующий узконаправленное световое излучение, регистрируемое фототранзисторной матрицей (1), полученный с матрицы сигнал поступает на встроенный усилитель, после которого обрабатывается микроконтроллером для дальнейшей передачи на ЭВМ.

В основе электрической схемы лежат три основных узла: преобразователь электрического тока, питание излучателя и приемника, усилитель сигнала, обработка сигнала и передача на ЭВМ.

Плата основная (рис. 2) представляет собой разводку проводящих элементов (дорожек) в соответствии с ГОСТ 23752-79 на гетинаксе фольгированном.

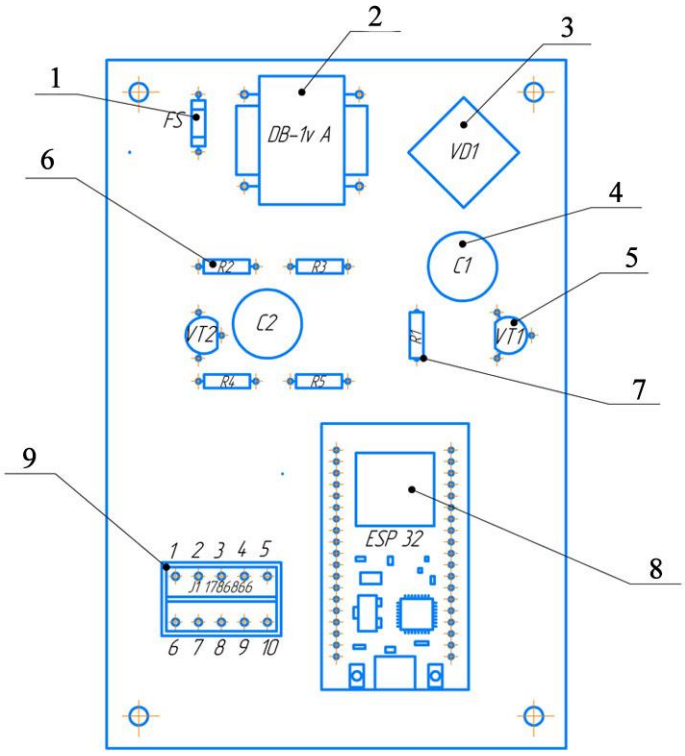


Рис. 2. Плата основная сборка

В состав сборки ДИП тонометра внутриглазного давления входят основание корпуса; крышка корпуса; основная плата; плата излучателя; плата приемника; винты М4; уплотнительная резинка; диодный мост; трансформатор 20:1; предохранитель 1А; конденсатор 500 мФ; резистор 1 кОм; резистор 100 кОм; транзистор ВС368; лазерный диод; фототранзистор; SMD резисторы 0,5-2,3 кОм.

Разработан автоматизированный комплекс для сборки ДИП, который работает по алгоритму: перемещение основания корпуса на конвейер, помещение платы в основание корпуса, установка винтов М4 в отверстия, завинчивание винтов, установка уплотнительной резинки, закрытие основания корпуса крышкой, припаивание проводов схем излучателя и приемника.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Национальное руководство по глаукоме: для практикующих врачей / под ред. проф. Е.А. Егорова, проф. Ю.С. Астахова, проф. А.Г. Щуко. – Изд. 2е, испр. и доп. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. – 280 с.

2. Аветисова С.Э. Офтальмология: национальное руководство / под ред. С.Э. Аветисова, Е.А. Егорова, Л.К. Мошетовой, В.В. Нероева, Х.П. Тахчиди. – 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2022. – 904 с.

3. Егорова Е.А. Офтальмология: учебник / под ред. Е.А. Егорова. – 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 272 с.

4. Петрова Г.В. Долгосрочные результаты лазерной коррекции зрения // Журнал практикующего офтальмолога, 2020. – № 3. – 6 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕДИЦИНСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАЦИИ ЛАЗЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ ЗРЕНИЯ

Сидоров С.М., Телегин С.В.

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

Аннотация. *В статье рассматривается устройство позиционирования лазера для проведения операции лазерной коррекции зрения. Разработанная конструкция обеспечит плотный контакт вакуумного кольца с роговицей, а также минимизирует сложности операции, возникающие из-за недостаточного давления между роговицей и вакуумным кольцом.*

Ключевые слова: *лазерная коррекция зрения; медицинский силикон, вакуум*

В современном мире, с развитием информационных технологий и активной цифровизацией всех процессов, человек тесно связан с электроникой и цифровой техникой (компьютеры, смартфоны, смарт-часы и других гаджеты). При данных условиях неизбежна дополнительная нагрузка на зрение, которую оказывают длительная непрерывная работа с устройствами и ЭМ-излучение, исходящее от электронных устройств. В связи с этим, с каждым днем, становятся всё актуальнее проблемы со зрением. Уже сейчас близорукостью страдает каждый 3-4 взрослый житель России [1].

Как следствие, все больше людей задумываются о проведении операции коррекции зрения.

Рефракционные дефекты в глазах человека вызывают ухудшение зрения, называемое близорукостью, дальнозоркостью или астигматизмом. Свет, который попадает в нормальный глаз, фокусируется на сетчатке для формирования изображения, которое передается в мозг. В случае глаза, страдающего от рефракционных дефектов, четкое изображение на сетчатке не формируется, что приводит к ухудшению зрения [2].

Есть три типа дефектов рефракции: близорукость, дальнозоркость и астигматизм. При близорукости глаза изображение формируется перед сетчаткой, в результате чего видение удаленных предметов размыто. В случае дальнозоркости изображение формируется за сетчаткой, вызывая размытость зрения вблизи и со временем также и дальнего видения. В случае астигматизма видение как близких, так и дальних изображений искажено. Для нормального зрения изображение должно быть сформировано на сетчатке, а это может быть достигнуто при помощи соответствующих очков, контактных линз или рефракционной хирургии [3].

Рефракционная хирургия – это наиболее распространенное использование лазеров в офтальмологии. Основной целью лечения является достижение правильного отношения между длиной глазного яблока и преломляющей силой его оптических сред (рис. ниже). Для рефракционного хирургического вмешательства обычно используется ArF-эксимерный лазер (λ = 193 нм). Импульсное лазерное излучение с длительностью импульса 10-20 нс проникает в роговицу на глубину 1 мкм, что приводит к фотоабляции ткани [4].

Модернизированным узлом является устройство позиционирования лазера при операции: систему вакуумных колец и головок, обеспечивающих плотное соединение головки фемтосекундного лазера с роговицей глаза, что обеспечит проведение операции коррекции зрения при безопасном для пациента диапазоне внутриглазного давления (ВГД) (рис. 1).

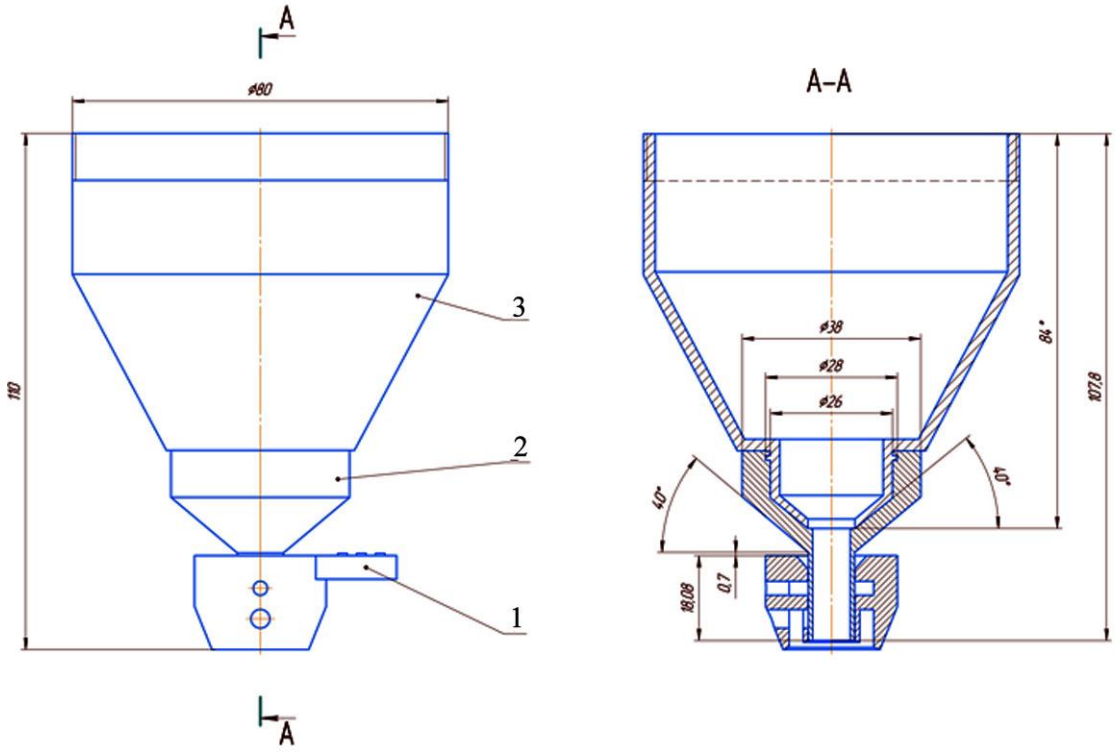


Рис. 1. Модернизированный узел: 1 – силиконовое вакуумное кольцо; 2 – уплотнительная насадка; 3 – головка лазера

Силиконовое вакуумное кольцо (рис. 2) является самым важным звеном в разработанном комплексе для стыковки с лазером. Достоинствами разработанной детали являются: дополнительный канал под трубку, которая соединяется с вакуумным насосом, для лучшего контакта с уплотнительной насадкой лазерной головки; более короткая ручка, исключающая смещение кольца во время операции, с выемками, которые предотвращают выскальзывание из руки врача.

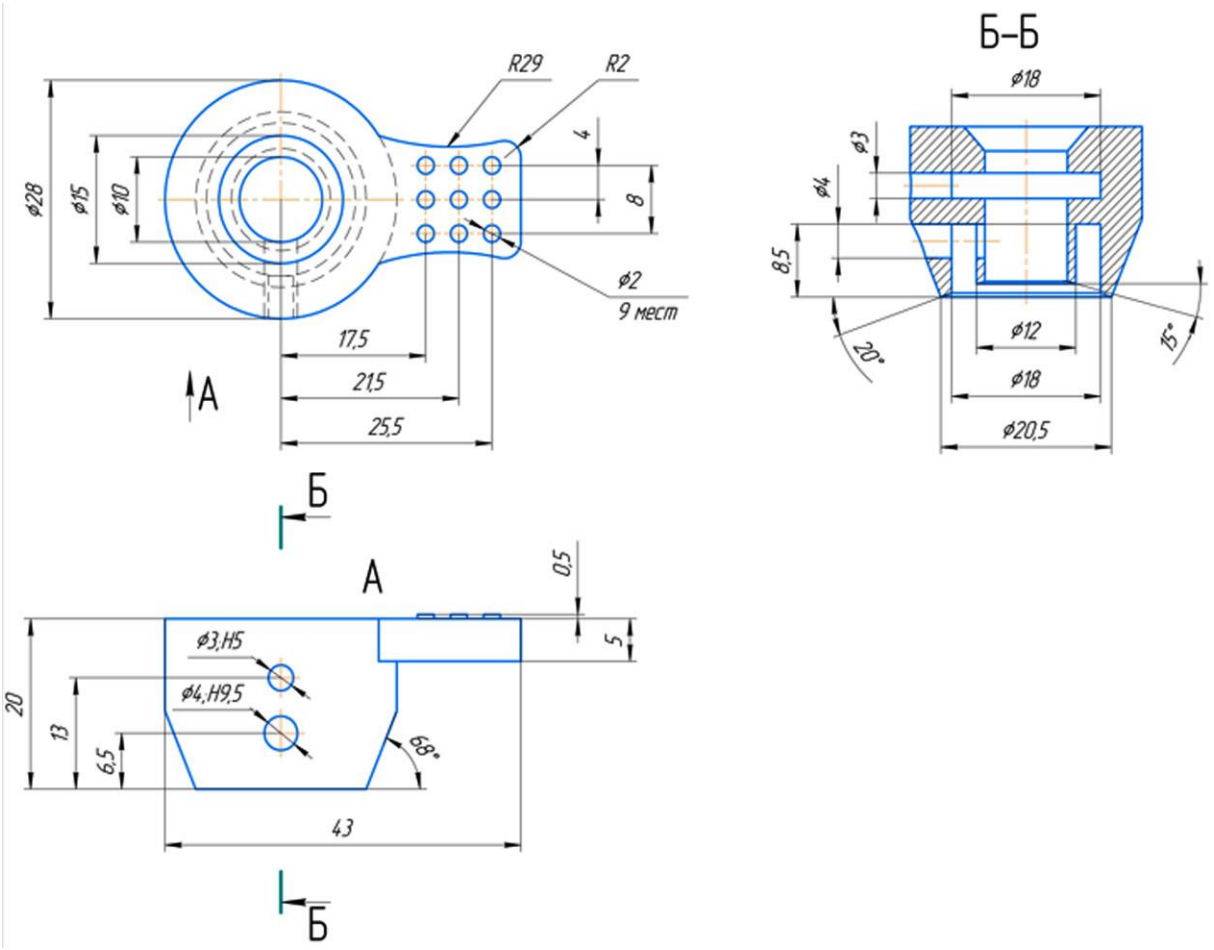


Рис. 2. Силиконовое вакуумное кольцо

Разработанная силиконовая уплотнительная насадка, которая является частью медицинского комплекса для стыковки лазерной головки с роговицей. Достоинством данной конструкции является наличие дополнительного углубления на внутренней поверхности насадки Углубление даёт более плотное соединение головки лазера с данной уплотнительной насадкой и исключает смещение во время операции.

Головка лазера служит для пропускания луча фемтосекундного лазера, после чего, благодаря правильной стыковки, попадает на роговицу и формирует роговичный лоскут. Конструкция имеет дополнительное ребро для лучшего соединения с уплотнительной насадкой.

В качестве материалов уплотнительной насадки и вакуумного кольца выбран медицинский силикон. Готовые изделия получаются методом литья под давлением. Дозирование и смешивание силикона (смешивание жидкого силикона и отвердителя в автоматическом смесителе литейной машины).

Расчет давления, оказываемое силиконовым вакуумным кольцом во время стыковки фемтосекундного лазера при коррекции зрения, аналогичен расчету для вакуум-

ного кольца из любого другого материала. Однако силикон имеет определенные свойства, которые следует учитывать.

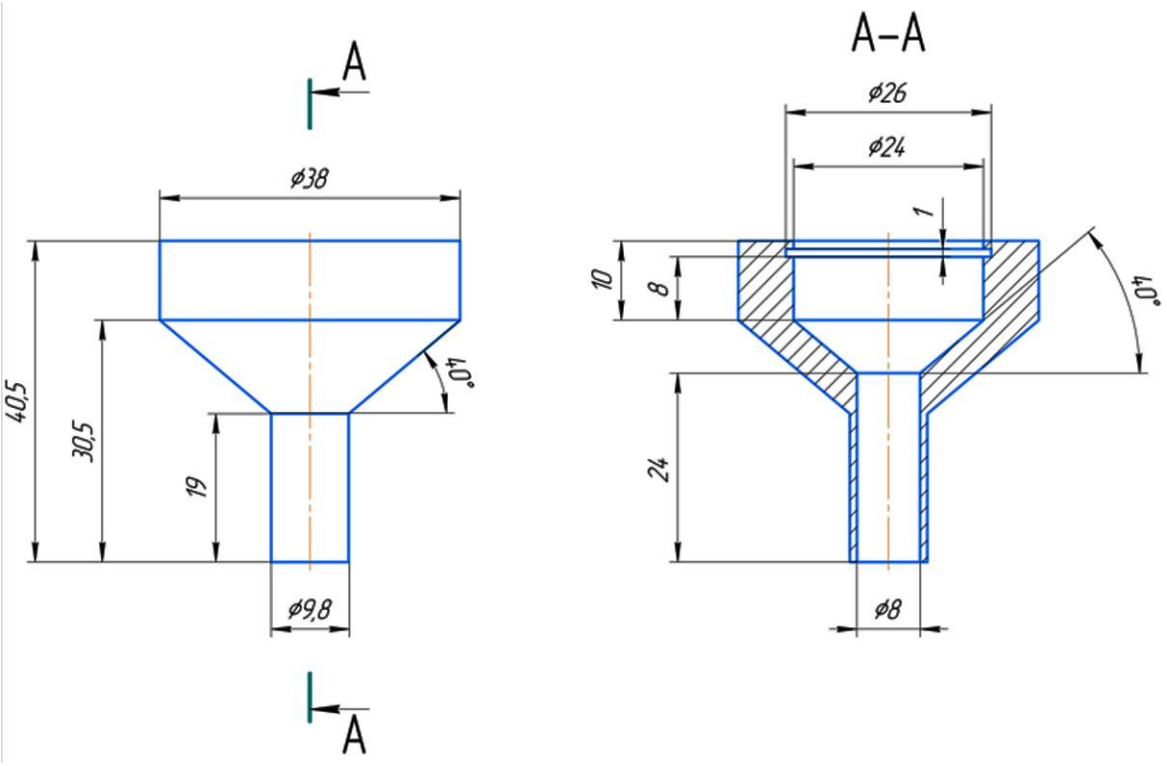


Рис. 3. Уплотнительная насадка

Силикон является эластичным материалом, поэтому его площадь может изменяться под действием внешних сил. Это может повлиять на расчет давления. Также силикон является сжимаемым материалом, поэтому его толщина может уменьшаться под действием внешних сил. Это также может повлиять на расчет давления.

В ходе произведенных расчетов установлено, что если учесть, что оптимальным диапазоном ВГД для безопасного проведения операции составляет 15-21 мм рт. ст., максимально допустимое внутриглазное давление во время коррекции зрения – ВГД = 30 мм рт. ст., а при проведении операции используются капли, которые снижают давление на 5-10 мм рт. столба, то при моделировании самых неблагоприятных условий (повышение ВГД = 8,1 мм рт. ст. относительно давления пациента, находящегося в верхней отметке оптимального диапазона = 21 мм рт. ст.; капли снижают давление на 5 мм рт. ст.), итоговое ВГД у пациента составит:

ВГД = 21 + 8,1 – 5 = 24,1 мм рт. ст., что но 5,9 мм рт. ст. меньше максимально допустимого значения [1].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Глазные болезни. Основы офтальмологии: учебник для студентов медицинских вузов / [Аветисов Э.С. и др.]; под ред. проф. В.Г. Копаевой. – М.: Медицина, 2012. – 551 с.

2. Лантух В.В., Пятин М.М., Искаков И.А. и др. Применение УФ эксимерных лазеров в микрохирургии глаза // Препринт № 151-86, Институт теплофизики СО АН СССР. – 1986. – 18 С.

3. Колесникова О.А. «Лазерная коррекция зрения: технологии и оборудование», Санкт-Петербург, 2019, 224 с.

4. Петрова Г.В. Долгосрочные результаты лазерной коррекции зрения // Журнал практикующего офтальмолога, 2020. – № 3. – 6 с.

ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ И КОРРОЗИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ ТИТАНА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Телегин С.В., Гоц И.Ю.

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

Аннотация. *Исследована структура и коррозионная стойкость металлокерамических покрытий, сформированных импульсной лазерной модификацией поверхности титана.*

Ключевые слова: *титан, лазерная обработка, модификация*

Современное производство при создании новых и модернизации существующих технологий обуславливает использование материалов и изделий в агрессивных средах. Использование последних ставит вопрос о конструкционных материалах, стойких к таким воздействиям.

Широкий интерес в этом плане представляет титан и сплавы на его основе. Титан может участвовать во многих соединениях и сплавах, он химически весьма активен. И в то же время обладает высокой коррозионной стойкостью. В литературе имеются данные по изучению коррозии на титане и его сплавах в различных средах. Однако данные о коррозионной стойкости титана с металлокерамическими покрытиями, сформированными лазерной обработкой практически отсутствуют. В этой связи целью исследования стало изучение скорости коррозии металлокерамических покрытий на основе титана [1-5].

Для формирования металлокерамических покрытий на поверхности титана марки ВТ1-00 предлагается использовать теплофизическое лазерное воздействие, позволяющее придать необходимую морфологию поверхностного слоя и высокую коррозионную стойкость.

Модификация поверхностного слоя осуществлялась путем воздействия импульсного лазерного излучения на Nd:YAG-лазерном технологическом комплексе «LRS-50» с длиной волны 1,064 мкм в воздушной среде при использовании различных вариантов сочетания технологических параметров, таких как напряжение лампы накачки U, длительность импульса τ, частота следования импульсов f и число импульсов N. При этом модификация поверхности образцов проводилась при температурах ниже температуры плавления поверхностного слоя и при превышающих ее температурах, что приводило к различным процессам, протекающим в опытных образцах.

Анализ микрошлифов установил изменение структуры в модифицированном поверхностном слое по сравнению с исходной структурой титановой основы. Присутствует четко выраженная граница между модифицированным слоем и исходной структурой. При обработке с оплавлением поверхностного слоя выявлены древовидные кристаллы – дентдиты – различные по форме и размерам, что объясняется разным направлением теплоотвода при кристаллизации. В зоне прямого воздействия лазерного излу-

чения они растут под углом к границе зоны теплофизического воздействия, имеющей сферическую форму.

Характерной особенностью структурных превращений титана и его сплавов при обычной термической обработке является интенсивный рост зерен при температуре выше α-β-перехода.

Установлено, что при лазерном воздействии происходит уменьшение зерна в модифицированном слое, чем достигается мелкозернистая структура. Это объясняется мартенситным превращением в титане, что являются причинами упрочнения титана при лазерном воздействии.

Основным электрохимическим методом изучения коррозионной стойкости металлов и сплавов является метод поляризационных кривых, снятых потенциостатическим или потенциодинамическим (при медленно и линейно меняющемся потенциале) способами. При последнем способе очень широко применяется скорость изменения потенциала от 0,1 до 10,0 мВ/с. Кривые зависимости плотности тока от потенциала (i, E) при заданной линейной скорости развертки потенциала 8 мВ/с снимали от бестокового потенциала в анодную катодную сторону до резкого подъема тока. Так как в данных условиях процесс коррозии контролируется катодной реакцией, то построение коррозионных диаграмм позволило определить потенциал и ток коррозии протекающей с кислородной и водородной деполяризацией.

На рисунке 1-2 и в таблице 1 приведены данные коррозионных испытаний полученных методом снятия потенциодинамических кривых. Из результатов изменений следует, что наиболее положительный потенциал соответствует образцу металлокерамических покрытий сформированных по режиму 1 (U = 400 В, τ = 8 мс, ч f = 2 Гц, N = 5) и составляет $E_{ст}$ = -0,079 В (отн.в.х.с.э.). Он же обладает и наиболее широкой областью термодинамический стабильности (крайние точки начала кислородной и водородной коррозии) ΔE = 2,62 В, в то время как на чистом титане ΔE = 2,5 В. Значение плотностей тока имеют достаточно высокие значения, близкие к току обмена, что указывает на высокое электросопротивление полученных покрытий.

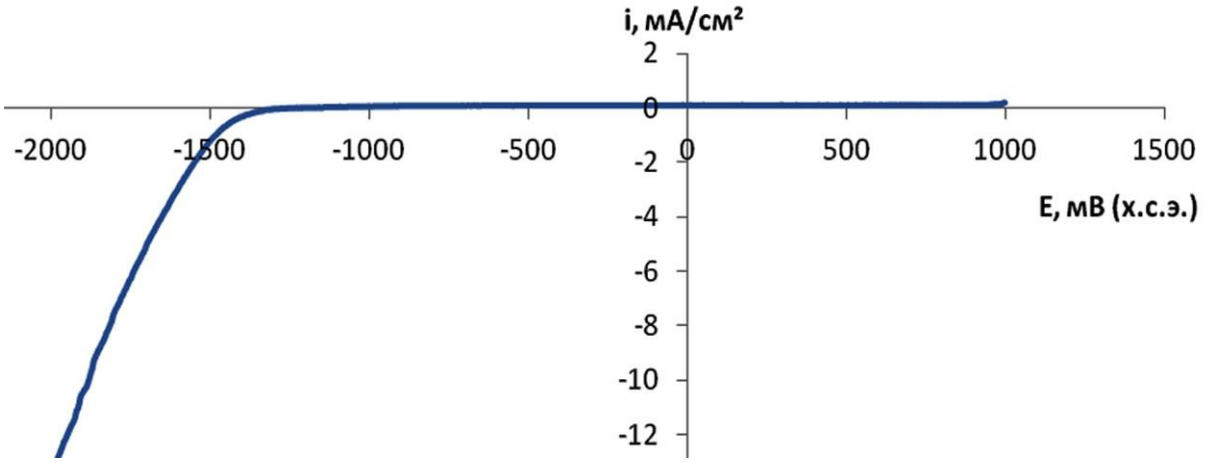


Рис. 1. Потенциодинамические кривые на чистом титановом образце без покрытия, снятые в 3 %-м растворе NaCl при скорости линейной развертки потенциала v = 8 mB/c при температуре 25° C

Как видно из результатов исследований эти данные имеют неоднозначный характер. Согласно этому методу набольшей коррозионной стойкостью обладают образцы с чистым титаном и металлокерамическими покрытиями сформированными при обработке с плотностью энергии 3,03 × 10^7 Дж/$м^2$ с образованием TiO и TiN,

а при плотности энергии 0,32 × 10^7 Дж/м^2 состоящие из TiO им уступают. Это несоответствие связано предположительно с различием типов покрытий и делать однозначные выводы сложно.

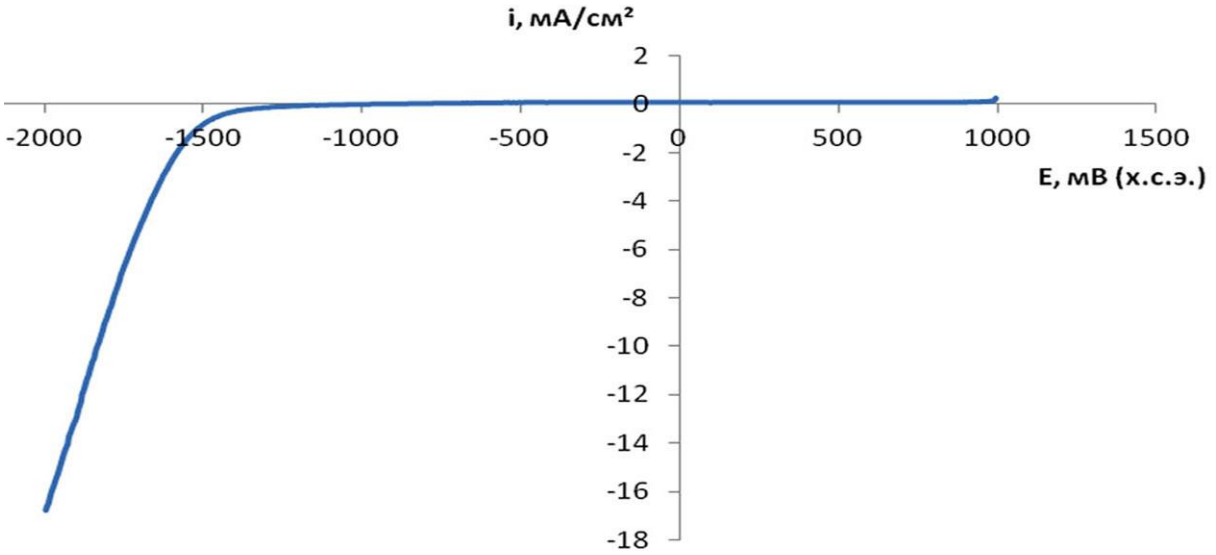


Рис. 2. Потенциодинамические кривые на металлокерамических покрытиях сформированных по режиму 1 (U = 400 В, τ = 8 мс, f = 2 Гц, N = 5) образце без покрытия, снятые в 3 %-м растворе NaCl при скорости линейной развертки потенциала v = 8 mB/c при температуре 25° С

Таблица 1

Влияние технологических операций
на электрохимическое поведение титанового электрода

№ п/п	Режим лазерной модификации	ΔE, В	i ак, мА/см^2	i кк, мА/см^2	Ест, (В)
1	U = 310 В, τ = 3,3 мс, f = 1 Гц, N = 2 (плотность энергии 0,32 × 10^7 Дж/м^2)	1,15	-0,411	0,179	-0,238
2	U = 400 В, τ = 8 мс, f = 2 Гц, N = 5 (плотность энергии 3,03 × 10^7 Дж/м^2)	2,62	-0,178	0,357	-0,079
3	Чистый Ti (без лазерной обработки)	2,5	-0,178	0,263	-0,085

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пекшева Н.П. Интерференционные окисные пленки на титане и его сплавах. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1988. – 246 с.

2. Колобов Ю.Р., Кашин О.А., Шаркеев Ю.П., Гриценко Б.П., Найденкин Е.В. Технология обработки поверхности изделий технического и медицинского назначения высокоэнергетическими потоками для восстановления их геометрических размеров и увеличения срока эксплуатации. Технология машиностроения, 2006. – № 4, С. 39-44.

3. Томашов Н.Д. Титан и коррозионностойкие сплавы на его основе / Н.Д. Томашов. – Москва: Металлургия, 1985. – 81 с.

4. Панасюк А.Ф., Ларионов Е.В., Саващук Д.А. Биоматериалы для тканевой инженерии и хирургической стоматологии // Клиническая стоматология, 2004. – С. 10.

5. Ji-Hyun Y Characterization of a bioactive nanotextured surface created by controlled chemical oxidation of titanium / Y. Ji-Hyun, C. Bernard, F.B. Variola, S.F. Zalza // Surface Science, 2006. – Vol. 600. – P. 4613-4621.

ИМПЕДАНСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ НА ОСНОВЕ $K_{1,53}FE_{1,52}TI_{6,48}O_{16}$

Верхутов А.А., Завитаева Д.Д., Ступин Ю.А.
Научный руководитель: д.х.н., профессор Гоффман В.Г.

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

Аннотация. *В работе представлены результаты исследований электрофизических свойств электростатических конденсаторов на основе $K_{1,53}Fe_{1,52}Ti_{6,48}O_{16}$. Для этой цели были сделаны макетные образцы электростатических конденсаторов. Для исследования электрофизических свойств применялся метод импедансной спектроскопии.*

Ключевые слова: *голландит железа, электростатический конденсатор, диэлектрик*

Импедансная спектроскопия электростатических конденсаторов является важным методом исследования электрических свойств этих устройств. Этот метод основан на измерении сопротивления между обкладками конденсатора на разных частотах. Спектры импеданса позволяют определить такие параметры конденсатора, как емкость, тангенс угла потерь, диэлектрическую проницаемость и другие характеристики [1].

Электростатические конденсаторы – это устройства, которые могут накапливать и хранить электрический заряд [2].

Они состоят из двух проводящих пластин (обкладок), разделенных диэлектрическим материалом, (рис. 1). Работа конденсатора основана на том, что противоположные заряды притягиваются друг к другу, и на обкладках накапливаются равные по величине, но противоположные по знаку заряды [3].

Целью работы является изучение электрофизических свойств $K_{1,53}Fe_{1,52}Ti_{6,48}O_{16}$.

Для создания модели электростатического конденсатора использовался голландит на основе железа, для идентификации были проведены исследования на дифрактометре ARL X'TRA фирмы Thermo Scientific (рис. 2).

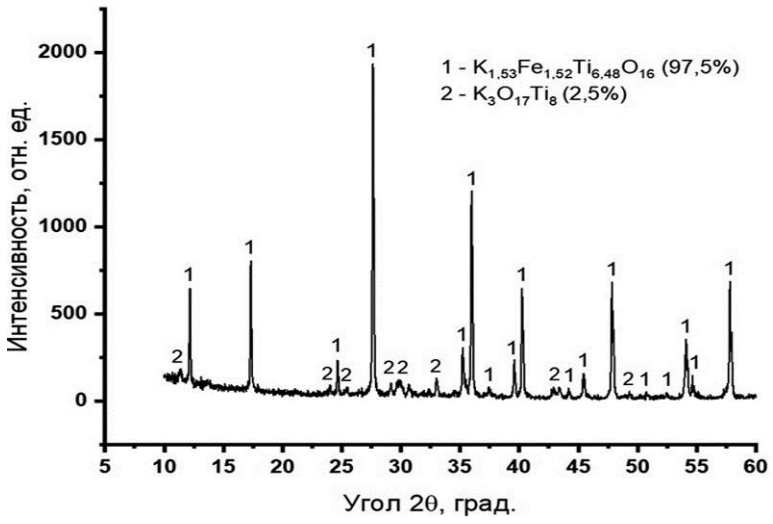


Рис. 1. Дифрактограмма KFTO

Далее были построены графики зависимости тангенса диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости таблетки диметром 1,12 см и толщиной 1,1 мм $K_{1,46}Fe_{0,8}Ti_{7,2}O_{16}$.

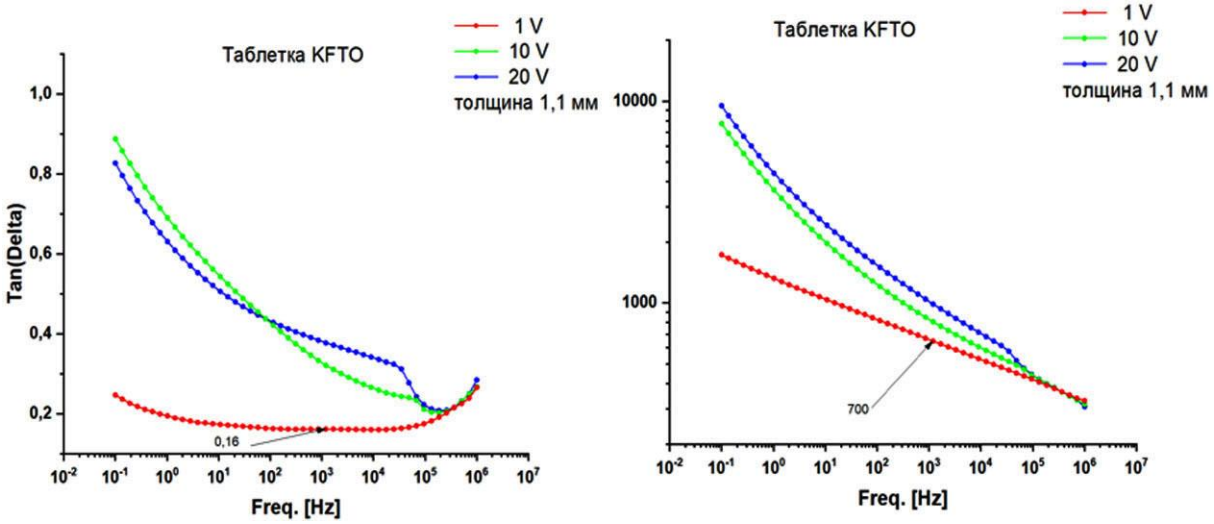


Рис. 2. Тангенс диэлектрических потерь и диэлектрическая проницаемость чистой таблетки KFTO при 1 кГц

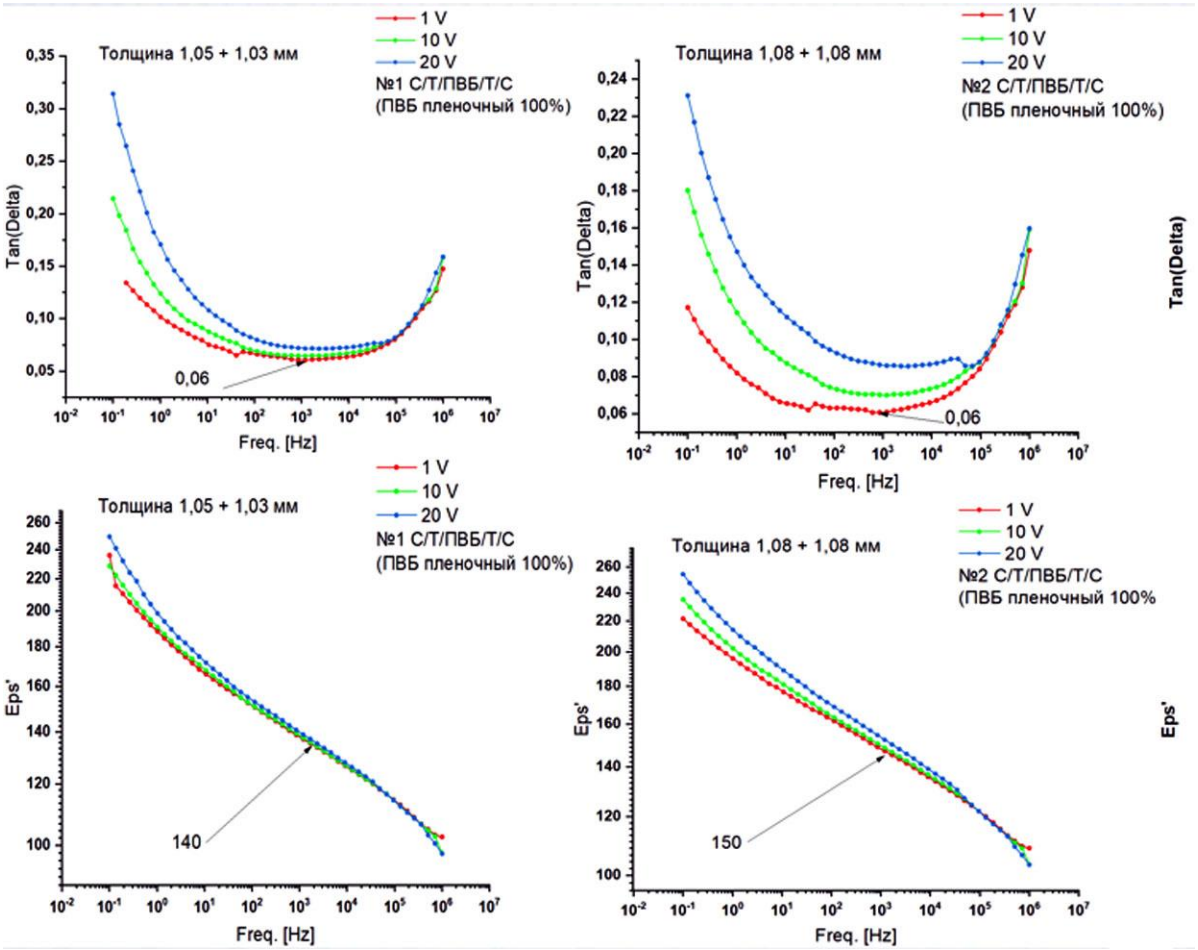


Рис. 3. Тангенс диэлектрических потерь и диэлектрическая проницаемость макетных образцов электростатических конденсаторов на основе KFTO при частоте 1 кГц

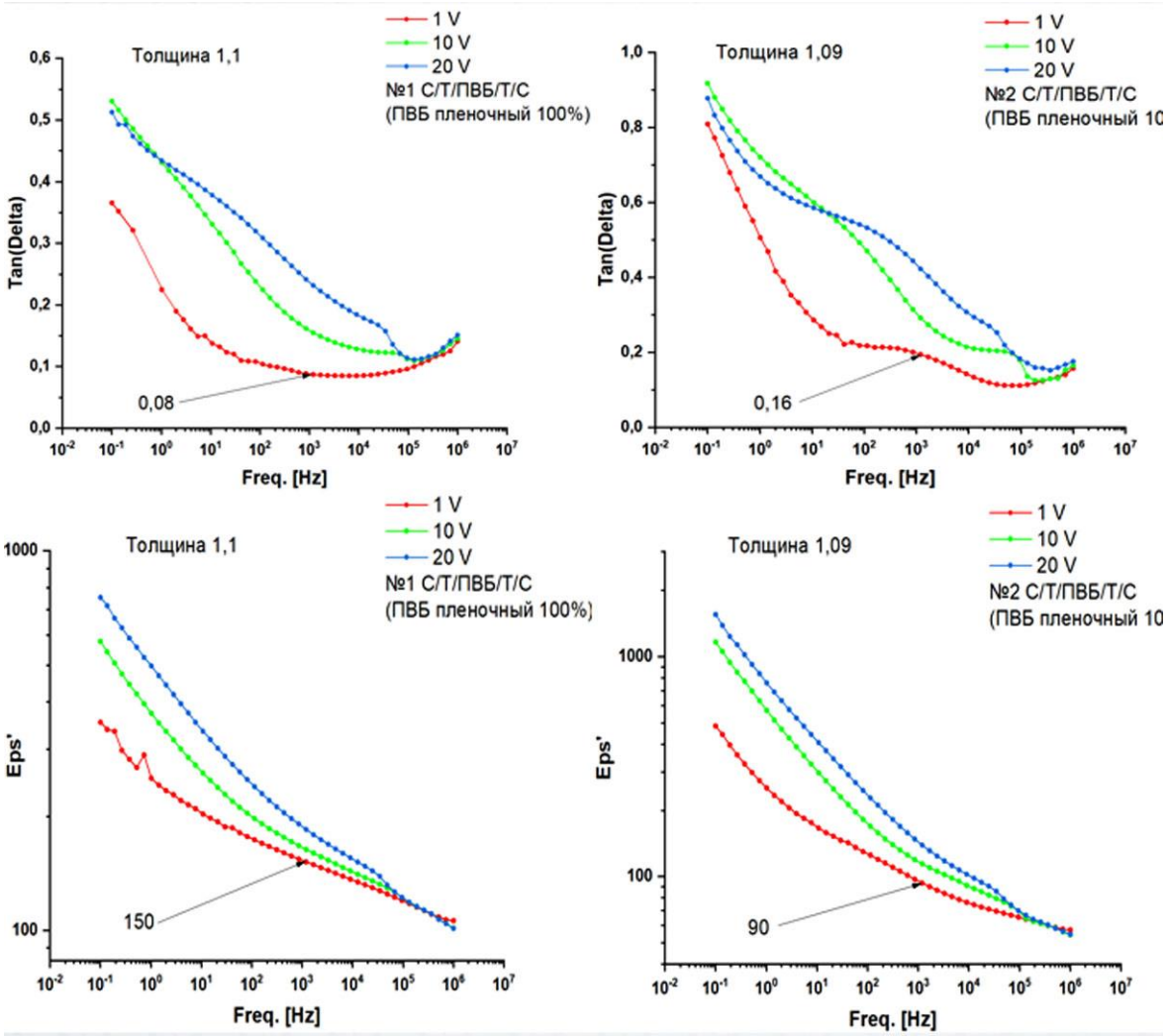
Чистая таблетка имеет следующие характеристики, тангенс диэлектрических потерь порядка 0,16 и диэлектрическую проницаемость 700.

Исходя из полученных результатов были изготовлены два типа электростатических конденсаторов. Первый тип имеет два слоя KFTO и один слой поливинилбутираля. Второй тип имеет один слой KFTO и два слоя поливинилбутираля.

Первый тип макетных образцов показал следующие результаты.

Макетный образец имеет следующие характеристики, тангенс диэлектрических потерь порядка 0,6 и диэлектрическую проницаемость 140-150.

Второй тип макетных образцов показал следующие результаты.



Макетный образец второго типа имеет следующие характеристики, тангенс диэлектрических потерь порядка от 0,08 до 0,16 и диэлектрическую проницаемость 90-150.

Таким образом, нами были получены макетные образцы электростатических конденсаторов на основе $K_{1,53}Fe_{1,52}Ti_{6,48}O_{16}$. Их электрофизические свойства требуют дальнейшего изучения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Acoustic Phenomena in Damaged Ceramic Capacitors / Levikari S., Karkkainen T.J., Andersson C., Tamminen J., Silventoinen P. // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2018. V. 65. – P. 570-577.

2. Tumurugoti P. Hollandites' crystal chemistry, properties, and processing: a review/ Tumurugoti, P (Tumurugoti, Priyatham); Betal, S (Betal, Soutik); Sundaram, SK (Sundaram, S.K.) // International materials reviews, 2021. – V. 66. R. 3. – P. 141-159.

3. Sol-gel synthesis and leaching of potassium hollandites / Besprozvannykh N.V., Sinel'nikova O.Y., Kuchaeva S.K., Ugolkov V.L., Al'myashev V.I., Smirnova A.M., Koptelova L.A., Petrov S.A. // Russian journal of applied chemistry, 2015. – V. 88. R. 2. – P. 192-196.

СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАЗМЕННЫХ ОКСИДИРОВАННЫХ НИОБИЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

Маркелова О.А., Пичхидзе С.Я.

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

Аннотация. *В статье рассмотрены особенности структуры и морфологии покрытий, полученных методом плазменного напыления на титановой основе с использованием порошка ниобия и последующей модификации покрытий методом микродугового оксидирования.*

Ключевые слова: *плазменное напыление, микродуговое оксидирование, ниобий, титан*

Технология плазменного применения, позволяющая получить пористые покрытия, обладающие достаточной адгезионной прочностью, нашла применение в области медицины, а именно в имплантологии [1].

К имплантационным материалам предъявляется ряд требований, основным из которых является их биосовместимость. Обычно имплантируемые конструкции изготавливаются из сплавов титана, обладающих высокими механическими характеристиками и являющимися биоинертными. Однако остается риск возникновения коррозии титановых имплантатов, которая вызывает периимплантит [2].

Предлагается наносить на поверхность титановых конструкций покрытия на основе ниобия, которые позволят расширить область их применения [3].

Нанесение порошка ниобия марки НбП-2б проводилось на установке плазменного напыления УПН-28 на образцы из титана марки ВТ1-00 в виде шайб диаметром 15 мм, толщиной 4 мм при дистанции напыления 100 ± 2 мм, токи дуги плазмотрона 350 ± 5 А. Затем проводили микродуговое оксидирование (МДО) в щелочном водном 3 % растворе NaOH и термическое окисление в муфельном шкафу при 700° С / 30 мин.

Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (ЭДРА), полученных покрытий подтверждает наличие ниобия, кислорода, титана и некоторых других примесей (рис. 1).

После процесса МДО структурно-морфологических характеристики плазменных покрытий изменяются (рис. 2). Так, микрорельеф поверхности сглаживается, отдельные напыленные частицы-капли размером до 10 мкм не прослеживаются на поверхности. При этом, на поверхности появляются выраженные микропоры размером 10-20 мкм (рис. 2, в).

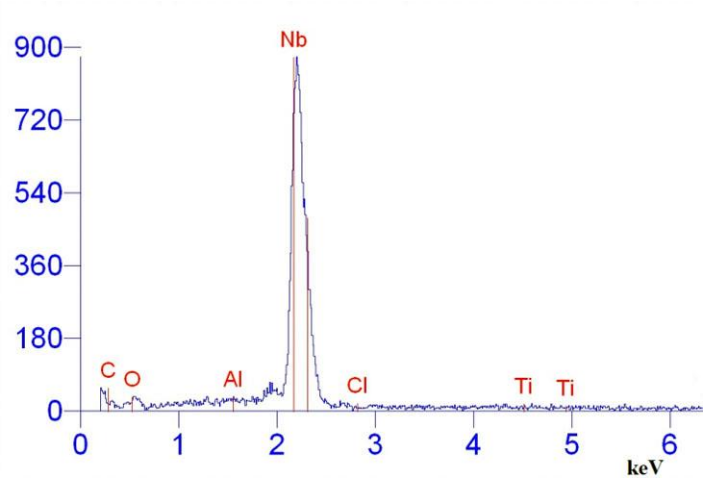
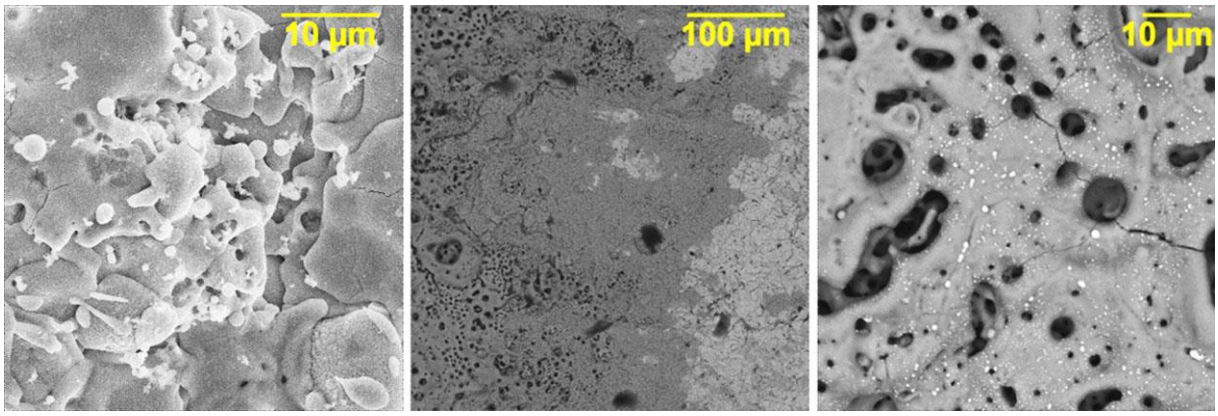


Рис. 1. ЭДРА плазменных ниобиевых покрытий с МДО



а б в

Рис. 2. СЭМ поверхности плазменных ниобиевых покрытий: а – без модификации МДО, б, в – модифицированные МДО на различных участках поверхности

Таким образом, полученные покрытия обладают достаточной пористостью, что может благоприятно сказаться на процессах остеоинтеграции. Благодаря последующей МДО, поверхность напыленных образцов обладает большей равномерностью, отсутствуют крупные слабозакрепленные частицы, что в перспективе увеличит адгезионно-когезионные свойства покрытий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Фомин А.А. Плазменное напыление порошковых покрытий и электротермическая обработка титановых изделий: учебное пособие / А.А. Фомин. – Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, ЭБС АСВ, 2021. – 108 с. – ISBN 978-5-7433-3433-9. – Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: https://www.iprbookshop.ru/117214.html (дата обращения: 11.07.2024). – Режим доступа: для авторизир. пользователей. – DOI: https://doi.org/10.23682/117214.

2. Rodrigues C., Valderrama D., Wilson P., Palmer T., Thomas K., Sridhar A., Adapalli S., Burbano A., Wadhwani M., Chandur / Titanium Corrosion Mechanisms in the Oral Environment: A Retrieval Study // Materials, 2013. Vol. 6. 5258-5274. 10.3390/ma6115258.

3. Пат. № 2686093. Способ нанесения биоинертных покрытий на основе ниобия на титановые имплантаты, 2018 / Романов Д.А. Заявка: 2018123888, 2018.06.29. Опубликовано: 24.04.2019.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С КОСТНОЙ ТКАНЬЮ

Осипова Е.О., Маркелова О.А., Кошуро В.А., Фомин А.А.

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

Аннотация. *В работе рассматривается влияние модуля упругости титановых покрытий, полученных методом электроплазменного напыления с последующей индукционно-термической обработкой на напряженно-деформированное состояние системы «костная ткань – имплантат с покрытием». Было установлено, что минимальное напряжение возникает у изделия с покрытием при минимальном показателе модуля упругости равном 35 ГПа и составляет порядка 10 МПа.*

Ключевые слова: *титан, электроплазменное напыление, индукционно-термическая обработка, костная ткань, модуль упругости, напряжение, деформация*

Известно, что изделия биомедицинской инженерии, контактирующие непосредственно с костной тканью, должны обладать рядом необходимых свойств. Для этого на их поверхность наносят биосовместимые покрытия, которые схожи по структуре и механическим характеристикам костной ткани, а также способствуют остеоинтеграции.

Механические характеристики изделий восстановительной медицины (прочность, твердость, износостойкость и способность к устойчивости к ударным нагрузкам) являются одними из ключевых факторов, определяющим их эффективность и долговечность. Известно, что прочность и твердость изделий влияют на их способность выдерживать механические нагрузки, которым они подвергаются в теле человека [1, 2].

Важное влияние на костную ткань оказывает модуль упругости. Например, изделия с модулем упругости значительно выше, чем у костной ткани, могут приводить к так называемому явлению стресс-шилдинга, т. е. когда кость испытывает меньшую нагрузку, что может вызывать ее ослабление или атрофию [3]. Если же модуль упругости имплантата значительно меньше, данного показателя кости, то это может привести к ее перелому [4].

В настоящее время широкое применение получило компьютерное моделирование, позволяющее проектировать модели костей с эндопротезом под конкретного пациента. Для оценки разрабатываемых изделий восстановительной медицины, необходимо определить напряженно-деформированное состояние системы (НДС) «костная ткань – имплант с биосовместимым покрытием» при функциональных нагрузках. Таким образом, целью данной работы являлось определения влияния модуля упругости на НДС системы.

Для исследований системы «костная ткань – имплантат с покрытием» был взят фрагмент зубного протеза челюстной кости. Предполагалось, что изделие выполнено из титана марки ВТ1-0 с нанесенным электроплазменным покрытием (ЭПН) и ЭПН с последующей индукционно-термической модификацией (ИТО).

Для моделирования системы «костная ткань – имплант с покрытием» взяты среднестатистические данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Расчетные величины основных механических характеристик элементов системы

Материал	Режим обработки	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент Пуассона
Кортикальная ткань	–	30	0,3
Ti имплант с ЭПН покрытием	–	49	0,34
Ti имплант с покрытием ЭПН + ИТО	ИТО при I = 2,4 кА	35 ГПа	0,35
	ИТО при I = 2,6 кА	55 ГПа	0,35
	ИТО при I = 3,0 кА	62 ГПа	0,35

Было принято, что во время эксплуатации имплантат подвергается равномерно приложенным по верхней площади изделия жевательным нагрузкам равным 250 Н согласно известным данным [5]. Была смоделирована конечно-элементная модель, описывающая систему «костная ткань – имплант с покрытием» (рис. 1).

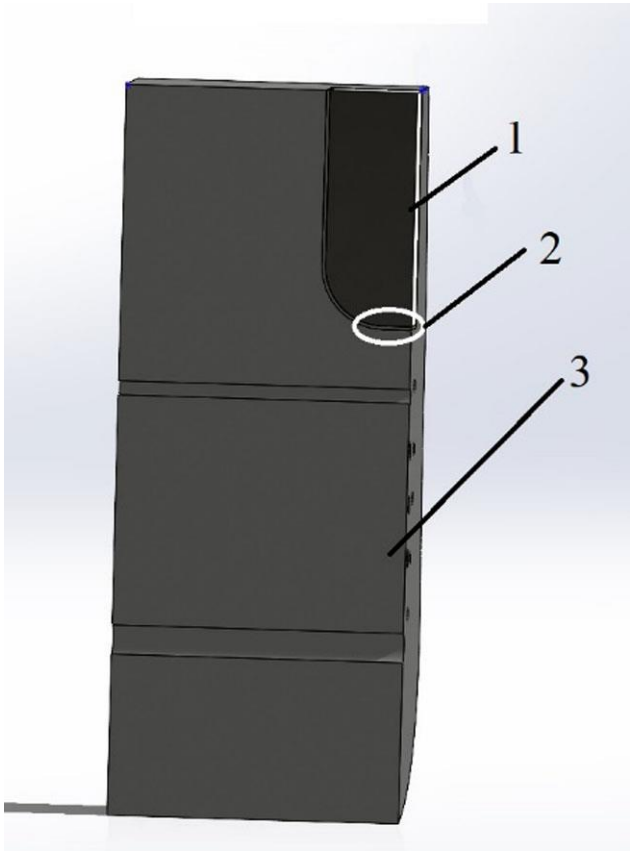


Рис. 1. Система «костная ткань – имплант с покрытием»,
где 1 – Ti изделие, 2 – Ti покрытие, 3 – костная ткань

В результате моделирования были определены компоненты НДС всех ее составляющих. Были использованы картины распределения эквивалентных напряжений по Мизесу, характеризующие напряженное состояние в любой точке исследуемого объекта (рис. 2). Для анализа деформируемости модели были использованы картины распределения линейных результирующих напряжений.

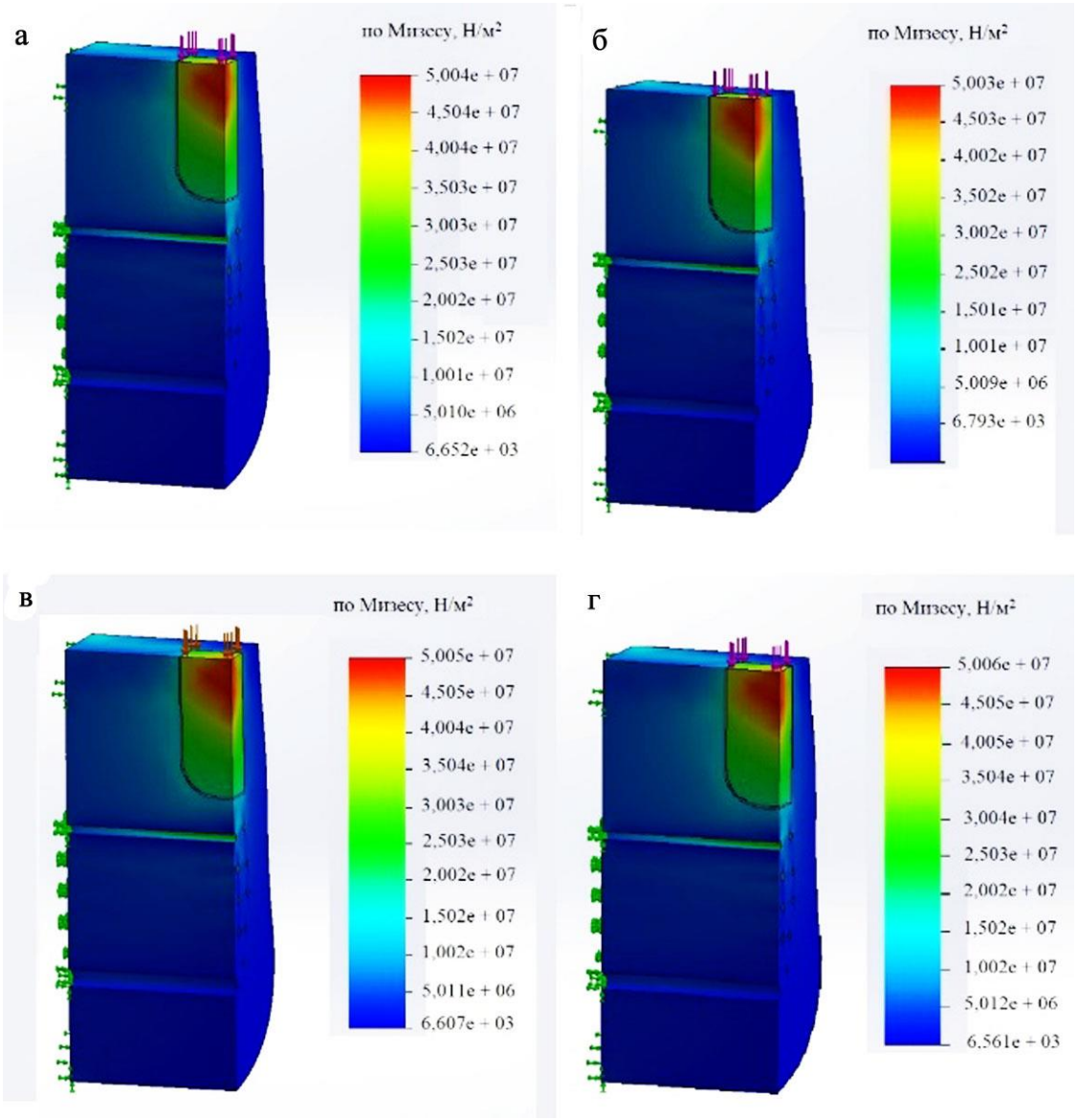


Рис. 2. Распределение напряжения в системе «костная ткань – имплант с покрытием»:
а – изделие с ЭПН покрытием; б – ЭПН + ИТО (при Е = 35 ГПа);
в – ЭПН + ИТО (при Е = 55 ГПа); г – ЭПН + ИТО (при Е = 62 ГПа)

Полученные в результате расчетов параметры НДС системы установило, что у ЭПН покрытия максимальное напряжение находится у поверхности в центре изделия и составляет 5×10^7 Н/м^2, при этом минимальное значение составляет 2×10^7 у основания изделия (рис. 2, а). Модель с покрытием ИТО + ЭПН и модулем упругости 35 ГПа не привела к изменениям максимального значения, минимальное – $1{,}5 \times 10^7$ (рис. 2, б). При Е = 55 ГПа и 62 ГПа изменений не наблюдалось (рис. 2, в, г). Наименьшее напряжение наблюдалось у изделия с минимальным модулем упругости (35 ГПа) и составляло 1×10^7 Н/м^2.

Анализ перемещения в системе показал, что у ЭПН покрытий и у ЭПН + ИТО при заданном диапазоне значений модуля упругости максимальное значение достигает отметки $7{,}7 \times 10^{-3}$ мм.

Моделирование деформации, возникающей в системе «костная ткань – имплант с покрытием» позволил заключить, что данный параметр во всех случая составляет $7{,}4 \times 10^{-4}$ мм.

Выводы:

В результате была смоделирована конечно-элементная модель, описывающая систему «костная ткань – имплант с покрытием». Были определены компоненты НДС всех ее составляющих. Было установлено, что в результате ИТО можно достичь значений модуля упругости в диапазоне от 35 до 62 ГПа, что является допустимым для изделий восстановительной медицины. Однако, максимально приближенным будет являться значение (35 ГПа) соответствует току индуктора 2,4 кА. Было установлено, что минимальные напряжения возникают на границе системы у изделия с модулем упругости 35 ГПа и составляют 1×10^{7} Н/м. Моделирование деформации и перемещение позволило установить, что данный параметр не оказывает влияние на эти значения, которые составляют $7{,}7 \times 10^{-3}$ мм и $7{,}4 \times 10^{-4}$ мм соответственно.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ильин А.А. Пористые слоистые композиционные материалы на основетитана в эндопротезах тазобедренного сустава / А.А. Ильин, А.М. Мамонов, В.Н. Карпов, А.В. Балберкин, Н.В. Загородний, С.В. Бабин, Е.Н. Егоров // Технология легких сплавов. – 2008. – Т. 3. – С. 73-79.

2. Фурсов А.А. Разработка конструкции установки и технологии плазменного напыления капиллярно-пористых титановых покрытий на детали эндопротезов / А.А. Фурсов, В.О. Хажакян // Лучшая научно-исследовательская работа. – 2022. – С. 41-47.

3. Лоскутов О.А. Дифференцированный подход к выбору бедренного компонента при эндопротезировании больных с диспластическим коксартрозом / О.А. Лоскутов, А.Е. Лоскутов, Д.А. Синегубов, К.С. Фурманова // Травма. – 2018. – Т. 19. (4). – С. 41-46.

4. Демина В.А. Биоразлагаемые наноструктурированные композиты для хирургии и регенеративной медицины / В.А. Демина, Н.Г. Седуш, Е.Н. Гончаров, С.В. Крашенинников, А.Е. Крупнин, Н.Г. Гончаров, С.Н. Чвалун // Российские нанотехнологии. – 2021. – Т. 16. – № 1. – С. 4-22.

5. Соловьев М.М. Биомеханические свойства тканей пародонта / М.М. Соловьев, В.В. Лысенков, И.И. Демидова // Стоматология. – 1999. – Т. 18. – № 3. – С. 61-67.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТА ВБЛИЗИ МЕДНОГО КОЛЬЦА С ЗАМКНУТЫМ И РАЗОМКНУТЫМ КОНТУРОМ

Фомин Г.А.[1], Саркисян И.О.[1], Фомина М.А.[2], Штейнгауэр А.Б.[2]
Научный руководитель: Штейнгауэр А.Б., д.т.н. Фомин А.А.

[2]*Муниципальное общеобразовательное учреждение «Средняя общеобразовательная школа № 8 Волжского района г. Саратова», г. Саратов*
[2]*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

Аннотация. *В работе выполнено экспериментальное исследование явления электрической индукции при движении, в том числе парении, постоянного магнита*

вблизи медной трубы и кольцевых заготовок с разомкнутым и замкнутым контуром. Разработана экспериментальная методика, позволяющая объяснить электрическую природу взаимодействия магнита с диамагнитным металлом, в частности с электротехнической медью.

Ключевые слова: *электрическая индукция, постоянный магнит, диамагнетик, медь, электрический ток, амперометрия, замкнутый контур*

Известно, что магнит обладает свойством притягивать к себе некоторые металлы, например сталь. Этот материал содержит в своем составе железо, которое является ферромагнетиком и обладает способностью к намагничиванию. На другие вещества, например дерево или картон, а также некоторые немагнитные металлические материалы, в частности медь, магнит не оказывает влияния, заметного глазом. Можно держать магнит и немагнитные образцы неподвижными или двигать относительно друг друга и все будет одинаково. Кажется, все ясно – одни вещества магнит притягивает, а другие нет. Но всегда ли это так? Чтобы ответить на этот вопрос, надо разобраться с явлениями электричества, магнетизма и их взаимовлияния.

Объект исследования: электрическое, магнитное и механическое взаимодействия магнита с предметами из немагнитных веществ и различной формы.

Предмет исследования: условия и закономерности движения (парения) магнита вблизи немагнитных веществ, а также связь магнетизма с электричеством.

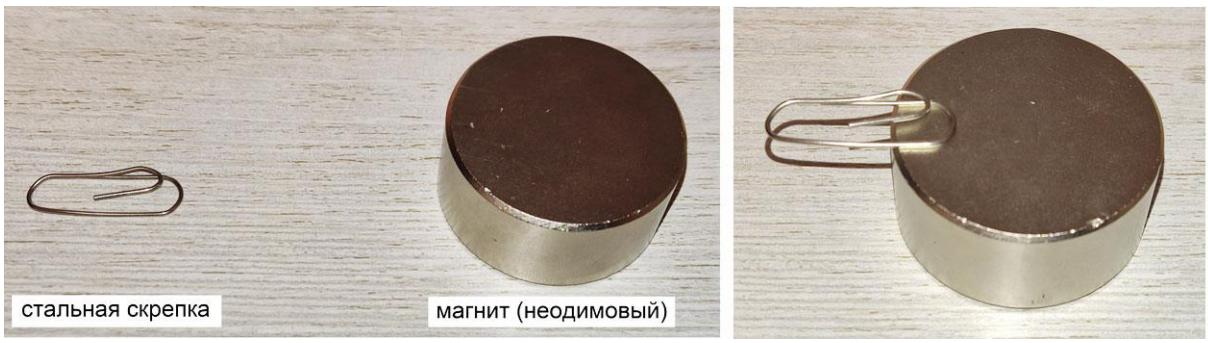
Цель работы: уточнить, как магнит взаимодействует с предметами из различных веществ и различной формы.

Гипотеза: магнит может взаимодействовать (парить и отталкиваться) с некоторыми немагнитными материалами, и формы этих предметов, в частности тип контура, оказывают влияние в условиях переменного магнитного поля.

Общая методика и результаты экспериментального исследования.

1. Начальный эксперимент «типовой опыт по взаимному притяжению магнита и стальной проволоки (скрепки)».

Из литературы известно, что магнит обладает магнитным полем с двумя полюсами – северным (N) и южным (S). Северный притягивается к южному, а южный – к северному. Например, стрелка компаса – маленький магнитик – поворачивается в магнитном поле Земли – большого магнита – и указывает направление «Север – Юг». Данное явление взаимного притяжения легко демонстрируется в системе «магнит – стальная проволока (скрепка)» (рис. 1, а). При их сближении на некотором расстоянии (около 40-50 мм) скрепка притягивается (примагничивается) к более массивному магниту (рис. 1, б).



а б

Рис. 1. Система «постоянный магнит – стальная проволока (скрепка)»:
а – исходное состояние; б – контактное взаимодействие (примагничивание)

Известно, что магнит также может при определенных условиях взаимодействовать с немагнитным металлами. Рассмотрим варианты такого взаимодействия и установим факторы, которые усиливают возникающие электромеханические эффекты.

2. Эксперименты с движущимся магнитом.

Эксперимент № 1 (основа гипотезы). Возьмем в руки сильный магнит и с небольшой высоты уроним его на коврик. Магнит упал, как падает с высоты любой предмет. Также попробуем уронить деревянную модель магнита с таким же размером. Модель магнита упала, как и сам магнит. Тут действует только гравитация и никакого магнетизма и электричества не наблюдается, только звук от падающих предметов.

Теперь возьмем медную (немагнитную) трубу, будем одной рукой держать ее на небольшой высоте (около 5-7 сантиметров) вертикально над ковриком, а другой рукой уроним сверху в трубу магнит. Магнит тоже упал сквозь трубу, однако скорость его движения была существенно ниже, чем без трубы. Возникла некоторая сила, которая вызвала торможение и парение магнита.

Определим влияние материала трубы (рис. 2).

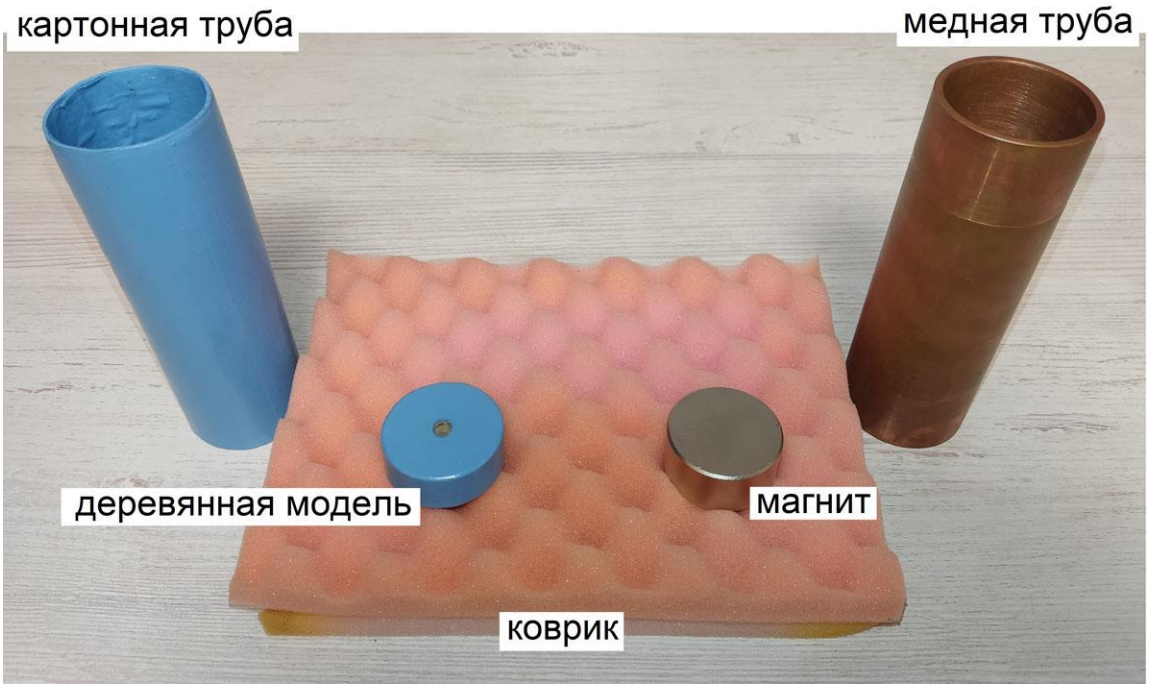


Рис. 2. Варианты взаимодействующих тел

Возьмем трубу таких же размеров, изготовленную из картона, и уроним сквозь нее магнит. Он упал так же быстро, как и без трубы.

Проведем еще одну проверку – возьмем предмет такой же формы и размеров, как магнит, но деревянный. Будем называть этот предмет «деревянная модель магнита» и уроним его сквозь медную трубу – он упал быстро, как без трубы.

Таким образом, когда постоянный магнит движется сквозь медную (немагнитную, диамагнитную) трубу, его тормозит некоторая индуцированная сила, что приводит к медленному парению магнита во внутреннем канале медной трубы.

Эксперимент № 2 (уточняющий).

Далее выполним проверку взаимодействия магнита с кольцевыми заготовками из разных материалов.

Если взглянуть на трубу сверху или снизу, то видно ее сечение в виде замкнутого контура с отверстием посередине – замкнутое кольцо. Возьмем разные образцы в виде колец и проверим их взаимодействие с магнитом (рис. 3).

Эксперимент № 2.1: Образец в виде «картонного кольца».

Подвесим картонное кольцо на штативе, далее несколько раз приближаем и удаляем магнит, но не толкая им образец и не создавая сильного потока воздуха. В результате наблюдаем отсутствие взаимодействия магнита и картонного образца.

Эксперимент № 2.2: Образец в виде «медного кольца».

Подвесим медное кольцо на штативе, далее несколько раз приближаем и удаляем магнит, но не толкая магнитом образец. При сближении магнита с кольцом последнее отталкивается от магнита, а при удалении магнита – кольцо притягивается. Наблюдается хорошо заметное взаимодействие.

Эксперимент № 2.3: Образец в виде «медного кольца с прорезью».

Подвесим медное кольцо с прорезью на штативе, далее несколько раз приближаем и удаляем магнит и, как выше указано, не толкаем его магнитом. Видим, что магнит и образец перестали взаимодействовать.

Таким образом, движущийся магнит взаимодействует только с медным кольцом, причем обязательно с замкнутым. Значит, геометрия взаимодействующих тел имеет важное значение, т. е. нужен замкнутый контур.

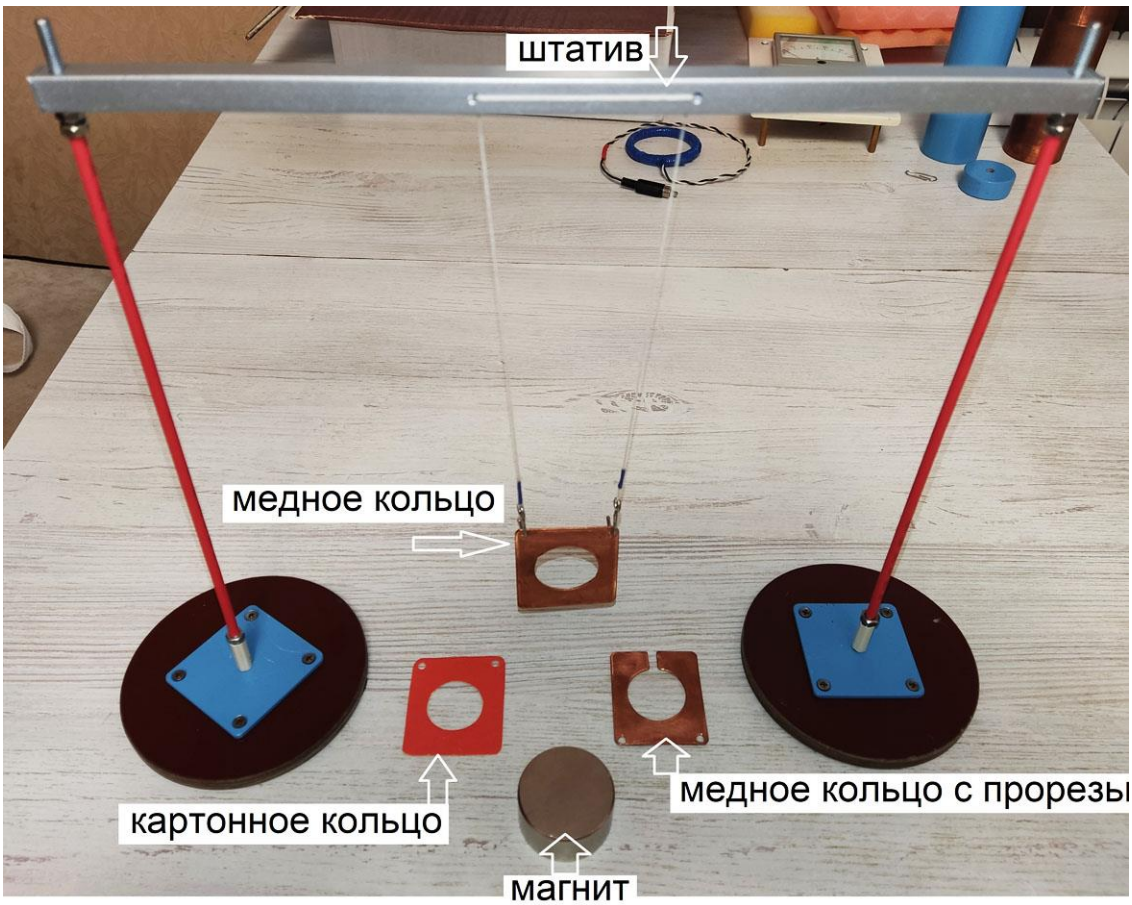


Рис. 3. Штатив с кольцами

Эксперимент № 3 (объясняющий природу наблюдаемого явления).

Различные устройства проявляют свою работоспособность, например, при излучении света или генерации звука, при замыкании электрической цепи. Такие устрой-

ства являются электрическими приборами. При их работе через металлические провода начинает проходить электрический ток. Возникает следующий вопрос: что именно появляется при движении (парении) магнита внутри замкнутого медного проводника и может ли это явление быть связано с появлением электрического тока?

Дял проверки данного предположения возьмем медную катушку, которая будет выполнять функцию датчика электрического тока. Катушка представляет собой медный провод, намотанный в виде кольца, только содержит не один виток, как в трубе или кольцах, а существенно больше (в эксперименте 30 витков).

Подключим катушку к индикатору тока – стрелочному прибору, амперметру (рис. 4). Стрелка амперметра отклоняется при возникновении электрического тока в цепи. Катушка вместе с индикатором тока образуют замкнутый контур, по которому может течь электрический ток, поэтому выполним проверку поставленной гипотезы.

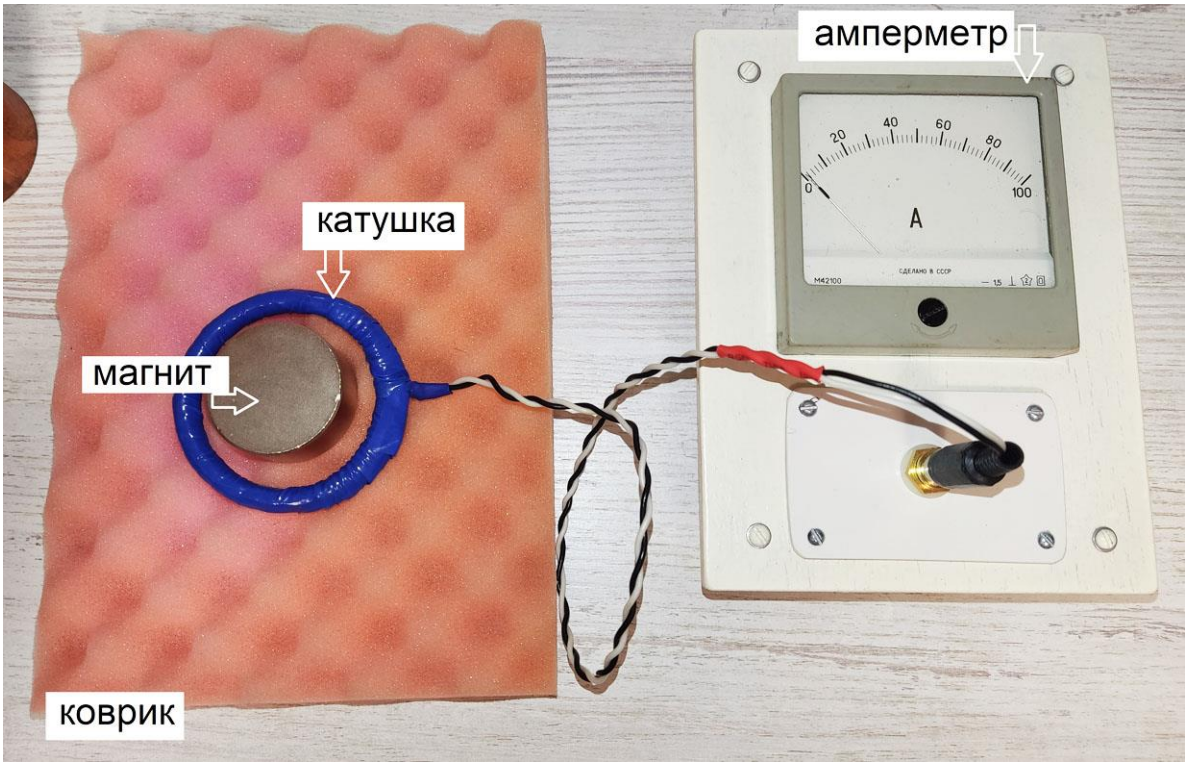


Рис. 4. Система «Магнит – катушка – амперметр»

Начнем приближать к катушке магнит. Наблюдаем, как стрелка индикатора отклонилась в сторону, а при удалении магнита от катушки стрелка отклоняется в другую сторону. Теперь положим магнит в катушку и оставим его неподвижным. Видим, что электрического тока не возникает (рис. 4).

Положим магнит на стол и станем приближать и удалять катушку. Ток возникает в цепи, что видно при движении стрелки прибора. Стало понятно, что не имеет значения какой из предметов двигать – магнит относительно катушки или катушку относительно магнита. Главное, чтобы они двигались относительно друг друга, что неизбежно вызовет электрический ток.

Таким образом, установлено, что при движении магнита и катушки относительно друг друга в замкнутой цепи возникает электрический ток. Это явление называется электрической индукцией. Именно это явление возникает при движении (парении) магнита внутри медной (диамагнитной, иначе вытесняющей магнитное поле) трубки.

Выводы

Взаимодействие магнита с проводниками электричества нужной формы (замкнутым контуром) находит применение в плавных и надежных тормозных системах транспорта будущего – скоростных электропоездах. В результате не будут больше изнашиваться колеса и рельсы. Самолеты и корабли также смогут мягко и плавно приземляться или пришвартовываться к берегу, а при этом инерция движения и запасенная механическая энергия будут превращаться в электричество и храниться в накопителях.

Электрическая индукция – явление возникновения электрического тока при движении проводника в магнитном поле используется для получения электричества на электростанциях. Еще одно применение, напоминающее описанный выше эксперимент, связано с торможением замкнутого проводника в магнитном поле, что используется в электродинамических тормозах.

ОПЫТ ПРОФОРИЕНТАЦИОННОЙ РАБОТЫ СРЕДИ ШКОЛЬНИКОВ ДЛЯ ПОПУЛЯРИЗАЦИИ НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ИЗУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И БИОМЕДИЦИНСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Маркелова О.А., Фомин А.А.

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

В течение 2023/2024 учебного года коллектив кафедры «Материаловедение и биомедицинская инженерия» (МБИ) [1] реализовывал мероприятия по популяризации инженерного образования, в т.ч. в области материаловедения и биомедицинской инженерии. Используя накопленный опыт в области профориентации школьников, удалось создать научно-популярные программы, объединяющие не только теоретический материал в виде интерактивных мини-лекций об основах анатомии, строении скелета человека, особенностях использования биоматериалов, конструирования биотехнических систем, о видах и свойствах материалов и др., но и практические задания.

Так, 6 октября в СГТУ имени Гагарина Ю.А. состоялся фестиваль NAUKA 0+, один из крупнейших просветительских проектов в области популяризации науки в мире (рис. 1).

Рис. 1. Интерактивная экспозиция на фестивале NAUKA 0+

Сотрудники кафедры МБИ организовали для посетителей фестиваля несколько площадок, на которых в научно-популярной форме продемонстрировали достижения ученых кафедры. Основная экспозиция располагалась в фойе Института машиностроения, материаловедения и транспорта (ИММТ). Преподаватели при помощи студентов кафедры продемонстрировали школьникам работу медицинского эндоскопа, рассказали о работе световодов и особенностях конструирования медицинской техники. Живой интерес посетителей вызвал аквариум с медицинскими пиявками. Также были продемонстрированы успехи биоинженерии – посетители увидели реальные конструкции внутрикостных имплантатов различного назначения, смогли проследить за созданием новых изделий с использованием 3D-печати. Все желающие смогли изучить принцип действия некоторых медицинских приборов и аппаратов, располагающихся в лаборатории кафедры. Еще одна локация была посвящена демонстрации посетителям фестиваля работы металлографических и оптических микроскопов, школьники смогли изучить шлифы с различными типами металлов и сплавов; измерить твердость и механические свойства материалов с использованием современного оборудования. Особое внимание было уделено перспективам учебы в институте ИММТ и на кафедре МБИ [2].

Данное мероприятие проводится традиционно, посещается множеством школьников различных классов и может рассматриваться как возможность охватить как можно больше желающих впоследствии получить инженерную специальность. Одной из задач мероприятия является стремление заинтересовать молодежь наукой, научными исследованиями и разработками, что успешно реализуется кафедрой за счет наличия реальных образцов медицинской техники и других изделий, которые можно «пощупать».

Одним из действенных способов для освещения деятельности кафедры являются выступления и публикации в СМИ. Поэтому в ноябре 2023 года д.т.н., член Российского Национального комитета по теоретической и прикладной механике (при РАН), академик Академии электротехнических наук Российской Федерации, заведующий кафедрой МБИ Фомин А.А. стал участником радиоэфира Public Talk, который проводился совместно с радиостанцией «Серебряный дождь». Ученый рассказал о современных достижениях в области биоинженерии, биомеханики, биофизики, биохимии и биоинформатики, а также подробно остановился на возможностях обучения абитуриентов на направлениях, связанных с биотехническими системами и технологиями, материаловедением и биосовместимыми материалами для медицинских изделий и приборов (рис. 2).

Рис. 2. Радиоэфир Public Talk

Участие в данном мероприятии позволило расширить аудиторию, знающую о возможности обучения материаловедению и биоинженерии в СГТУ имени Гагарина Ю.А., в т.ч. среди родителей будущих абитуриентов.

В День Российской науки (8 февраля) для гостей Информационного центра по атомной энергии (ИЦАЭ) Саратова прошла лекция «Титан – «философский камень» в медицине» заведующего кафедрой МБИ Фомина А.А. Спикер рассказал о том, как делают титановые внутрикостные имплантаты и какие материалы используют для их изготовления.

Гостями открытой лекции стали учащиеся школ, гимназий, лицея «Галактика 64» и педагоги-наставники, а также молодые специалисты предприятий реального сектора экономики. В рамках профориентационной работы лектор познакомил аудиторию с возможностями обучения в СГТУ имени Гагарина Ю.А., включая профильные программы подготовки студентов по направлениям «Биотехнические системы и технологии» (БИСТ) и «Материаловедение и технологии материалов» (МВТМ) (рис. 3).

Рис. 3. Лекция в ИЦАЭ

Благодаря тому, что еженедельно в 18 регионах страны Информационные центры становятся открытыми площадками, на которых любители интеллектуального досуга могут пообщаться с учёными, сыграть в интеллектуальные и настольные игры, стать зрителями научно-популярных ток-шоу и участниками мастер-классов, удалось повысить охват заинтересованной аудитории с возможностью дальнейшего привлечения школьников к участию в других мероприятиях кафедры.

Школьники проявили активность на выездных мероприятиях, проводимых СГТУ имени Гагарина Ю.А. Так, с 4 по 10 марта 2024 года на площадке «Регионального центра выявления, поддержки и развития способностей и талантов детей и молодёжи на территории Саратовской области «Галактика64» проходила многопрофильная инженерная смена «ПолитехПРО».

Сотрудники кафедры МБИ провели образовательный трек «Биоинженерия». Общая группа «BIOвектор», состоящая из 16 старшеклассников Саратовской области, прошедших конкурсный отбор была разделена на 4 команды, разрабатывающие свои проекты в области биоинженерии и новых материалов.

Защита проектов состоялась 9 марта, экспертное жюри и сами школьники оценивали актуальность работ, заинтересованность выступающих темой, качество и полноту ответов на вопросы. Все участники были награждены сертификатами и ценными призами. Призовые места распределились следующим образом:

– третье место поделили два проекта «Стоматологический имплантат с покрытием из сереброзамещенного гидроксиапатита» и «Экзоскелет – костюм будущего»;

– второе место занял проект «Искусственный монофокальный хрусталик глаза»;

– первого места удостоился проект «Портативное устройство для считывания эмоций и ритмов головного мозга».

Свои проекты ребята смогли выполнить благодаря знаниям, приобретенным в ходе курса лекций, охватывающих такие темы, как основы анатомии и строения костной ткани, основы биоинженерии и бионики, конструирование и проектирование биотехнических систем, введение в материаловедение и биосовместимые материалы, проведенных сотрудниками кафедры МБИ, а также мастер-классам, проведенным наставниками, совместно с сотрудниками ИММТ.

Своими впечатлениями об учебе в СГТУ имени Гагарина Ю.А. со школьниками поделились студенты бакалавриата гр. бБИСТ41 и гр. бМВТМ41, которые также рассказали школьникам в научно-популярной форме о тематике их выпускных работ.

Для более глубокого погружения школьников в разрабатываемые проекты провели экскурсию в СГТУ имени Гагарина Ю.А., где они смогли познакомиться с самым современным научно-исследовательским оборудованием лабораторий кафедры МБИ и других подразделений ИММТ.

Инженерная смена состояла не только из научной деятельности, но и культурно-массовых мероприятий. Совместно с отрядом волонтеров школьники подготовили визитную карточку команды «BIOвектор», представленную на открытии смены, приняли участие в интеллектуальных викторинах, творческих вечерах (рис. 4).

Рис. 4. Многопрофильная инженерная смена «ПолитехПРО»

С 11 по 14 апреля 2024 года СГТУ имени Гагарина Ю.А. проводил выездную смену «Мы – дети космоса», посвященную Дню космонавтики на базе детского оздоровительного центра «Ровесник» в Марксовском районе. Сотрудники кафедры МБИ являлись руководителем отряда «Комета», который состоял из школьников Саратова и области.

Ребята узнали о материалах, применяемых в космической отрасли и новых разработках в области биоинженерии. При помощи руководителя и вожатых школьники заглянули в будущее космических полетов и создали макет камеры для гибернации (рис. 5) [3]. Выездные смены позволяют глубже вовлечь школьников в научно-исследовательскую работу, понять особенности изучения инженерных специальностей.

Большое внимание уделяется популяризации науки и профориентации непосредственно на базе учебных учреждений (школ, колледжей).

Так, 5 апреля 2024 года сотрудники кафедры МБИ представили экспозицию на Форуме «Карьерная траектория: школьник – студент СГТУ – инженер», который про-

ходил на базе МОУ «Гимназия 89» Ленинского района г. Саратова. Школьникам были представлены современные достижения биоинжнерии и материаловедения, новейшие разработки ученых кафедры МБИ в области конструирования внутрикостных протезов различного назначения, получения покрытий для изделий машиностроения, приборостроения и медицины.

Посетители форума проявили интерес к направлениям обучения, реализуемым на кафедре, задавали множество вопросов, связанных с особенностями поступления, обучения и перспективами дальнейшего трудоустройства (рис. 6).

Рис. 5. Выездная смена «Мы – дети космоса»

Рис. 6. Экспозиция на Форуме
«Карьерная траектория: школьник – студент СГТУ – инженер»

30 марта 2024 года сотрудники кафедры МБИ в рамках проекта «Университетские субботы» провели ряд лекций со студентами колледжей г. Саратова, осуществляющих подготовку биоинженеров и технологов. Сотрудники кафедры провели мероприятие «Час с профессором». В научно-популярной форме участникам мероприятия рассказали об особенностях получения новых материалов для машино- и приборостроения, методах исследования их физико-химических и медико-биологических свойств. Особое внимание было уделено конструированию биотехнических систем.

Были представлены модели имплантатов различного назначения и реальные конструкции, в том числе разработанные учеными кафедры МБИ. Одна из лекций была посвящена работе современного научно-исследовательского оборудования, расположенного на кафедре МБИ, особенностях его применения для изучения свойств материалов и покрытий.

На площадке школы № 1 районного поселка Самойловка Саратовской области для учеников 9-11 классов состоялись профессиональные пробы «Попробуй себя в профессии!».

Сотрудники кафедры МБИ представили школьникам профориентационную площадку, где каждый ученик смог попробовать себя в профессии «Биоинженер». В ходе профессиональных проб школьники погрузились в содержание и характер труда предложенных профессий, познакомились со сферой деятельности и требованиями, предъявляемыми к профессиональным качествам работников.

16 декабря 2023 сотрудники кафедры МБИ в рамках проекта «Суббота лицеиста» провели встречу с учащимися 11 «А» и 11 «Б» классов МАОУ «Лицей 15», г. Саратов. Школьники на практике смогли изучить конструкции внутрикостных имплантатов различного назначения, ознакомились с современными методами получения материалов и покрытий.

В День российского студенчества 25 января сотрудники кафедры МБИ провели встречу с учениками МАОУ «СОШ № 90». На встрече представители СГТУ рассказали ребятам старших классов о важности получения высшего образования, об институтах и направлениях подготовки. Особое внимание было уделено студенческой жизни, возможностях реализовать себя в творчестве, спорте, науке и других сферах.

В конце весны преподаватели кафедры во главе с заведующим кафедрой посетили 10-е и 11-е классы саратовских школ, среди которых МОУ «СОШ № 8», МОУ «СОШ № 48», МАОУ «СОШ № 90», МАОУ «Лицей 15», МОУ «Гимназия 89», «Галактика64» и др.

Полученный опыт профориентационной работы сотрудников кафедры «Материаловедение и биомедицинская инженерия», включая популяризацию науки и высшего образования, будет полезен для всех инженерных направлений обучения в СГТУ имени Гагарина Ю.А.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кафедра «Материаловедение и биомедицинская инженерия» (МБИ): официальный сайт. Саратов. URL: https://www.sstu.ru/obrazovanie/instituty/immt/struktura/kafedry/mbi/ (дата обращения: 28.08.2024).

2. Кафедра «Материаловедение и биомедицинская инженерия» (МБИ). Кафедра МБИ представила экспозицию на фестивале NAUKA 0+: официальный сайт. Саратов. URL: https://www.sstu.ru/obrazovanie/instituty/immt/struktura/kafedry/mbi/news/kafedra-mbi-predstavila-ekspozitsiyu-na-festivale-nauka-0.html (дата обращения: 28.08.2024).

3. Кафедра «Материаловедение и биомедицинская инженерия» (МБИ). Подведены итоги многопрофильной инженерной смены: официальный сайт. Саратов. URL: https://www.sstu.ru/obrazovanie/instituty/immt/struktura/kafedry/mbi/news/podvedeny-itogi-mnogoprofilnoy-inzhenernoy-smeny.html (дата обращения: 28.08.2024).

ИТОГИ III ВСЕРОССИЙСКОЙ МОЛОДЕЖНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ»

Фомин А.А.

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

III Всероссийская молодежная конференция «Перспективные материалы и высокоэффективные процессы обработки» по сложившейся традиции прошла в конце весны в Саратовском государственном техническом университете имени Гагарина Ю.А. на базе кафедры «Материаловедение и биомедицинская инженерия» как в очном, так и дистанционном форматах.

Изначально конференция задумывалась как ежегодное отчетное мероприятие для студентов направлений подготовки «Материаловедение и технологии материалов» (МВТМ) и «Биотехнические системы и технологии» (БИСТ), а также аспирантов, обучающихся по научным специальностям 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и 1.1.10 «Биомеханика и биоинженерия». Теперь основной задачей конференции является представление и обсуждение новейших научных результатов фундаментальных исследований и практических достижений в области материаловедения, медицинской техники и процессов обработки материалов.

В этом году география организаций-участников расширилась и включила в себя свыше 40 университетов, академических институтов и научно-производственных организаций. Достижения фундаментальной и прикладной науки представили:

Московский государственный технический университет имени Баумана Н.Э. (г. Москва) – предложена математическая модель процесса дуговой сварки порошковой проволокой; рассмотрена актуальность применения источника ионов для обработки наноразмерных покрытий в вакууме; отработаны режимы формирования островковых наноструктур; проведено исследование на коррозионную стойкость алюминиевого сплава марки 8176; выявлена причина проявления пироэлектрических свойств в кристалле титаната бария; представлен алгоритм расчета времени процесса центрифугирования для формирования фотонно-кристаллических пленок; рассмотрены особенности АСМ коллоидной фотонно-кристаллической пленки;

Саратовский государственный университет имени Чернышевского Н.Г. (г. Саратов) в рамках международной кооперации: *Министерство электроэнергии Ирака (г. Багдад, Ирак)* и *Технологический университет (г. Багдад, Ирак)* – исследованы процессы, протекающие при взаимодействии лазерного излучения с двухслойной структурой алюминий/кремний на гибкой полиимидной подложке; получены результаты по лазер-стимулированной металл-индуцированной кристаллизации кремния на нетканых нановолокнистых подложках; предложена технология получения пленок

Ленгмюра на основе редокс-полимеров; получены наночастицы CdSe методом лазерной абляции; изучено влияние длительности ультразвуковой обработки и концентраций рабочих растворов солей на состав и структуру тканеинженерного каркаса;

Пензенский государственный университет (г. Пенза) – предложены конструкции волоконно-оптических датчиков, используемых в системах жизнеобеспечения космонавтов и пациентов в медицинских учреждениях; представлены особенности изготовления пассивной части интегральных схем и методы изготовления подложек для ГИС; устранены дефекты полимерных отливок; разработана технология термической обработки для коррозионностойкого композиционного материала; рассмотрено получение многослойного композиционного материала с повышенной коррозионной стойкостью; определены оптимальные режимы сварки взрывом для получения многослойного композиционного материала; проведен анализ схем сварки взрывом для формирования качественного соединения на границе волокно-матрица;

Северо-Кавказский федеральный университет (г. Ставрополь) – проведено квантово-химическое моделирование тройных хелатных комплексов; представлен химический метод синтеза наноразмерного селена, стабилизированного полисахаридами; изучена морфология поверхности и кристаллическая структура наноразмерных медьсодержащих соединений, стабилизированных хитозаном; представлены результаты исследования влияния кремнийсодержащей спекающей добавки на фазовый состав иттрий-алюминиевого граната;

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет) (г. Санкт-Петербург) – изучено влияние различных марок технического углерода в композиционном порошке на свойства карбидокремниевых материалов; методом реакционного спекания получен керамический карбидокремниевый материал;

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ (г. Казань) – проведено исследование образцов нахлесточного сварного соединения Д16 и ВТ1-0, выполненного лазерной сваркой; рассмотрены механические свойства бактериальной целлюлозы, используемой для восстановления органов и тканей;

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН (г. Кемерово) – показаны результаты по модификации электродного каменноугольного пека добавкой углеродного наноматериала таунит; описана установка по термоокислению электродных пеков; проведен обзор и анализ литературных источников о различных технологиях получения пеков;

Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина (*г. Снежинск*) – изготовлены ступенчатые медные мишени для экспериментов на мощной лазерной установке; представлена технология изготовления пенных материалов, используемых в качестве составной части мишеней;

Казанский национальный исследовательский технологический университет (г. Казань) – выполнены исследования механических свойств высокотемпературных материалов;

Институт нанотехнологий микроэлектроники РАН (г. Москва) – разработана модель температуры плавления льда в мезопористых структурах на основе кремния;

Сибирский федеральный университет (г. Красноярск) – измерена высокотемпературная теплоемкость соединения $Bi_2Ge_2O_7$;

Иркутский национальный исследовательский технический университет (*г. Иркутск)* и *Колледж оборонной промышленности* (*Вьетнам, г. Ханой)* – представили

результаты по определению сжимающих остаточных напряжений в стальных валах, упрочненных маятниковым поверхностным пластическим деформированием;

Поволжский государственный технологический университет (г. Йошкар-Ола) – предложены способы увеличения фотоиндуцированной супергидрофильности пленок оксида титана;

Новосибирский авиационный технический колледж имени Б.С. Галущака (г. Новосибирск) – проведен аберрационный анализ оптической системы из полимерных материалов;

Уфимский университет науки и технологий (г. Уфа) – методом квантовохимического моделирования проведен анализ бис-фенилаланинатных комплексов переходных металлов;

Оренбургский государственный университет (г. Оренбург) – создана компьютерная модель элементов аппарата Илизарова;

Институт аналитического приборостроения РАН (г. Санкт-Петербург) – предложен метод обработки изображений новообразований с применением мультиспектрального источника излучения;

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева (г. Нижний Новгород) – изучено влияние фракционного состава металлического порошка, полученного методом газовой атомизации, на микроструктуру заготовок;

Московский политехнический университет (г. Москва) – установлен принцип работы типоофсетной печати для радиометок;

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева (г. Рыбинск) – представлена лабораторная установка, на которой исследован эффект памяти формы сплава Ni-Ti;

Филиал Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачёва в г. Новокузнецке (г. Новокузнецк) – установлено, что электронно-лучевая обработка эффективно упрочняет поверхностный слой титановых сплавов;

Волгоградский государственный технический университет (г. Волгоград) – сваркой взрывом получены композитные пластины в защитной атмосфере;

Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефте-продуктов в сельском хозяйстве (г. Тамбов) и *Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина (г. Тамбов)* – представлены результаты эксперимента с гидрофобным покрытием на меди;

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) (г. Москва) – использована нейронная сеть, предварительно обученная на результатах моделирования в CAE-системе, для анализа износа штамповой оснастки для горячей объемной штамповки;

Южный федеральный университет, Научно-исследовательский институт физики (г. Ростов-на-Дону) и *Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук (г. Ростов-на-Дону)* – представлены результаты исследования кристаллической структуры и зеренного ландшафта твердых растворов ниобатов натрия-калия и феррита висмута;

Научный автомобильный и автомоторный институт (ФГУП «НАМИ», г. Москва) и *МГТУ имени Н.Э. Баумана* – предложен способ формирования островкового покрытия методом магнетронного распыления из комбинированной мишени;

ООО «Научно-производственное предприятие «Мелитта» (г. Москва) – изучено оптическое пропускание монокристаллического сапфира в УФ-области спектра;

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II (г. Санкт-Петербург) – предложен метод повышения механических свойств эмалевых покрытий;

Челябинский государственный университет (г. Челябинск) и *СГТУ имени Гагарина Ю.А.* – рассмотрены термические превращения в полититанате калия, модифицированном ионами магния;

Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (г. Воронеж) – показаны результаты исследований систем композитных покрытий на основе нитридов и боридов переходных металлов, в частности титана и хрома;

Калужский филиал МГТУ имени Н.Э. Баумана (г. Калуга) – предложена клееная конструкция режущего инструмента для обработки зубчатых колес с внутренними зубьями;

Воронежский государственный университет инженерных технологий (г. Воронеж) – определены основные показатели композитных материалов на основе поливинилового спирта и полисахаридов различной природы.

Результаты аналитических исследований также представили: *Ульяновский государственный технический университет (г. Ульяновск), Балтийский федеральный университет имени И. Канта (г. Калининград), Чеченский государственный университет имени А.А. Кадырова (г. Грозный), Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова (г. Барнаул) и Кузбасский гуманитарно-педагогический институт Кемеровского государственного университета (г. Новокузнецк), Тульский государственный университет (г. Тула), Кубанский государственный университет (г. Краснодар), Рязанский государственный агротехнологический университет (г. Рязань), Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина (г. Краснодар), Херсонский государственный педагогический университет (г. Херсон)*.

Многие исследования выполнены в рамках грантов Российского научного фонда, государственного задания по науке Минобрнауки России, Фонда содействия инновациям и собственных программ развития университетов. При выполнении передовых исследорваний использованы ресурсы и оборудование центров коллективного пользования (ЦКП «Наукоемкие методы исследования и анализа новых материалов, наноматериалов и минерального сырья» ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», ЦКП Научно-исследовательского института физики Южного федерального университета «Электромагнитные, электромеханические и тепловые свойства твердых тел», ЦКП Северо-Кавказского федерального университета и др.).

Ученые *СГТУ имени Гагарина Ю.А.* представили результаты передовых исследований в направлениях:

– исследования электрофизических свойств керамики на основе титаната бария-калия; сорбции и десорбции хлоргексидина в модельном растворе плазмы крови на поверхности наноструктурных порошков полититаната калия; синтеза композиционных биоразлагаемых материалов на основе поливинилового спирта, крахмала и карбоксиметилцеллюлозы; физико-химических основ процессов механической активации алюмосиликатов кальция; получения композиционных материалов из растворов отходов полистирола в качестве связующего и наполнителя – модифицированного тяжелыми металлами полититаната калия; изучения каталитической активности гальванических сплавов; твердофазного метода синтеза электролита; исследования электрофизических свойств конденсаторов (кафедра «Химия и химическая технология материалов»);

– получения полиамидного композита с повышенным комплексом функциональных свойств; влияния терморасширенного графита на эксплуатационные характеристики эпоксидных композитов; изучения влияния компонентного состава электролита и катодной плотности тока на состав получаемых сплавов; получения композиционных электрохимических покрытий никеля, модифицированных углеродными нанотрубками и прошедшими СВЧ-обработку (*Энгельсский технологический институт (филиал) СГТУ Гагарина Ю.А., г. Энгельс*);

– исследования хеморезистивных характеристик окисленных гибридных максеновых гетероструктур в составе мультисенсорной линейки; исследования резонансных свойств наночастиц дисилицида молибдена; сверхкритического флюидного вспенивания органических стекол; экспериментальных исследований процессов деградации омической проводимости дисперсных структур на основе наночастиц анатаза при длительном воздействии постоянного тока (кафедра «Физика», при активном участии *Саратовского филиала Института радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН, г. Саратов,* и *Института проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов*);

– моделирования процессов ультразвукового формообразования расплава металла; вопросов улучшения качества фрезерной обработки с применением вакуумного стола (кафедра «Техническая механика и мехатроника»);

– применения фотополимерных биосовместимых смол; применения аддитивных технологий при производстве зубчатых передач (кафедра «Системотехника и управление в технических системах»).

В свою очередь ученые и молодые исследователи кафедры «Материаловедение и биомедицинская инженерия» представили следующие результаты исследований:

– прочностных характеристик пробивных пуансонов после проведения термической и химико-термической обработки;

– взаимодействия различных агрессивных сред с поверхностью нержавеющей стали;

– напряженно-деформированного состояния лезвия капсульного гастроскопа для биопсии;

– модернизированной конструкции зубного имплантата;

– модели имплантата позвонка с проверкой и анализом его механических свойств;

– эффективности использования ниобия в качестве материала для эндопротезов локтевого сустава;

– конструкции и модели кава-фильтра;

– математической модели корпуса слухового аппарата и его прочностных характеристик;

– толщины полимерно-порошкового покрытия и его сопротивления к истиранию;

– спектров распределения напряжений, перемещений, деформаций, запаса прочности и эпюры напряжений в конструкции модифицированных дентальных имплантатов;

– процесса плазменного напыления титана и гидроксиапатита на поверхность титановых имплантатов;

– напряжений, запаса прочности, коэффициента запаса усталостной прочности и коэффициента запаса предела текучести до и после термообработки стальных изделий;

– устройства для измерения внутриглазного давления;

– устройства позиционирования лазера для проведения операции лазерной коррекции зрения;

– шероховатости и морфологии поверхности меди после электроискровой проволочной вырезки;

– структуры и коррозионной стойкости металлокерамических покрытий, сформированных импульсной лазерной модификацией;

– морфологии и микротвердости поверхности титановых слоев, сформированных на стальных подложках лазерным распылением мишени;

– структуры и морфологии покрытий, полученных методом плазменного напыления на титановой основе с использованием порошка ниобия и последующей модификации покрытий методом микродугового оксидирования;

– модуля упругости титановых покрытий, полученных методом электроплазменного напыления с последующей индукционно-термической обработкой, и напряженно-деформированного состояния системы «костная ткань – имплантат с покрытием»;

– износостойких нитридных слоев, сформированных на инструментальной стали в результате индукционной химико-термической обработки в среде газообразного азота;

– сталь-титан-оксидной структуры, полученной комбинированным способом точечной контактной сварки с последующей термообработкой токами высокой частоты.

Научное издание

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ

Сборник научных трудов
по материалам III Всероссийской молодежной конференции

Редактор Л.А. Скворцова

Компьютерная верстка Т.В. Семеновой

Подписано в печать 21.07.2024 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