

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ СТРУКТУРНОЙ МАКРОКИНЕТИКИ И ПРОБЛЕМ  
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ им. А.Г. МЕРЖАНОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
НАУК (ЧЕРНОГОЛОВКА)  
ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(ТАМБОВ)  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ «МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ СТАЛИ И СПЛАВОВ» (МОСКВА)



**ХVI ВСЕРОССИЙСКАЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ  
ШКОЛА – СЕМИНАР ПО СТРУКТУРНОЙ МАКРОКИНЕТИКЕ  
ДЛЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
ИМЕНИ АКАДЕМИКА А.Г. МЕРЖАНОВА**

**Сборник научных материалов**

**10-12 октября 2018 г.**

**Черноголовка – 2018**



XVI Всероссийская с международным участием школа – семинар по структурной макрокинетике для молодых ученых имени академика А.Г. Мержанова. Черногловка. 10-12 октября 2018 г. / Сборник материалов. - Черногловка, ИСМАН. - 2018. – 139 с.

ISBN 978-5-9907575-3-0

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

В сборнике помещены программа и материалы XVI Всероссийской с международным участием школы-семинара по структурной макрокинетике для молодых ученых имени академика А.Г. Мержанова. Темы докладов охватывают широкий круг проблем, связанных с исследованиями в области макрокинетики процессов горения и взрыва, самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, применения этих процессов для получения новых материалов, а также связанных с этой областью современных проблем материаловедения, термодинамики, химической кинетики и металлургии.

Сборник представляет интерес для научных работников, студентов высших учебных заведений, аспирантов, инженерно-технического персонала, связанного с разработкой новых конструкционных и функциональных материалов.

© Авторы публикаций, 2018

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

*Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук, 2018*



## Состав оргкомитета

### Ректор Школы – семинара

М.И. Алымов - чл.-корр. РАН, профессор, директор ИСМАН (Черноголовка)

### Председатель Оргкомитета:

А.М. Столин - д.ф.-м.н., профессор, руководитель НОЦ ИСМАН (Черноголовка)

### Зам. председателя Оргкомитета:

В.Н. Санин - д.т.н., зам. директора ИСМАН (Черноголовка)

С.М. Алдошин - академик, директор ИПХФ РАН (Черноголовка)  
В.М. Бузник - академик, советник Генерального директора ВИАМ (Москва)  
А.Л. Бучаченко - академик, председатель Президиума НЦЧ РАН (Черноголовка)  
В.В. Грачев - к.ф.-м.н., зам. директора ИСМАН (Черноголовка)  
В.Л. Данилов - д.т.н., профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва)  
О.В. Егоров - глава муниципального образования «Городской округ Черноголовка»  
О.К. Камынина - к.ф.-м.н., ученый секретарь ИСМАН (Черноголовка)  
М.И. Карпов - чл.-корр. РАН, профессор, зав. лаб. ИФТТ РАН (Черноголовка)  
В.В. Козлов - академик, вице-президент РАН (Москва)  
А.Г. Колмаков - д.т.н., директор ИМЕТ РАН (Москва)  
М.Н. Краснянский - д.т.н., профессор, ректор ТГТУ (Тамбов)  
Д.В. Кузнецов - к.т.н., зав. кафедрой НИТУ «МИСиС» (Москва)  
С.А. Моргачева - зам. председателя НЦЧ РАН (Черноголовка)  
Л.С. Стельмах - д.т.н., вед.н.с. ИСМАН (Черноголовка)  
М.Р. Филонов - д.т.н., профессор, проректор НИТУ «МИСиС» (Москва)

### Программный комитет:

#### Председатель:

П.М. Бажин - к.т.н., зам. директора ИСМАН (Черноголовка)

#### Зам. председателя:

С.И. Дворецкий - д.ф.-м.н., профессор, проректор ТГТУ (Тамбов)

Г.С. Баронин - профессор, руководитель, НОЦ ТГТУ-ИСМАН (Тамбов)  
В.А. Горшков - д.т.н., в.н.с. ИСМАН (Черноголовка)  
Е.В. Костицына - к.т.н., н.с. НИТУ «МИСиС» (Москва)  
Н.Ф. Шкодич - к.ф.-м.н., руководитель аспирантуры ИСМАН (Черноголовка)  
В.И. Юхвид - д.т.н., профессор, зав. лаб. ИСМАН (Черноголовка)

### Рабочий комитет:

О.Н. Козырева - начальник АХО (Черноголовка, ИСМАН)  
М.В. Михеев - м.н.с. (Черноголовка, ИСМАН)  
О.А. Аверичев - м.н.с. (Черноголовка, ИСМАН)  
А.П. Чижиков - аспирант (Черноголовка, ИСМАН)  
П.А. Столин - м.н.с. (Черноголовка, ИСМАН)  
А.С. Константинов - аспирант (Черноголовка, ИСМАН)  
А.В. Болоцкая - аспирант (Черноголовка, ИСМАН)  
А.Д. Прокопец - инж.-иссл. (Черноголовка, ИСМАН)

**XVI Всероссийская с международным участием Школа-семинар по  
структурной макрокинетике для молодых ученых имени  
академика А.Г. Мержанова**

**Программа**

**Среда, 10 октября 2018г.**

**9:30** Регистрация участников

**10:00** Церемония открытия Школы-семинара

**Алымов М.И.** профессор, чл.-корр. РАН, директор ИСМАН, ректор Школы (Черноголовка, ИСМАН)

**Столин А.М.**, профессор, председатель оргкомитета Школы (Черноголовка, ИСМАН)

**Приветственные слова гостей Школы**

**Утреннее заседание**

**10:30 Яновский Леонид Самойлович**, д.т.н., профессор, начальник отдела «Двигатели и химмотология» ЦИАМ, зав. лабораторией горения в высокоскоростных потоках, зав. отделом горения и взрыва ИПХФ РАН (Черноголовка). Энергоемкие топлива нового поколения для перспективных летательных аппаратов (приглашенная лекция).

**11:05 Петржик Михаил Иванович**, д.т.н., в.н.с. НЦЦ СВС МИСиС-ИСМАН (НИТУ «МИСиС», Москва). Деформация и разрушение материалов и покрытий в условиях вдавливания, скольжения, царапания и удара (приглашенная лекция).

**11:45 Кузнецов Денис Валерьевич**, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой функциональных наносистем и высокотемпературных материалов (НИТУ «МИСиС», Москва). Нанодисперсные материалы: получение и применение (приглашенная лекция).

**12:20 Кофе-брейк**

**12:35 1. Марушина А.А.** студентка, Бурмистров И.Н., Кузнецов Д.В., Хайдаров Б.Б., Суворов Д.С. (НИТУ «МИСиС», Москва). Исследование структурных характеристик микросфер гексаферрита стронция, полученных методом пиролиза ультразвуковых аэрозолей.

2. **Азарцова В.В.** студент, Павлова Е.А. (СПбГТИ (ТУ), Санкт-Петербург). Синтез наноразмерного оксида алюминия методом растворного горения.
3. **Картова<sup>1</sup> А.М.** студентка, Скрыбин<sup>1</sup> А.С., Павлов<sup>1</sup> А.В., Телех<sup>1</sup> В.Д., Серов<sup>1</sup> М.М., Сачкова<sup>2</sup> Н.В., Сычёв<sup>2</sup> А.Е. (<sup>1</sup>- МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва; <sup>2</sup>- ИСМАН, Черноголовка). Экспериментальное изучение процессов получения микронных частиц при электровзрывной обработке металлических волокон.
4. **Алексеева А.В.** студент. (НИТУ «МИСиС», Москва). Исследование процессов восстановления кислородосодержащих соединений железа».
5. **Глебоко В.В.** молодой ученый (ДонНТУ, Донецк). Пределы воспламенения многокомпонентных шахтных аэрозолей.
6. **Регер А.А.** студент, Болгару К.А. (ТНЦ СО РАН, Томск) Исследование закономерности азотирования комплексного ферросплава – феррохромалюминия в режиме СВС.
7. **Чурсин С.С.** аспирант (НИ ТПУ, Томск). Особенности синтеза матричного материала для дисперсионного ядерного топлива при разбавлении инертной добавкой.
8. **Есболов<sup>1</sup> Н.Б.** молодой ученый, Терюкалова<sup>2</sup> Н.В., Смагулова<sup>1,2</sup> Г.Т. (<sup>1</sup>-РГП на ПВХ «Институт проблем горения» КН МОН РК, Алматы, Казахстан; <sup>2</sup>- Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан). Синтез углеродных нанотрубок методом CVD в реакторе к псевдокипящим слою катализатора.
9. Канаев А.Т., **Акмуллаева А.С.** молодой ученый. (ЖГУ им. И. Жансугурова, Талдыкорган, Казахстан). Результаты испытания биопрепаратов против вредных саранчовых вредителей в Казахстане.
10. **Цветков М.В.** молодой ученый, Зайченко А.Ю., Подлесный Д.Н., Салганский Е.А., Салганская М.В. (ИПХФ РАН, Черноголовка). Горение торфа при естественной конвекции окислителя.

**14:00 Обед**

**Вечернее заседание**

- 14:30**
1. **Таранова А.И.** студент, Новицкий А.П., Воронин А.И., Ховайло В.В. (НИТУ «МИСиС», Москва). Исследование влияния легирования ванадием на термоэлектрические свойства сплавов Гейслера состава  $Fe_2Ti_{1-x}V_xSn$ .
  2. **Хамитова Р.В.** студентка, Галышев С.Н. (УГАТУ, Уфа). Изучение влияния времени отжига на структуру и свойства материала на основе МАХ-фаз системы Ti-Al-C.
  3. **Серопян С.А.** студент, Сайков И.В., Вадченко С.Г., Алымов М.И. (ИСМАН, Черноголовка). Повышение прочности реакционных

материалов на основе алюминия и никеля.

**4. Галлямова<sup>1</sup> Р.Ф.** молодой ученый, Галышев<sup>1</sup> С.Н., Бадамшин<sup>2</sup> А.Г., Мусин<sup>2</sup> Ф.Ф. (<sup>1</sup>- УГАТУ, Уфа; <sup>2</sup>- УФИХ РАН, Уфа). Получение покрытий для углеродных волокон методом золь-гель.

**5. Бикбердина Н.Я.** студентка, Бороненко М.П., Гуляев П.Ю. (ЮГУ, Ханты-Мансийск). Получение радиационностойкого материала на основе системы  $Fe_2O_3-Al-Cr_2O_3-MoO_3-Ti$  методом СВС.

**6. Колядко Д.К.** студент (НИ ТПУ, Томск). Реакционная способность шихт различных стехиометрий для СВ-синтеза матричных материалов дисперсионного ядерного топлива.

**7. Щербаков А.В.** молодой ученый, Щербаков В.А., Баринов В.Ю., Вадченко С.Г., Ковалев И.Д., Беликова А.Ф. (ИСМАН, Черногловка). Микроструктура и свойства композитов  $TiB_2-CrB$ , полученных электротепловым взрывом мехактивированных смесей.

**8. Измалков А.А.** аспирант, Коломейченко А.В., Логачев В.Н. (ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, Орел). Влияние аэрозольного флюсования на микротвердость покрытий, полученных электродуговым напылением.

**9. Мордасов М.Д.** студент (ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов). Исследование структуры и свойств дисперсных наполнителей на основе диоксида кремния.

**10. Чижиков А.П.** молодой ученый, Бажин П.М., Столин А.М., Константинов А.С. (ИСМАН, Черногловка). СВС-экструзия керамических электродов на основе оксидной керамики, упрочненной карбидами и боридами.

**11. Цветкова Ю.Ю.** молодой ученый, Кислов В.М., Пилипенко Е.В. (ИПХФ РАН, Черногловка). Поведение соединений серы при сжигании шин в режиме фильтрационного горения.

**12. Бодык Н.Т.** магистрант (НИТУ «МИСиС», Москва). Получение и исследование компактных образцов из гидридно-кальциевого порошка  $Ti-Nb-Ta$ .

**Четверг, 11 октября 2018 г.**

**Утреннее заседание**

**10:00 Классен Николай Владимирович**, к.т.н., заведующий лабораторией оптической прочности и диагностики кристаллов (ИФТТ РАН, Черногловка). Новые методы синтеза, необычные свойства и перспективы применений нанокompозитов из органических и неорганических веществ (приглашенная лекция).

**10:40 Сайков Иван Владимирович**, к.т.н., с.н.с. (ИСМАН, Черногоровка). О некоторых аспектах применения энергии взрыва в прикладном материаловедении (приглашенная лекция).

**11:10 Григорович Константин Всеволодович**, чл.-корр. РАН, профессор, заведующий лабораторией (ИМЕТ РАН, Москва). Современное развитие методов анализа легких элементов в металлах, сплавах и градиентных материалах (приглашенная лекция).

**11:50 Кофе-брейк**

**12:00 1. Калугина А.В.** студентка, Новицкий А.П., Карпенков Д.Ю., Воронин А.И., Ховайло В.В., Железный М.В. (НИТУ «МИСиС», Москва). Исследование термоэлектрических свойств интерметаллидов на основе Fe-Nb-Ga.

**2. Веснин В.Р.** студент, Крикоров А.А. студент, Чекушин Р.В. студент, Скрябин А.С., Чирков А.Ю. (МГТУ им. Н.Э. Баумана) Исследование абсорбционной способности многослойных покрытий в среднем ИК.

**3. Барсук Н.Д.** (ДонНТУ, Донецк). К вопросу о борьбе с воздействием ударных воздушных волн в подземных горных выработках.

**4. Боброва Д.О.** студентка, Бороненко М.П., Гуляев П.Ю. (ЮГУ, Ханты-Мансийск). Получение пористых фильтров методом СВС на основе системы Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**5. Гончарук С.Ю.** студент, Самборук А.Р. (СамГТУ, Самара). Применение пористых СВС-материалов в качестве фильтров.

**6. Пермикин А.А.** студент (НИ ТПУ, Томск). Применение СВ-синтеза при получении материалов дисперсионного ядерного топлива.

**7. Константинов А.С.** аспирант, Бажин П.М., Столин А.М., Боков А.В. (ИСМАН, Черногоровка). Влияние массовых соотношений компонент на реологическое поведение шихтовой смеси Ti-V.

**8. Собачкин<sup>1</sup> А.В.** молодой ученый, Логинова<sup>1</sup> М.В., Яковлев<sup>1</sup> В.И., Ситников<sup>1</sup> А.А., Филимонов<sup>1</sup> В.Ю., Иванов<sup>1</sup> С.Г., Мясников<sup>1</sup> А.Ю., Негодяев<sup>1</sup> А.З., Градобоев<sup>2</sup> А.В. (<sup>1</sup>- АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул; <sup>2</sup>- НИ ТПУ, Томск). Особенности теплового взрыва в порошковой смеси Ti-Al, подверженной предварительной механической активации и гамма-облучению.

**9. Щербакова<sup>1</sup> В.Б.** студентка, Классен<sup>2</sup> Н.В. (<sup>1</sup>- Химфак Белорусского государственного университета, Минск; <sup>2</sup>- ИФТТ РАН, Черногоровка). Химико-деформационное регулирование структуры и свойств приповерхностных слоев.

**10. Дворцевая<sup>1</sup> Н.А.** школьница, Винокуров<sup>2</sup> С.А. Классен<sup>2</sup> Н.В. (<sup>1</sup>- Физмат лицей, Сергиев Посад; <sup>2</sup>- ИФТТ РАН, Черногоровка). Формирование дешевых солнечных батарей из наноконструкций растений).

**11. Бурова Д.Н.<sup>1</sup> школьница**, Классен<sup>2</sup> Н.В. (<sup>1</sup>- Физмат лицей, Сергиев Посад; <sup>2</sup>- ИФТТ РАН, Черноголовка). Влияние магнитного поля на химические процессы в водных наносuspensions.

**12. Канаев А.Т., Аскарбекова К.Б.** молодой ученый, Абдилдаулы А., Сердалин А. (ЖГУ им. И. Жансугурова, Талдыкорган, Казахстан). Исследовано влияние звуков шумового потока на людей в некоторых районах г. Талдыкоргана (Казахстан).

**14:00 Обед**

### **Вечернее заседание**

**14:30 1. Коломиец<sup>1</sup> А.А.** школьник, Кудинова<sup>2</sup> А.А., Классен<sup>3</sup> Н.В. (<sup>1</sup>- Средняя школа № 45, пос. Ямкино; <sup>2</sup>- Физмат лицей, Сергиев Посад; <sup>3</sup>- ИФТТ РАН, Черноголовка). Исследования электромеханики, фотоэлектрики и энергетики живых растений.

**2. Храмцов М.А.** студент, Никитин А.А., Абакумов М.А., Савченко А.Г., Мажуга А.Г. (НИТУ «МИСиС», Москва). Разработка методики синтеза стержневых наночастиц магнетита для биомедицинского применения.

**3. Терещенко А.Н.** молодой ученый (ИФТТ РАН, Черноголовка). Легирование кремния донорными примесями как способ управления длиной волны дислокационного излучения.

**4. Лутовинова Т.А.** студент, Завражин Д.О. (ТГТУ, Тамбов). Исследование физико-механических свойств модифицированного СВМПЭ.

**5. Королева И.Л.** студентка, Лоскутова А.Д. (ТГТ, Тамбов). Высокотемпературное спекание композитных порошков.

**6. Ноняк Д.В.** аспирант, Первухина О.Л. (ИСМАН, Черноголовка). Определение уровня напряженно-деформированного состояния биметаллов, произведенных сваркой взрывом методом магнитной памяти металла.

**7. Лоскутова А.Д.** студентка, Королева И.Л., Макаrchук А.П. (ТГТУ, Тамбов). Температурная зависимость эффективной концентрации электронов в монокристалле полупроводника.

**8. Буренина А.И.** студент, Толстов Н.А. студент, Королев А.П., Макаrchук М.В. (ТГТУ, Тамбов). Влияние длительного отжига на химический состав высокоуглеродистой стали.

**9. Гомзин А.И.** магистрант, Галышев С.Н. (УГАТУ, Уфа). Получение алюминиевого композита, армированного углеродным волокном, методом пакетной формовки.

**10. Прокопец<sup>1,2</sup> А.Д.** магистрант, Столин<sup>1</sup> П.А., Аверичев<sup>1</sup> О.А., Бажин<sup>1</sup> П.М., Столин<sup>1</sup> А.М., Бердыченко<sup>2</sup> А.А. (<sup>1</sup>- ИСМАН,

Черноголовка; <sup>2-</sup> АлтГТУ, Барнаул). Особенности строения макрослойных покрытий на основе МАХ-фаза/Ti, полученных в условиях горения и высокотемпературного сдвигового деформирования.

**11. Танкова К.И.** студентка, Ананьева Е.С. (АлтГТУ, Барнаул). Изучение трансляции свойств модифицированного ультрадисперсными частицами связующего на свойства углепластиков

**12. Гончаров<sup>1,2</sup> Е.А.** студент, Кислов<sup>2</sup> В.М., Глазов<sup>2</sup> С.В., Салганская<sup>2</sup> М.В. (<sup>1-</sup> МГУ, Москва; <sup>2-</sup> ИПХФ РАН, Черноголовка). Воздушная конверсия продуктов газификации древесины в реакторе смешения.

**13. Малахов<sup>1</sup> А.Ю.** молодой ученый, Сайков<sup>1</sup> И.В., Николаенко<sup>1</sup> П.А., Первухин<sup>2</sup> Л.Б. (<sup>1-</sup> ИСМАН, Черноголовка; <sup>2-</sup> ЦНИИЧермет, Москва). Влияние режимов сварки взрывом на удлинение титановой трубы при плакировании медного стержня.

**14. Титов<sup>1</sup> Н.В.** молодой ученый, Столин<sup>2</sup> А.М., Бажин<sup>2</sup> П.М. (<sup>1-</sup> ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, Орел; <sup>2-</sup> ИСМАН, Черноголовка). Использование СВС-электродов на основе TiC-W<sub>2</sub>C для повышения ресурса рабочих органов плугов.

**15. Севостьянова<sup>1</sup> Т.М.** школьница, Колмакова<sup>2</sup> А.А. (<sup>1-</sup> Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение Домодедовский лицей № 3; <sup>2-</sup> ИМЕТ РАН, Москва). Исследование механических и химических свойств биомедицинского композиционного материала, полученного с использованием метода магнетронного осаждения.

**16. Винокуров С.А.** магистрант, Классен Н.В. (ИФТТ РАН, Черноголовка). Лазерное формирование фотонных кристаллов и оптических метаматериалов в наносuspensions.

**17. Канаев А.Т., Спабекова А.С.** молодой ученый, Турганов З.Т. (ЖГУ им. И. Жансугурова, Талдыкорган, Казахстан). Исследование условий синтеза огнеупорных материалов и определение их физико-технических характеристик.

**18. Канаев А.Т., Жакупжанова М.Ф.** молодой ученый, Камбарова А. (ЖГУ им. И. Жансугурова, Талдыкорган, Казахстан). Роль регуляторов роста на укоренение зеленых черенков комнатных растений в климатической камере.

**17:00 Кофе-брейк**

**17:30 Спорт.** Командный розыгрыш кубка имени академика А.Г. Мержанова по настольному теннису.

**Пятница, 12 октября 2018 г.**

**Утреннее заседание**

**10:00 Михайлов Борис Петрович**, д.т.н., с.н.с., чл.-корр. Академии электротехнических наук РФ (ИМЕТ РАН, Москва). Структурные трансформации и свойства ВТСП-лент под действием ударных волн плазмы (приглашенная лекция).

**10:35 Усенко Андрей Александрович**, к.т.н., с.н.с. (НИТУ «МИСиС», Москва). Технологии возобновляемой энергетики (приглашенная лекция).

**12:00 Шехтман Семен Романович**, д.т.н., профессор кафедры технологии машиностроения, декан вечернего факультета УГАТУ (Уфа). Синтез новых композиционных материалов в плазме дугового разряда и последующая высокотемпературная обработка (приглашенная лекция).

**12:35 Кофе-брейк**

**12:40 1. Панкратова Д.С.** студент, Новицкий А.П., Сергиенко И.А., Воронин А.И., Бурков А.Т., Ховайло В.В. (НИТУ «МИСиС», Москва). Исследование влияния легирования La на термоэлектрические свойства оксиселенидов  $\text{BiCuSeO}$ .

**2. Варпетян<sup>1</sup> А.М.** школьница, Классен<sup>2</sup> Н.В. (<sup>1</sup>- Средняя школа № 1, Ногинск; <sup>2</sup>- ИФТТ РАН, Черноголовка). Лазерное и электрическое модифицирование белков, ДНК и других биоматериалов.

**3. Чеклов С.А.** студент, Боброва Д.О., Бороненко М.П., Гуляев П.Ю. (ЮГУ, Ханты-Мансийск). Получение алюминиево-марганцевые сплавы методом СВС на основе системы  $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3\text{-MnO}_2$ .

**4. Богданова<sup>1</sup> Е.С.** ученик, Балусов<sup>2</sup> И.С. ученик (<sup>1</sup>- НЧШ, Черноголовка; <sup>2</sup>- СОШ № 82, Черноголовка). Шагающая робоплатформа на 5-звенных механизмах.

**5. Салганская<sup>1</sup> Я.Е.** школьница, Классен<sup>2</sup> Н.В. (<sup>1</sup>- Школа № 82, Черноголовка; <sup>2</sup>- ИФТТ РАН, Черноголовка). Практические применения оптических свойств древесины.

**6. Балачков М.М.** студент (НИ ТПУ, Томск). Математическое моделирование распространения волны горения в СВС в интерметаллидных системах.

**7. Юрченко М.Д.** студент (НИ ТПУ, Томск). Нейтронно-физические свойства интерметаллидов, получаемых методом СВС.

- 8. Капустин Р.Д.** молодой ученый, Петров Е.В., Сайков И.В. (ИСМАН, Черноголовка). Разработка научных основ создания технологии получения лигатур методом компактирования взрывом.
- 9. Прилипко С.Ю.** молодой ученый, Кудрявцев Ю.А., Беличко Д.Р., Глазунова В.А., Волкова Г.К., Герасименко В.М. (ДонНТУ, Донецк). Твердофазное спекание нанопорошковых компактов  $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3$ , полученных холодным изостатическим прессованием.
- 10. Кузнецов И.С.** молодой ученый. (ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, Орел). Исследования электроискрового покрытия из аморфного сплава марки 84КХСР.
- 11. Санин<sup>1</sup> В.В.** молодой ученый, Филонов<sup>1</sup> М.Р., Левашов<sup>1</sup> Е.А., Икорников<sup>2</sup> Д.М., Юхвид<sup>2</sup> В.И., Сентюрин<sup>3</sup> Ж.А. (<sup>1</sup>- НИТУ «МИСиС», Москва; <sup>2</sup>- ИСМАН, Черноголовка; <sup>3</sup>- ОАО «Композит», Королев). Стадийный процесс получения Fe/NiAl электродов из СВС сплава для центробежного распыления и получения сферических композиционных микрогранул для аддитивных технологий.
- 12. Калимуллина Э.М.** магистрант, С.Г. Изотова (СПбГТИ (ТУ), Санкт-Петербург). Синтез и физико-химические свойства нестехиометрических твердых растворов в системе оксидов железа и хрома.
- 13. Болоцкая А.В.** аспирант, Михеев М.В., Бажин П.М., Столин А.М. (ИСМАН, Черноголовка). СВС-экструзия компактных материалов на основе системы TiB-Ti, модифицированных добавками наноразмерного AlN.
- 14. Козерожец И.В.** молодой ученый, Семенов Е.А., Панасюк Г.П. (ИОНХ РАН, Москва). Получение и переходы наноразмерных частиц оксидов и гидроксидов алюминия.
- 15. Лаврова<sup>1</sup> А.Е.** школьница, Зарецкая<sup>1</sup> М.С., Львова<sup>2</sup> Г.Л. (<sup>1</sup>- МОУ СОШ № 75, Черноголовка; <sup>2</sup>- ИПХФ РАН, Черноголовка). Изучение инерции зрения с помощью зоотропа.
- 16. Вельковская<sup>1</sup> И.И.** студентка, Подлесный<sup>2</sup> Д.Н. (<sup>1</sup>- МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва; <sup>2</sup>- ИПХФ РАН, Черноголовка). Конверсия жидких топлив в реакторе с подвижным слоем инертного теплоносителя.
- 17. Тихонова<sup>1</sup> В.И.** школьница, Ли<sup>2</sup> В.М. (<sup>1</sup>- Школа № 82, Черноголовка; <sup>2</sup>- ИПХФ РАН, Черноголовка). Ферриоксалат калия - реагент для определения интенсивности света УФ и видимого диапазона.
- 18. Ковальский В.А.** школьник (МОУ СОШ №82, Черноголовка). ГОРУБСО вчера, сегодня, завтра.

**15:00** Церемония закрытия Школы-семинара, награждение лучших и активных участников.

## **НАНОДИСПЕРСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ: ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ**

*Кузнецов Д.В.*

*НИТУ «МИСиС», Москва*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10001**

В настоящее время использование наноматериалов является одним из наиболее эффективных методов повышения эксплуатационных характеристик различных керамических и композиционных материалов. В рамках данной работы для повышения эксплуатационных характеристик композиционных изделий использовались керамические нанопорошки со средним размером частиц 20 нм. Исследования физико-химических характеристик композитов проводились с использованием методов лазерной дифракции, рентгеновского анализа, электронной и оптической микроскопии, низкотемпературной адсорбции азота и других. В рамках модельных экспериментов был проведен сравнительный анализ различных методик введения наноматериалов в композитные материалы – перемешивание в сухом виде, использование суспензий наночастиц, обработка в аппарате вихревого слоя и другие.

Исследования показали, что оптимальным методом введения наночастиц в керамику, в наибольшей степени позволяющим использовать преимущества наноразмерного состояния, является обработка материала в аппаратах вихревого слоя (АВС). В АВС под действием вращающегося электромагнитного поля высокой мощности ферромагнитные рабочие тела приводятся в интенсивное вихревое движение. В результате в рабочем пространстве генерируется ряд эффектов, возникающих при ударах частиц друг о друга, о вещество, о стенки рабочей зоны и контакте между ферромагнитными рабочими телами. На следующем этапе работы был проведен выбор оптимальных концентраций нанодобавок. Установлено, что добавление наноразмерных частиц в количестве до 0.1 масс. % позволяет повысить предел прочности на сжатие корундомуллитовых изделий на 30-35 %, при этом наблюдается повышение плотности изделий на 2-3 %. Микроскопический анализ структуры излома образцов, модифицированных нанопорошками, показал, что разрушение модифицированного образца происходит преимущественно по объему зерен наполнителя, т.е. прочность связующего превышает прочность зерен наполнителя. Таким образом, в рамках проведенной работы была показана возможность существенного улучшения механических характеристик композитных керамических изделий путем введения наноразмерной фракции. Установлено, что эффективность применения нанодобавки определяется технологией ее введения в композитную матрицу.

## **СТРУКТУРНЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ И СВОЙСТВА ВТСП-ЛЕНТ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УДАРНЫХ ВОЛН ПЛАЗМЫ**

**Михайлов Б.П.**

***Федеральное Государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва,  
[borismix@yandex.ru](mailto:borismix@yandex.ru)***

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10002**

Токонесущие свойства  $J_c$ ,  $J_c(B)$  ВТСП лент являются структурно чувствительными параметрами и в значительной степени изменяются при деформировании и уплотнении сверхпроводящих прослоек. Большую роль играют размеры и морфология зерен, фазовый состав, наличие и размеры структурных дефектов. Все указанные структурные факторы могут испытывать значительную трансформацию под действием ударных волн плазмы. В докладе представлены результаты воздействия ударных волн, генерируемых на установке «Плазменный фокус», на критический ток ВТСП лент в поперечном и продольном направлении магнитного поля. Исследовано влияние удельной энергии воздействий за счет изменения расстояния образцов от плазменного анода и количества ударов. Проведенные исследования показали возможность повышения  $J_c$  на 50% в магнитных полях 2-3 Т за счет измельчения зерен и уплотнения  $MgB_2$  прослоек.

**ЭНЕРГОЕМКИЕ ТОПЛИВА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ  
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Яновский Л.С.**

*Государственный научный центр Федеральное государственное унитарное  
предприятие «Центральный институт авиационного моторостроения  
имени П.И. Баранова», Москва  
ИПХФ РАН, Черноголовка, [yanovskiy@ciam.ru](mailto:yanovskiy@ciam.ru), [yls@icp.ac.ru](mailto:yls@icp.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10003**

Рассмотрены физико-химические процессы, происходящие в топливах при высокотемпературном нагреве в каналах и форсунках топливных систем, системах регенеративного охлаждения, газогенераторах и камерах сгорания высокоскоростных воздушно-реактивных двигателей (ВРД) перспективных летательных аппаратов (ЛА).

Установлены закономерности смоло- и коксоотложений и газообразования при термической и каталитической деструкции, а также закономерности горения энергоемких и эндотермических жидких и твердых топлив различных классов в воздушных потоках. Приведены результаты обширных экспериментальных исследований, а также новые модели процессов деструкции и горения твердых топлив, в том числе содержащих металлические компоненты в качестве горючего, как в режимах газогенерации, так и в режимах дожигания в воздушном потоке.

Показаны возможности реализации химического хладоресурса при высокотемпературном нагреве как жидких, так и твердых углеводородных топлив. Созданные эндотермические топлива позволяют обеспечить работоспособность камер сгорания высокоскоростных ВРД, изготовленных из существующих конструкционных материалов.. построена имитационная модель сложной системы «ЛА-ВРД-топливо», позволяющая формировать требования к характеристикам новых топлив из условия обеспечения экстремума целевой функции при наличии конструктивно-геометрических и эксплуатационных ограничений. Показаны пути создания энергоемких топлив нового поколения.

## **НОВЫЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА, НЕОБЫЧНЫЕ СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЙ НАНОКОМПОЗИТОВ ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

*Классен Н.В., Покидов А.П., Еришов А.Е.*

*Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10004**

Наши эксперименты по динамическому образованию композитов из синтетических полимеров и неорганических наноструктур не только привели к созданию технически простых и экономичных технологий для уже известных применений в механике и электротехнике, но и выявили целый ряд возможностей получения материалов с качественно новыми оптическими, электронными, радиационными свойствами, не проявлявшихся в отдельно взятых исходных полимерах и наночастицах. Центрифугирование суспензии в виде коллоидного раствора синтетических полимеров с введенными туда диэлектрическими наночастицами, налитой на быстро вращающийся диск, повышает в несколько раз радиационную прочность композитной пленки, сформированной на диске при испарении растворителя. Под действием центробежной силы в коллоидном растворе возникают радиальные неустойчивости, приводящие к выбросу с вращающегося диска микрокапель, которые за сотые доли секунды вытягиваются в многосантиметровые волокна диаметрами от десятых долей микрона до десятков микрон. Оптико- и электронно-микроскопические исследования волокон выявили радиальную и осевую модуляцию их морфологии: большинство волокон представляют собой микропучки из параллельной оси волокон наноскопических диаметров, причем в осевом направлении и морфология, и состав волокон промодулированы квазипериодически с периодами от долей микрона до нескольких микрон. Такая наномодуляция в радиальном и осевом направлениях, соизмеримая с длинами волн видимого света, существенно изменяет характеристики рентгенолюминесценции композитов. Во-первых, световыход люминесценции отвержденных центрифугированием композитных пленок и волокон оказался на 20 – 40 % выше, чем у пленок такого же состава, но отвержденных на неподвижной подложке. Во-вторых, излучаемый при люминесценции свет направлен преимущественно вдоль оси волокна. Это объясняется фотонной наноструктурой волокон, концентрирующей люминесценцию в осевом направлении. Формирование из нановолокон двумерных матриц позволяет при детектировании ими рентгеновского излучения создать простой и дешевый, но, тем не менее, высокоразрешающий рентгеновский микроскоп. С другой

стороны, периодические композитные наноструктуры органика-неорганика при ионизирующем облучении напрямую генерируют электричество.

Еще один новый метод динамического формирования композитов – внедрение органических полимеров и неорганических наночастиц внутрь приповерхностного слоя шариковой обкаткой, что на несколько порядков выше параметров внедрения легирующих компонентов обычной термодиффузией. Более того, полимеры в металлы внедрены впервые в мире.

## **О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА В ПРИКЛАДНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ**

*Сайков И.В.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
структурной макрокинетики и проблем материаловедения  
им. А.Г. Мерджанова Российской академии наук, Черноголовка,  
[revan.84@mail.ru](mailto:revan.84@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10005**

Технологии, использующие в качестве источника энергии продукты детонации взрывчатых веществ, находят достаточно широкое применение в современной науке и промышленности, даже несмотря на ряд очевидных сложностей и ограничений. Ударные волны позволяют достигать экстремально высоких давлений (десятки ГПа) в среде, что наряду с краткосрочностью процесса открывает уникальные возможности по синтезу, модификации, управлению структурой и свойствами перспективных материалов.

Большое количество работ посвящено трансформации кристаллической решетки в веществе с целью получения сверхтвердых фаз высокого давления, таких как детонационный алмаз, кубический нитрид кремния и пр. Другим направлением ударно-волновой обработки материалов, характеризующимся не только структурными изменениями, но и химическими превращениями, является взрывное инициирование синтеза в смесях реакционноспособных порошков (СВС-составах).

Ударно-волновое компактирование порошковых материалов позволяет получать плотные материалы и изделия с сохранением исходной структуры материала за счет исключения стадии высокотемпературного спекания, характерного для альтернативных способов консолидации.

Критическое значение для развития современных отраслей авиационного, энергетического, химического, атомного машиностроения, а также военно-промышленного комплекса приобретает конструирование и производство слоистых металлических композиционных материалов – биметаллов. Оптимальным, а в ряде случаев, единственным способом соединения больших площадей металлургически несовместимых и трудносвариваемых сплавов является сварка взрывом.

В докладе представлены результаты проведенных в лаборатории ударно-волновых процессов ИСМАН экспериментальных исследований по взрывному компактированию многокомпонентных порошков, ударно-волновому инициированию синтеза в реакционных материалах, а также сварке взрывом сплавов с резко различающимися свойствами.

**СИНТЕЗ НОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В  
ПЛАЗМЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА И ПОСЛЕДУЮЩАЯ  
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ОБРАБОТКА**

**Шехтман С.Р.**

***ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический  
университет», Уфа***

***DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10006***

Одним из перспективных направлений для защиты поверхности от агрессивного воздействия являются многослойные покрытия, полученные из новых композиционных материалов, состоящие из периодически расположенных слоев из различных материалов нанометровой толщины, обладающие высокими механическими и эксплуатационными свойствами. Благодаря особенностям строения, большому количеству слоев и их толщине в нанометровом диапазоне, покрытия с субмикроструктурной структурой и наноструктурированные покрытия сочетают в себе качества слоистых систем и специфические свойства нанообъектов. Кроме того, повышению эксплуатационных характеристик способствует проведение процесса при одновременной ионной бомбардировке и последующим высокотемпературным воздействием.

**ДЕФОРМАЦИЯ И РАЗРУШЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ  
В УСЛОВИЯХ ВДАВЛИВАНИЯ, СКОЛЬЖЕНИЯ, ЦАРАПАНИЯ И  
УДАРА**

***Петржик М.И., Левашов Е.А.***

***НИТУ «МИСиС», Москва, [petrzhik@shs.misis.ru](mailto:petrzhik@shs.misis.ru)***

***DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10007***

Современные технологии позволяют управлять структурой, составом и свойствами материалов на микронном, субмикронном и нанометровом уровне и создавать материалы и покрытия с направленно модифицированными или «функциональными поверхностями» с повышенным сопротивлением деформации и разрушению.

Аттестация свойств таких поверхностей требует применения специальных видов испытаний [1,4], которые были успешно внедрены в Испытательной Лаборатории Функциональных Поверхностей (ИЛФП) НИТУ «МИСиС», аккредитованной в ААЦ «АНАЛИТИКА».

В докладе рассмотрены современные методы изучения и единства измерений функциональных свойств перспективных материалов и покрытий в условиях скольжения, вдавливания, царапания и удара при механическом контакте с индентером/контртелом более высокой твердости, которые основаны на модели Герца. Приведены и обсуждаются экспериментально определенные свойства наноструктурных сверхтвердых связей [2], литых микропроводов [3] и других нанокомпозитов [4,8], в том числе износостойких, на основе наноструктурных покрытий и квазикристаллов [1,5], а также сплавов с памятью формы [6], объемных металлических стекол и покрытий на их основе [7].

Список литературы:

1. Петржик М.И., Левашов Е.А. Кристаллография, 52, (2007), №6, с.1002.
2. H.Hinners, I.Konyashin, B.Ries, M.Petrzhik, E.Levashov, et al. J. of Refr. Metals and Hard Mater., 2017, 67, p. 98
3. Замяткина Е.В., Петржик М.И. Деформация и разрушение материалов. М., 2010.-№7.-С.41.
4. Левашов Е.А., Петржик М.И., Тюрина (Бычкова) М.Я. и др. // Металлург. - М., 2010.-№9.-66.
5. Шайтура Д. С., Теплов А. А., Чикина Е. А. и др. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2010, № 11, 87.
6. E.A. Levashov, M.I. Petrzhik, D.V. Shtansky et al. Mat. Sci. Eng. A, 570 (2013) P. 51.
7. Petrzhik M.I., Vakaev P.V., Chueva T.R. et al. J. Metastable and Nanocrystalline Mat., 24-25, (2005) P.101

8. Loginov P., Mishnaevsky L. Jr., Levashov E., Petrzhik M. Materials and Design – 2015. – Vol. 88. – P. 310.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, соглашение № 14.575.21.0156, проект RFMEFI57517X0156, ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы».*

## ТЕХНОЛОГИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Усенко<sup>1-3</sup> А.А., Добровольский<sup>1</sup> Ю.А., Кашин<sup>2</sup> А.М., Ховайло<sup>3</sup> В.В.,  
Кузнецов<sup>3</sup> Д.В.

<sup>1-</sup> *Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка*

<sup>2-</sup> *ООО «Инэнерджи», Москва*

<sup>3-</sup> *Национальный Исследовательский Технологический Университет  
«МИСиС», Москва, [a.usenko@inenergy.ru](mailto:a.usenko@inenergy.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10008**

Для преодоления вызовов в области энергетики следующему поколению будет необходимо задумываться о возобновляемых источниках энергии и технологиях её хранения. По данным международного энергетического агентства поэтапный отказ от ископаемого топлива предполагает, что к 2035 году прекратит существование энергетика, основанная на буром угле. К 2045 году прекратится использование каменного угля, а к 2050 году будет практически сведено к нулю использование газа, нефтепродуктов и ядерного топлива. Тренд декарбонизации энергетики ярко прослеживается в странах Европы. Темпы внедрения технологий возобновляемой энергетики в РФ значительно ниже. По данным министерства энергетики объем возобновляемых источников энергии без учета гидрогенерации к 2024 составит 2,5% в общем объеме. При этом потенциал применения ВИЭ в РФ и странах СНГ превышает текущие потребности государств в десятки раз. Не смотря на непопулярность технологий ВИЭ в РФ, существует ряд кейсов, для которых реализация проектов оказывается экономически целесообразной. В России ежегодно выделяются субсидии и проводится конкурсный отбор на установку новых мощностей ВИЭ, в частности ветряной генерации и солнечной генерации. Благодаря субсидиям на новом рынке появились игроки, и использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) становится все популярнее. Однако существующая инфраструктура не готова к изменениям, многие источники подключаются к сетям, неспособным к работе с генерирующими мощностями нового типа. Серьёзной проблемой является отсутствие надёжных стационарных систем хранения энергии, которые бы обеспечивали стабильную работу малых автономных энергетических систем. Литий-ионные и свинцово-кислотные аккумуляторы не способны решить эту задачу ввиду ограниченного срока эксплуатации и низкого циклического ресурса. Технологии хранения энергии в водородном цикле или проточном редокс-аккумуляторе в перспективе могут решить эту проблему и стать эффективным драйвером развития энергетической системы РФ.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ АЗОТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ФЕРРОСПЛАВА – ФЕРРОХРОМАЛЮМИНИЯ В РЕЖИМЕ СВС

Регер А.А. студент, Болгару К.А.

Томский научный центр СО РАН, Томск, [Antonandmakar@gmail.com](mailto:Antonandmakar@gmail.com)

DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10009

Самовоспламеняющийся высокотемпературный синтез имеет большие преимущества: низкие энергозатраты, малогабаритное оборудование, экологически чистое производство, большой диапазон материалов и т.д. Положительные характеристики СВС- метода позволяют считать, что он является перспективным как в научных, так и в прикладных областях [1]. Наиболее перспективными для получения металлокерамических материалов этим методом являются ферросплавы [2]. В данной работе показана возможность азотирования комплексного ферросплава феррохромалюминия (ФХА) в СВС-режиме и проведены исследования по установлению закономерностей его азотирования с целью получения композитов с заданными свойствами и составом [3].

Цель работы – синтез железосодержащего металлокерамических композитов на основе нитрида хрома и исследование закономерностей его азотирования.

Для синтеза использовали феррохромалюминий, содержащий 8,5 % алюминия, 30 % железа и 61,5 % кремния. Подготовка к эксперименту включала: измельчение ферросплава до размера не более 100 мкм, удаление влаги и летучих примесных соединений в сушильном вакуумном шкафу СНВС-40/3,5 (Россия) при температуре 150 °С в течение 3 часов.

Исследование фазового состава полученного сплава проводили на дифрактометре Shimadzu (Япония), общее содержание азота определяли на приборе LECO-ОНН836(США) в ТомЦКП СО РАН.

Шихту, состоящую из порошка ФХА, засыпали в цилиндрическую трубку из металлической сетки диаметром от 5 до 60 мм. Образцы сжигали в установке постоянного давления по методике [4] при давлении от 1 до 8 МПа. Воспламенение осуществляли от порошкообразной поджигающей смеси с помощью вольфрамовой спирали, через которую пропускали электрический ток. После прохождения фронта горения, образец выдерживали в атмосфере азота до полного охлаждения (30 минут) и сбрасывали давление. Затем полученный композит отправляли на дальнейшие исследования.

Были исследованы важные факторы, влияющие на протекание процесса азотирования в условиях фильтрационного горения, - давление азота (Р), диаметр образца (d) и дисперсность (r) исходного порошка шихты.

Давление (рис.1) – инициирование реакции происходит при давлении азота от 1.5 МПа. При повышении давления наблюдается увеличение значений степени азотирования (N) и скорости горения (W). Это связано с улучшением фильтрации газа к зоне реакции. Показатель степени азотирования достигает своего максимума, который определяется степенью азотирования хрома. Рабочее давление находится в пределах 3-3.5 МПа.

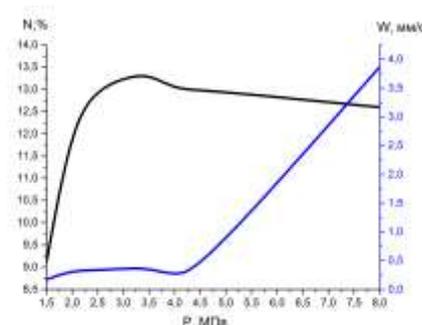


Рис. 1. Зависимость значений степени азотирования и скорости горения от давления.

Диаметр (рис.2) – инициирование реакции происходит с минимальным диаметром 15 мм., при котором теплотери в объём реактора становятся меньше по отношению к теплу, идущему на инициирование реакции. При увеличении диаметра образца показатель степени азотирования изменяется в пределах погрешности, а значение скорости горения уменьшается, что вероятно связано с нестационарным режимом горения.

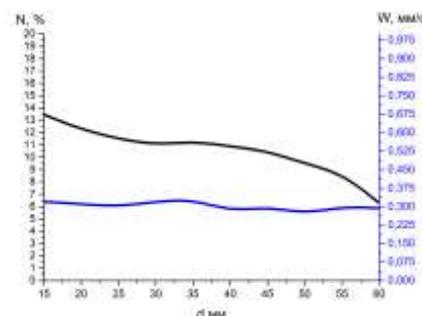


Рис.2. Зависимость значений степени азотирования и скорости горения от диаметра образца.

Дисперсность (рис.3) – при уменьшении дисперсности наблюдается небольшое изменения показателя степени азотирования и сильное увеличение значения скорости горения. В отсутствии мелкой фракции значения степени азотирования и скорости горения уменьшаются. Таким образом были выявлены оптимальные условия азотирования комплексного ферросплава в режиме горения.

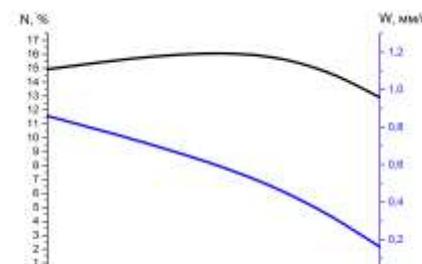


Рис. 3. Зависимость значений степени азотирования и скорости горения от дисперсности.

Список литературы:

1. Амосов А.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г.// Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов. 2007. С. 15-19.
2. Чухломина Л.Н., Максимов Ю.М., Верещагин В.И. // Самораспространяющийся высокотемпературный синтез композиционных нитридосодержащих керамических материалов. 2012. – С. 34-41.
3. Zakorzhevskii V.V., Borovinskaya I.P. // Ceramika. – 2002. – Vol.69. – P. 109-115.
4. Чухломина Л.Н., Болгару К.А., Аврамчик А.Н. // Огнеупоры и техническая керамика. 2013. № 1-2. С. 15-19.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (проект V.45.2.7, № АААА-А17- 117070420015-6) при частичной поддержке РФФИ (проект № 18-33-00387 мол\_а.).*

# СИНТЕЗ НАНОРАЗМЕРНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ РАСТВОРНОГО ГОРЕНИЯ

Азарицова В.В. студентка, Павлова Е.А.

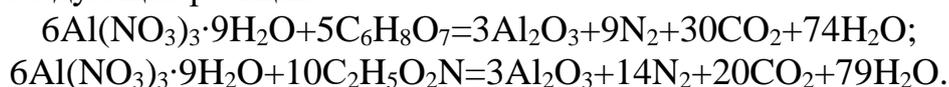
<sup>1</sup>- СПбГТИ (ТУ), Санкт-Петербург, [i-no-vika@bk.ru](mailto:i-no-vika@bk.ru)

DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10010

Синтез наноразмерного оксида алюминия представляет собой интерес для развития таких отраслей науки и техники как полупроводниковая, атомная и квантовая электроника, производство каталитических, керамических и других материалов.

Одним из самых перспективных методов получения подобных материалов является синтез в реакциях растворного горения, *solution combustion synthesis* (SCS). Этот метод обладает рядом преимуществ: низкое энергопотребление, простое оборудование, снижение температуры и времени синтеза, чистота продуктов.

В настоящем исследовании проводили синтез наноразмерного оксида алюминия методом растворного горения с использованием различного вида топлива: мочевины (U) и глицина (G). Изучалось не только влияние вида «топлива», но и его молярного соотношения к нитратным группам ( $\varphi$ ) на формирование получаемого продукта. Метод SCS хорошо известен [1-3] и включает: растворение исходных компонентов, образования золя, упаривание смеси и ее последующее самовоспламенение, в ходе которого образуются продукт реакции. Количество исходных веществ рассчитывалось исходя из расчетов окислительно-восстановительных реакций. Расчет и процесс синтеза теоретически опирался на следующие реакции:



Изучали процесс получения  $\text{Al}_2\text{O}_3$  для стехиометрического состава  $\varphi=1$ , при избытке  $\varphi>1$  (для U: 1,20; 1,45; 1,70, для G: 1,25; 1,50; 1,80) и при недостатке топлив  $\varphi<1$  (для U: 0,25; 0,50; 0,70), для G: 0,2; 0,45; 0,75).

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа, ИК-спектроскопии показали, что среднее содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  составило: в случае синтеза с G – 92%, U – 98%. Применение в качестве топлива U приводит к более полному выгоранию нитратов, что создает условия формирования кристаллического оксида алюминия при меньшем  $\varphi$ .

По данным РФА, установлено, что  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , синтезированный с помощью G, независимо от соотношения нитратов к глицину находится в рентгеноаморфном состоянии. При дополнительной термообработке синтезированного продукта ( $T=900^\circ\text{C}$ , время выдержки 1-6 часов) происходит формирование низкотемпературной кристаллической модификации  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . На дифрактограмме обнаружены рефлексы  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  и небольшое количество его  $\alpha$ -модификации (рис.

1). Если в качестве горючего применяли мочевины (U) на дифрактограммах идентифицируется кристаллическая фаза -  $Al_2O_3$  в орторомбической модификации. Повышение содержания U в реакционной смеси приводит к изменению модификации кристаллов  $Al_2O_3$  и наряду с орторомбической структурой (при  $\varphi=1$ ) начинает образовываться  $\alpha-Al_2O_3$ .

Результаты СЭМ (рис. 2) позволяют засвидетельствовать влияние природы топлива на морфологию получаемых образцов. На рисунке представлены микрофотографии для стехиометрических составов G/N и U/N. Видно, что образец, синтезированный с U, имеет частицы неправильной формой с широкими толстостенными каналами, если применяли G, то образовывалась пористая пенообразная структура с тонкостенными каналами.

Размер среднего размера кристаллитов был рассчитан по формуле Селякова-Шеррера. Установлено, что применение в качестве топлива G позволяет получать кристаллиты размером  $45 \pm 5$  нм. Если же использовать U, то возможно синтезировать более мелкие частицы порядка 30 нм. Следует отметить, что в этом случае с увеличением значения  $\varphi$  размер кристаллитов уменьшается с 36 до 25 нм.

Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы:

1. С помощью метода SCS возможно получение относительно чистого наноразмерного  $Al_2O_3$ .
2. Установлено, что размер кристаллитов зависит от природы топлива и молярного соотношения окислителя к топливу.
3. С помощью изменения вида топлива и  $\varphi$  возможно формирования наноразмерного  $Al_2O_3$  заданной структуры и морфологии.

Список литературы:

1. Евстегнеев, В. В. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Современные проблемы. // Ползуновский вестник. – 2005. – №4-1. – С. 21-35.
2. Мешанов, А. Г. О самораспространяющемся высокотемпературном синтезе / А. Г. Мешанов, А. Е. Сычев // Рос. акад. наук. Ин-т структур. макрокинетики и проблем материаловедения. - Черноголовка: Изд-во ИСМАН, 1989. – С. 91.
3. Solution Combustion Synthesis of Nano-Crystalline Alumina Powders / S. Saket [et al]. // Journal of Materials Science and Engineering. – Vol. 4, № 8. – 2010. – P. 80-84.

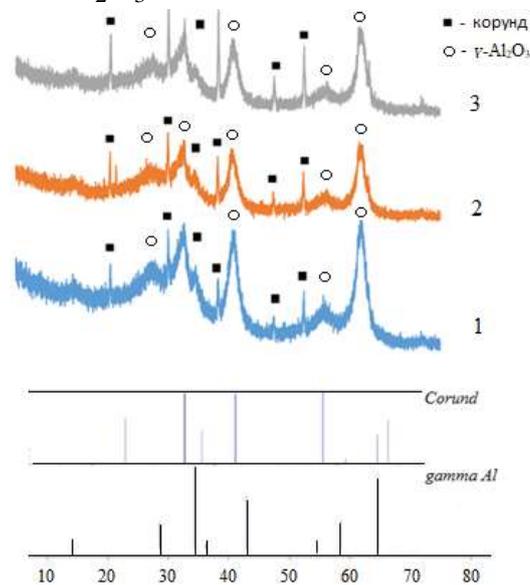


Рис.1. Дифрактограммы  $Al_2O_3$  ( $\varphi=1$ ) топливо – G, температура -  $900^\circ C$ . Время выдержки: 1 – 1 час; 2 – 4 часа; 3 – 6 часов.

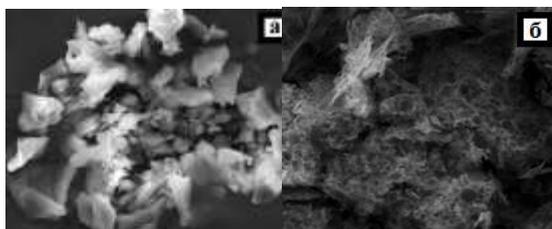


Рис.2. Микрофотографии  $Al_2O_3$  ( $\varphi=1$ ): (а) – U/N; (б) – G/N.

# ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ МАХ-ФАЗ СИСТЕМЫ Ti-Al-C

Хамитова Р.В. студентка, Галышев С.Н.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа, [rega30597@outlook.com](mailto:rega30597@outlook.com)

DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10011

Материалы на основе МАХ-фаз сочетают в себе свойства, как металлических сплавов, так и керамических соединений. В совокупности с низким удельным весом эти свойства МАХ-фаз открывают широкие перспективы для их применения в различных отраслях промышленности [1]. Общие закономерности структурообразования материалов на основе МАХ-фаз, полученных с использованием метода СВС (самораспространяющийся высокотемпературный синтез) [2], мало изучены. Решение этих проблем представляют интерес, как с фундаментальной, так и прикладной точки зрения. Среди известных в настоящее время МАХ-фаз наибольший интерес представляют соединения в системе Ti-Al-C. В связи с этим целью данной работы является изучение зависимости свойств материала на основе МАХ-фазы состава  $Ti_2AlC$  при различных режимах отжига.

В качестве объекта исследования были выбраны образцы материала на основе МАХ-фаз системы Ti-Al-C, полученные СВС-методом. Для приготовления исходных шихтовых заготовок использовалась смесь порошков титана (пТМ), алюминия (АСД-4) и технический углерод (П803) в пропорции соответственно 2-2-1 [3]. Термодинамически стабильным фазовым составом для заложенных пропорций является  $Ti_2AlC + TiC + TiAl_3$ .

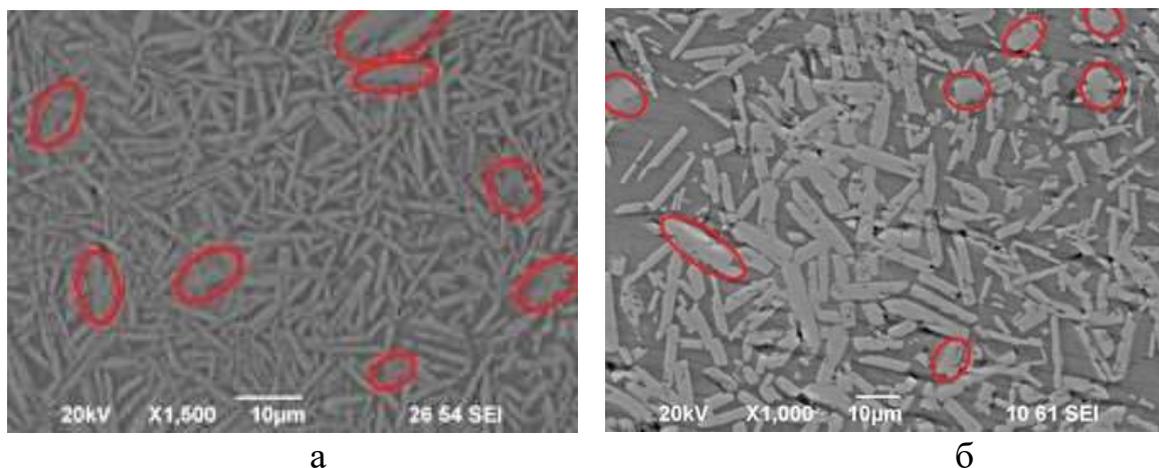


Рис. 1. Снимки образцов, сделанные с помощью РЭМ: а) без отжига; б) после отжига в течение 4 часов. Красным контуром обведены частицы TiC.

В процессе отжига наблюдается рост частиц как в продольном, так и в поперечном направлениях. Это происходит за счёт коагуляции частиц в процессе отжига. Объёмная доля, приходящаяся на включения фаз, в процессе отжига становится меньше. По всей видимости, это происходит из-за стремления системы к равновесному состоянию, а именно к фазовому составу  $Ti_2AlC + TiC + TiAl_3$ .

Рентгенофазовый анализ показал, что в процессе отжига фазовый состав отличается как качественно, так и количественно. Для рентгенограмм характерно наличие чётких дифракционных пиков, что указывает на их кристаллическое строение. Были замечены пики таких фаз, как  $Ti_2AlC$ ,  $TiC$ ,  $Ti_3AlC_2$  и интерметаллидов типа -  $Ti_xAl_y$ .

Значение микротвёрдости поверхности образцов уменьшилось с увеличением времени отжига. Это объясняется тем, что в процессе отжига размеры фазовых включений стали больше, также объёмная доля фазовых включений стала меньше. Также уменьшилось содержание твёрдой фазы карбида титана, поэтому материал в целом стал несколько менее твёрдым.

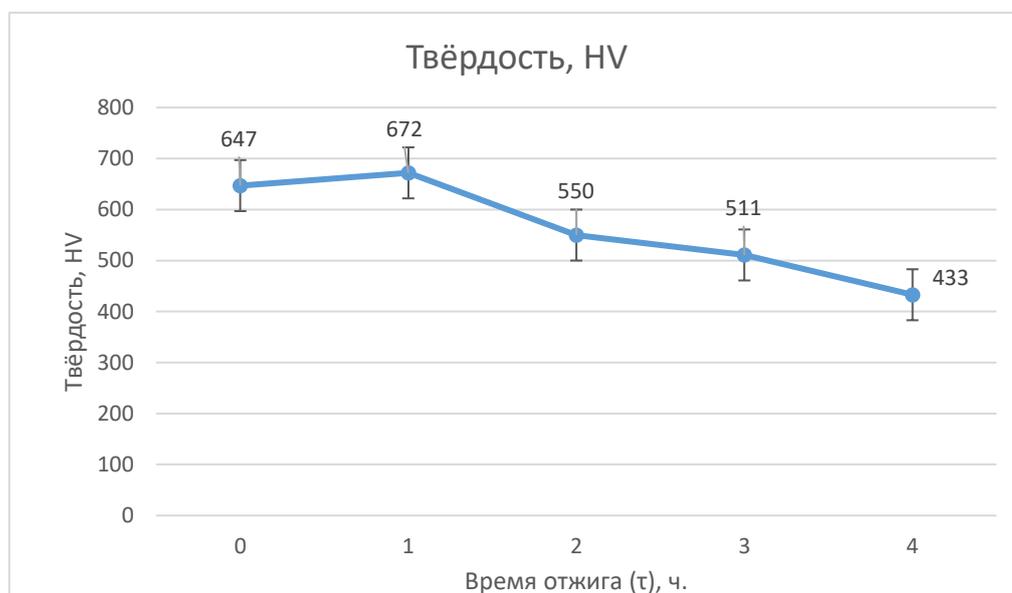


Рис.2. График зависимости микротвёрдости образцов от времени отжига.

#### Список литературы:

1. Barsoum M. The  $Mn+1AX_n$  phases: a new class of solids. Progress in Solid State Chemistry, 2000, no. 28.
2. А.С. Рогачёв, А.С. Мукасян «Горение для синтеза материалов: введение в структурную макрокинетику», Москва, 2013; стр. 53.
3. Галышев С.Н. «Структурообразование и формуемость материалов на основе МАХ-фаз системы Ti-Al-C, полученных в режиме горения и высокотемпературного деформирования»

# ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ РЕАКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ И НИКЕЛЯ

Серолян С.А. студент, Сайков И.В., Вадченко С.Г., Алымов М.И.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им.  
А.Г. Мерджанова РАН, Черногловка, [revan.84@mail.ru](mailto:revan.84@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10012**

Реакционные материалы (РМ) – это класс энергетических материалов, отличающийся высокой энергоемкостью, низкой чувствительностью в обычных условиях и способностью к интенсивной химической реакции в условиях высокоскоростного удара и нагрева. РМ, как правило, представляют из себя спрессованный порошок [1].

Создание и обработка перспективных реакционных материалов, сочетающих в себе заданный комплекс физико-механических характеристик и высокого энерговыделения, сопряжены с рядом физико-химических ограничений и технологических трудностей. Такие исследования, как правило, сугубо экспериментальные и отличаются сложностью изучения быстропротекающих физико-химических процессов непосредственно в процессе взрывного нагружения реакционной смеси, которое характеризуется высокими скоростями деформирования, давлениями и температурами.

Целью настоящей работы является формирование металлических реакционноспособных материалов, обладающих высокой конструкционной прочностью. Реакционная способность смеси порошков определяется их составом, площадью контакта между частицами, температурой, скоростью и способом приложения внешнего давления, (соотношение нормальных и тангенциальных составляющих давления), соотношением объемных и сдвиговых составляющих деформации, состояния поверхности частиц (наличие оксидных пленок) и других факторов. Таким образом, актуальной задачей является разработка методов консолидации, которые позволили бы сохранить реакционную способность заданных композиций, при достижении достаточной прочности контакта между частицами порошков, которая обуславливает конструкционную прочность материала в целом.

Объектом исследований была порошковая смесь на основе Ni и Al с размером частиц менее 50 мкм в эквипотном соотношении [2]. Смешение проводилось в смесителе типа «Turbula» при скорости вращения 20 об/мин в течение 3 часов [3]. Исследования проводились на компактных образцах в форме цилиндра и параллелепипеда с относительной плотностью 70% и 80%. Помимо двухкомпонентного состава, были изготовлены образцы, армированные вольфрамовыми и борными волокнами. Для определения прочности образцы испытывались на трехточечный изгиб по ГОСТ 25282-93.

В результате получены следующие характеристики образцов. Прочность компактов составила для 70% плотности  $17\pm 5$  МПа, для 80% –  $40\pm 5$  МПа. Образцы, армированные борными волокнами, имели прочность  $35\pm 5$  МПа и  $60\pm 5$  МПа, вольфрамовыми волокнами –  $80\pm 5$  МПа и  $130\pm 5$  МПа соответственно. Таким образом, армирование борными и вольфрамовыми волокнамикратно повышает прочность компактов.

Список литературы:

1. N. A. Imkhovik, A. V. Svidinsky, A. S. Smirnov, V. B. Yashin. Gorenje i Vzryv (Moskva) – Combustion and Explosion. 2017 Т. 10, № 1, с. 93.
2. И.В. Сайков, М.И. Алымов, С.Г. Вадченко, И.Д. Ковалёв. Письма о материалах 2017. Т.7. №4. с.465-468.
3. С.Г. Вадченко, М.И. Алымов, И.В. Сайков. Воспламенение некоторых порошковых смесей металлов с тефлоном. Физика и химия обработки материалов, 2017 № 5, с. 55-62.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН I.56 «Фундаментальные основы прорывных технологий в интересах национальной безопасности».*

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН МЕТОДОМ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ

*Галлямова<sup>1</sup> Р.Ф. молодой специалист, Галышев<sup>1</sup> С.Н., Бадамин<sup>2</sup> А.Г.,  
Мусин<sup>2</sup> Ф.Ф.*

*<sup>1-</sup> ФГБОУ ВО Уфимский государственный Авиационный технический  
Университет, Уфа, [rida\\_gallyamova@mail.ru](mailto:rida_gallyamova@mail.ru)*

*<sup>2-</sup> Уфимский Институт химии РАН, Уфа*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10013**

Композитные материалы являются важнейшим классом конструкционных материалов, используемых в большинстве отраслей промышленности. Требования, предъявляемые к таким материалам, должны предусматривать их применение в условиях большого градиента температур, различных давлений, высокого износа и др. А также не менее важной характеристикой материала является удельная прочность [1].

Углеродные волокна широко используются в качестве армирующих элементов в металломатричных композитах. Однако главной проблемой существенно влияющей на прочность композита, является деструкция волокна и ухудшение его армирующих характеристик из-за взаимодействия с

металлической матрицей. Таким образом, наиболее эффективным методом решения данной проблемы является нанесение барьерных покрытий на углеродное волокно [2].

На сегодняшний день огромный интерес представляют керамические, в том числе оксидные покрытия, благодаря своей высокой химической устойчивости. Среди известных методов нанесения покрытий, наибольший интерес получает метод золь-гель [3].

Целью настоящей работы - исследование защитных свойств  $\text{SiO}_2$  покрытий, нанесенных на углеродные волокна методом золь-гель. Подготовка золь-гель раствора для нанесения покрытия осуществлялась по методике, представленной в работе [4].

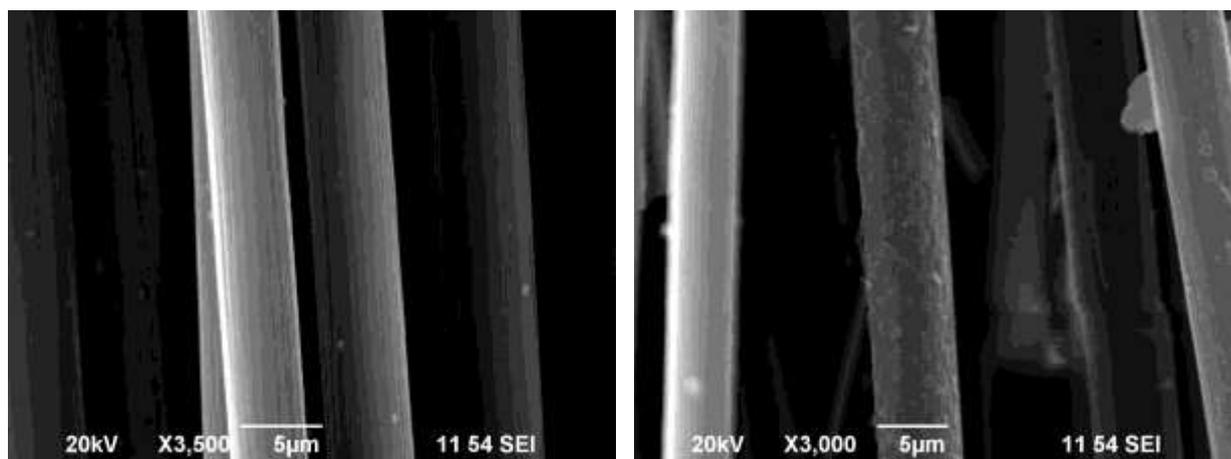


Рис.1. Поверхность углеродных волокон до (а) и после нанесения покрытия (б)

С помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) была исследована морфология поверхности углеродных волокон до и после нанесения покрытия (рис.1, 2). На поверхности волокон покрытие сформировалось не сплошное, присутствуют отдельные частички различной формы. Для оценки защитных свойств волокна подвергались отжигу при температуре  $600^\circ\text{C}$  с выдержкой от 1 до 6 ч. С увеличением времени отжига деструкция на поверхности волокон с покрытием проявляется незначительно, по сравнению с волокнами без покрытия. Толщина волокон монотонно убывает.

В данной работе показана перспективность применения диоксид-кремниевое покрытие, полученных методом золь-гель для защиты углеродных волокон.

#### Список литературы:

1. Костиков В.И., Варенков А.Н. Композиционные материалы на основе алюминиевых сплавов, армированных углеродными волокнами., 2000, 446 с.
2. Yu Huang, Qiubao Ouyang, Di Zhang, Jing Zhu, Ruixiang Li, Hong Yu, Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.) 27 (2014) 775–786.
3. С. Н. Галышев, Р. Ф. Галлямова, Н. Г. Зарипов, В. А. Докичев, Ф. Ф. Мусин, Композиты и наноструктуры 9 (2017) 46-48.
4. C. Vix-Guterl, P. Ehrburger, Carbon 35 (1997) 1587-1592.

# ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТЫХ ФИЛЬТРОВ МЕТОДОМ СВС НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Al-Al}_2\text{O}_3$

*Боброва Д.О. студентка, Бороненко М.П., Гуляев П.Ю.*

*Югорский государственный университет, Ханты- Мансийск,  
[db0brova@yandex.ru](mailto:db0brova@yandex.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10014**

В настоящее время, с увеличением мирового парка автомобилей фильтры нейтрализаторы стали неотъемлемой частью. Керамические фильтры более дешевы, и поэтому более распространены, однако керамический нейтрализатор довольно хрупок и боится механических воздействий. Пористый металлокерамический материал, полученный с использованием самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) лишен этих недостатков и включает в себя их достоинства, именно из-за этого необходимо создание новых пористых материалов с заданными свойствами [1,2]. «Rhodia Electronics and Catalysis SAS» (Франция) в качестве компонента фильтра нейтрализатора используются композиты из оксидов церия, титана, циркония и редкоземельных металлов, а в качестве катализатора платина. Производство данных фильтров-высокозатратно. Актуальным остается получение таких продуктов более дешевым способом. Целью данной работы является получение продукта методом алюмотермии и установления [3].

Для синтеза использовали порошок алюминия ПА4 дисперсностью до 50 мкм, оксид алюминия дисперсностью до 100 мкм и оксид железа дисперсностью до 300 мкм. Порошки смешивались в весовых процентах:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -80 мас.%; Al-20 мас.%, что составляло термитную смесь. К термитной смеси добавляли  $\text{Al}_2\text{O}_3$  до 20 мас.%. Шихта помещалась в кварцевый реактор. Горение инициировали вольфрамовой спиралью. На рисунке 1 представлены снимки образца с добавлением  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -10%.

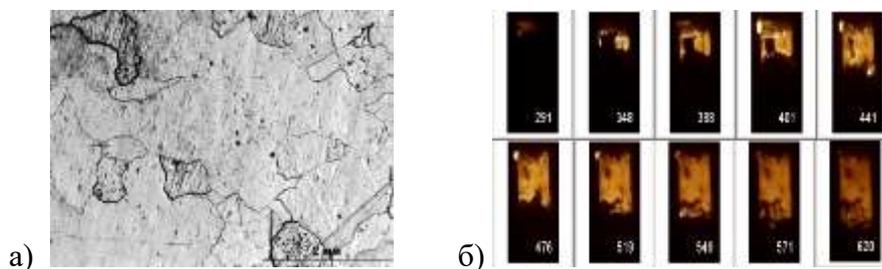


Рис.1. а) Снимок с металлографического микроскопа; б) последовательность видеок кадров.

На рисунке 2 представлены графики изменения скорости от % добавки  $Al_2O_3$ .

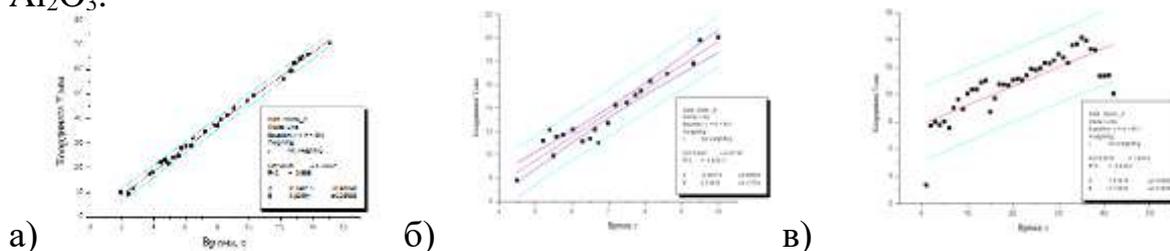


Рис.2. График зависимости координаты от времени а)  $Al_2O_3$ -5мас.%; б)  $Al_2O_3$ -10мас.%; в)  $Al_2O_3$ -15мас.%.

Обнаружено, что увеличение добавка оксида алюминия влияет на скорость реакции СВ-синтеза получения материала (рисунок 2). Установлено: с увеличением добавки оксида алюминия скорость реакции и температура падает, добавка оксида алюминия свыше 20% не позволяет идти синтезу. Можно предположить, что существует оптимальная стехиометрия компонентов шихты для каждого конкретного свойства продукта СВС.

#### Список литературы:

1. Амосов А.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: Учеб. пособ. / Под научной редакцией В.Н. Анциферова. – М.: Машиностроение–1, 2007. – 567 с.
2. Мержанов, А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез тугоплавких неорганических соединений / А.Г. Мержанов, И.П. Боровинская // Докл. АН СССР. – 1972. – Т. 204, № 2. – С. 336–339.
3. Бакланов А. Е. и др. Получение пористых проницаемых металлокерамических СВС-материалов с использованием руд полиметаллов взамен редкоземельных элементов //Ползуновский вестник. – 2016. – №. 2. – С. 205.

*Исследование выполнено в рамках исследований, проводимых Ведущей научной школой «Арктические СВС-наноматериалы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Югорский государственный университет», при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № [18-08-01475](#).*

# ПОЛУЧЕНИЕ АЛЮМИЕВО-МАРГАНЦЕВЫЕ СПЛАВЫ МЕТОДОМ СВС НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Al-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MnO<sub>2</sub>

*Чеклов С.А. студент, Боброва Д.О., Бороненко М.П., Гуляев П.Ю.*

*Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск,  
[sergej-cheklov.c33@yandex.ru](mailto:sergej-cheklov.c33@yandex.ru)*

DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10015

В настоящее время обладающие хорошей прочностью и пластичностью являются алюминиево-марганцевые сплавы. Такие сплавы применяют в военной промышленности, ракетной технике и т.п. Их существенный недостаток - низкая коррозионная стойкость. Таким образом, работа над получением подобных материалов с повышенными коррозионностойкими свойствами по-прежнему актуальна. В данной статье представлены первые результаты получения алюминиево-марганцевого сплава на основе системы Al-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MnO<sub>2</sub> методом СВС.

Для синтеза использовали порошок алюминия ПА4 дисперсностью до 50 мкм, MnO<sub>2</sub> дисперсностью до 200 мкм и оксид железа Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> дисперсностью до 300 мкм. Порошки смешивались в весовых процентах: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-70 мас. %; Al-15 мас. %, MnO<sub>2</sub>-15 мас.%. Шихта помещалась в кварцевый реактор. Горение инициировали вольфрамовой спиралью. Процесс регистрировался двумя видеокамерами («Sooco S70» 120 fps, «Datyson 1.25» 30 fps). На рисунке 1(г) представлен видеоряд процесса горения верхнего слоя шихты толщиной 3 мм.

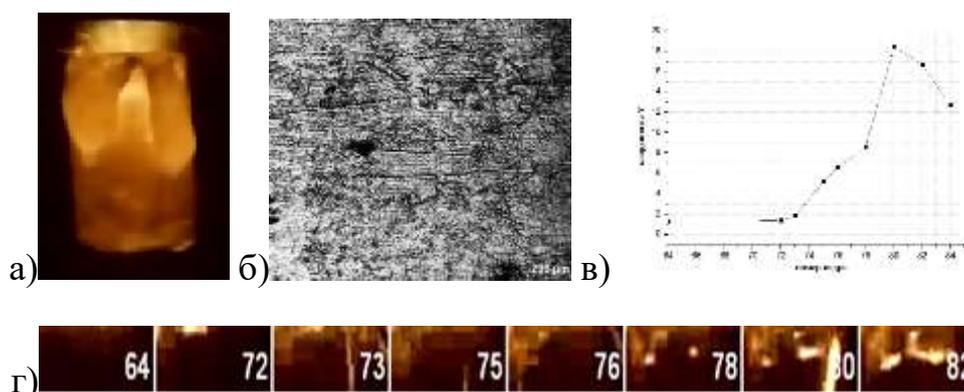


Рис.1. Изображение с видеокамеры «Datyson 1.25»: а) Очаги горения; б) Микроструктура образца Al-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MnO<sub>2</sub>; в) Зависимость скорости распространения фронта горения по оси Y от номера кадра; г) последовательность кадров горения Al-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MnO<sub>2</sub>.

Координата практически не изменяется в промежутке с 64 по 72 кадр, так как в это время идет прогрев шихты. В процессе прогорания титан передает теплоту верхнему слою шихты, тем самым запуская процесс горения. На промежутке с 72 по 80 кадр начинается горение верхнего слоя. После 80 кадра скорость падает, так как прогорел верхний слой и прогревается следующий слой.

Далее скорость стабилизируется. На рисунке 2 представлена последовательность кадров горения следующих слоев шихты. Из графика можно определить коэффициент температуропроводности.

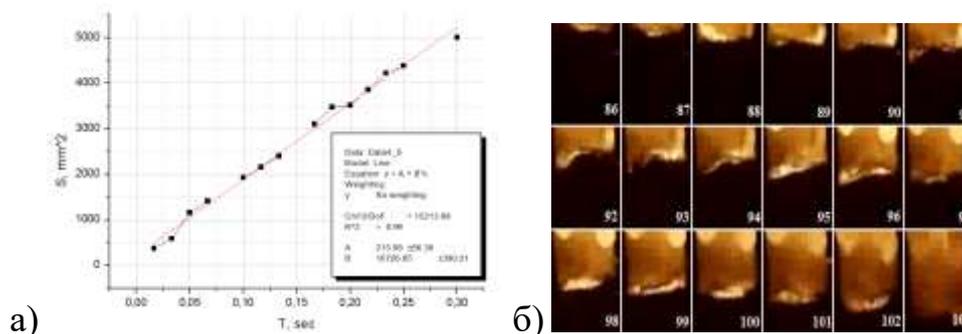


Рис. 2. а) Зависимость площади горения от времени; б) последовательность кадров горения  $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3\text{-MnO}_2$ .

#### Список литературы:

1. Амосов А.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: Учеб. пособ. / Под научной редакцией В.Н. Анциферова. – М.: Машиностроение–1, 2007. – 567 с.
2. Мержанов, А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез тугоплавких неорганических соединений / А.Г. Мержанов, И.П. Боровинская // Докл. АН СССР. – 1972. – Т. 204, № 2. – С. 336–339.

*Исследование выполнено в рамках исследований, проводимых Ведущей научной школой «Арктические СВС-наноматериалы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Югорский государственный университет», при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-08-01475.*

## ПОЛУЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОСТОЙКОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Al-Cr}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3\text{-Ti}$ МЕТОДОМ СВС

***Бикбердина Н.Я.*** студентка, ***Бороненко М.П., Гуляев П.Ю.***

***Югорский государственный университет, Ханты- Мансийск,***  
[\*\*\*bikberdina.narkiza@mail.ru\*\*\*](mailto:bikberdina.narkiza@mail.ru)

***DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10016***

Проблема обеспечения радиационностойких материалов актуальна уже несколько десятилетий, она останется важной и теперь. Существует целый ряд

областей техники, в которых такие материалы необходимы для обеспечения долговременной эксплуатации измерительных устройств и конструкций. Цель данной работы заключается в том, чтобы получить аналог радиационностойкого материала методом СВ-синтеза [1-3], так как на этот метод менее энергозатен и экономит время на получение конечного продукта.

Для синтеза использовали порошок алюминия ПА4, оксид молибдена и оксид хрома трех валентного дисперсностью до 50 мкм, оксид железа дисперсностью до 300 мкм, порошок титана до 100 мкм. Порошки смешивались в весовых процентах: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-57,77 мас.%; Al-30,13 мас.%, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-9.09 мас.%, MoO<sub>3</sub>-1.05 мас.%, Ti-2.03 мас.%. Шихта помещалась в кварцевый реактор. Горение инициировали вольфрамовой спиралью. Процесс регистрировался видеокамерой «Datyson 1.25» 30 fps. На рисунке 1 представлен график скорости горения.

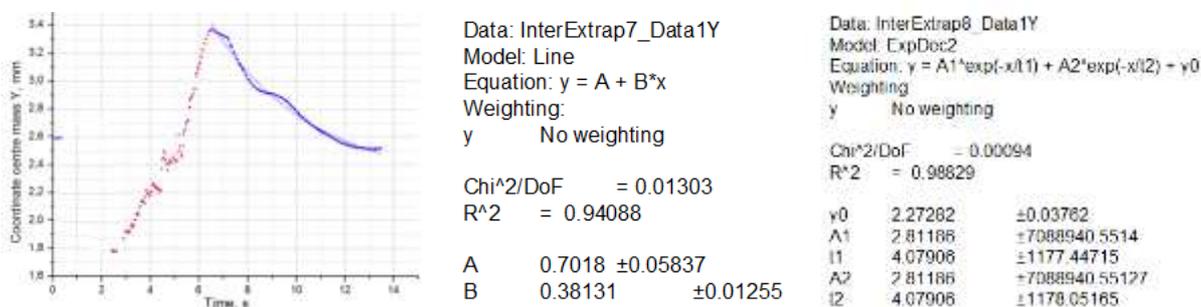


Рис.1. График зависимости координаты центра масс от времени.

В графике, от 2,5-6,67с СВ-синтез протекает устойчивый, имеется небольшой излом в середине графика, меняется тангенс угла наклона, что говорит об изменении скорости реакции. В участке от 6,67-13,5с идет остывание.

На рисунке 2 изображена структура системы Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MoO<sub>3</sub>-Ti. Измерение микротвердости по Виккерсу на области кристалликов, располагающиеся возле дефектов, показали значения от 715,21 до 859,72 HV. Матрица образца от 518,93 до 572,16 HV. Исследуя рентгенофазовым анализом, в образце преобладают твердые растворы компонентов Fe-Cr.

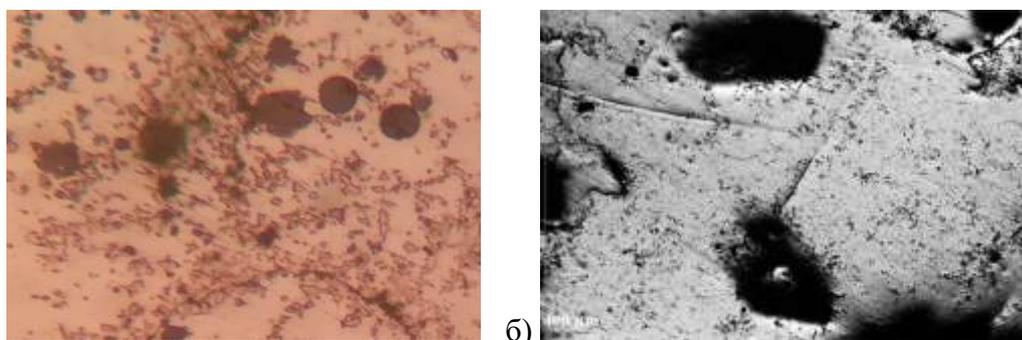


Рис.2. а) Структура системы Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MoO<sub>3</sub>-Ti; б) снимок с металлографического микроскопа.

#### Список литературы:

1. Амосов А.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: Учеб. пособ. / Под научной редакцией В.Н. Анциферова. – М.: Машиностроение–1, 2007. – 567 с.
2. Мержанов, А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез тугоплавких неорганических соединений / А.Г. Мержанов, И.П. Боровинская // Докл. АН СССР. – 1972. – Т. 204, № 2. – С. 336–339.
3. Кошкин В. М. и др. Материалы и устройства с гигантским радиационным ресурсом //Материалы сцинтилляционной техники/Ин-т монокристаллов. – 2006. – С. 5-61.

*Исследование выполнено в рамках исследований, проводимых Ведущей научной школой «Арктические СВС-наноматериалы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Югорский государственный университет», при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № [18-08-01475](#).*

## ШАГАЮЩАЯ РОБОПЛАТФОРМА НА 5-ЗВЕННЫХ МЕХАНИЗМАХ

Богданова<sup>1</sup> Е.С. школьник, Балусов<sup>2</sup> И.С.

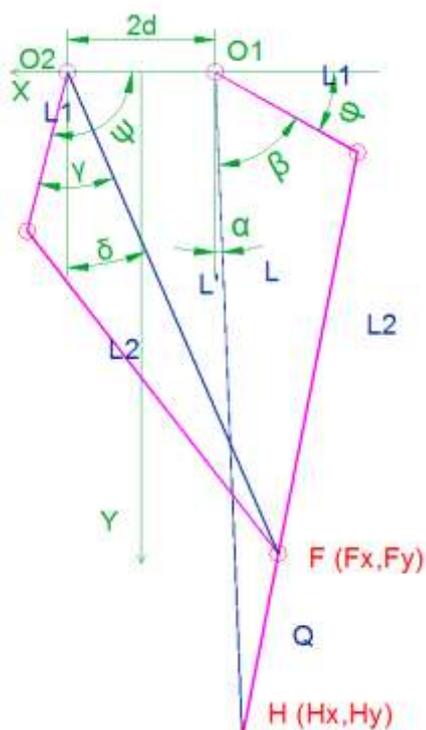
<sup>1</sup>- НЧШ, Черноголовка

<sup>2</sup>- СОШ № 82, Черноголовка

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10017**

В данной работе проведен расчет 5-звенного механизма, рассмотрена возможность применения его как движителя в 4-х ногой, шагающей робоплатформе. На основе расчета построены 4 - ногая платформа с радиоуправлением. В данной работе в работе вместо вырожденного 5- звенного механизма [1] применен 5-звенный механизм с ненулевой базой.

Вид 5- звенного механизма представлен на рис. 1. Два привода вращения (сервомашинки) в точках O1 и O2 связаны со звеньями L1, которые связаны плоскими шарнирами со звеньями L2 и L2Q, причем точка Н как раз будет касаться поверхности. На основе тригонометрических формул мы посчитали нужные для движения зависимости и получили для углов  $\varphi$  и  $\psi$ :



$$\alpha = \arctg ((H_x+d)/H_y) \quad (1)$$

Нам удобнее использовать обычный для программирования функцию ATAN2(a,b):

$$\alpha = \text{ATAN2} (H_x+d, H_y) \quad (2)$$

Теорема косинусов

$$\beta = \arccos ((L^2 + L1^2 - (L2+Q)^2)/2LL1) \quad (3)$$

$$\phi = \pi/2 - \alpha - \beta \quad (4)$$

Для правой части механизма аналогично получаем:

$$F_x = -d - L1 \cos \phi + (H_x + d + L1 \cos \phi) L2 / (L2 + Q) \quad (5)$$

$$F_y = L1 * \sin \phi + (H_y - L1 \sin \phi) L2 / (L2 + Q) \quad (6)$$

Мы используем координаты  $F_x$  и  $F_y$  для вычисления угла  $\psi$  angle, как в шагах (1) – (2) для вычисления  $\phi$ :

Рис. 4. 5-звенный механизм.  $\delta = \text{ATAN2}(F_y, d - F_x) \quad (7)$

$$\gamma = \arccos ((L1^2 + L'2 - L2^2)/2LL') \quad (8)$$

$$\psi = \pi/2 + \gamma - \delta \quad (9)$$

Таким образом, мы можем вычислить нужные для сервомашин углы при движении точки Н ступни при произвольной траектории, в частности, при движении по прямой траектория каждой ноги должна состоять из прямой – перемещения платформы опорной ногой, подъем ноги, перенос ноги в новую позицию и установку ноги на грунт. Пример полной траектории шага показан на рис.2. В зависимости от нужной высоты мы выбираем разные траектории, заранее записанные в память.

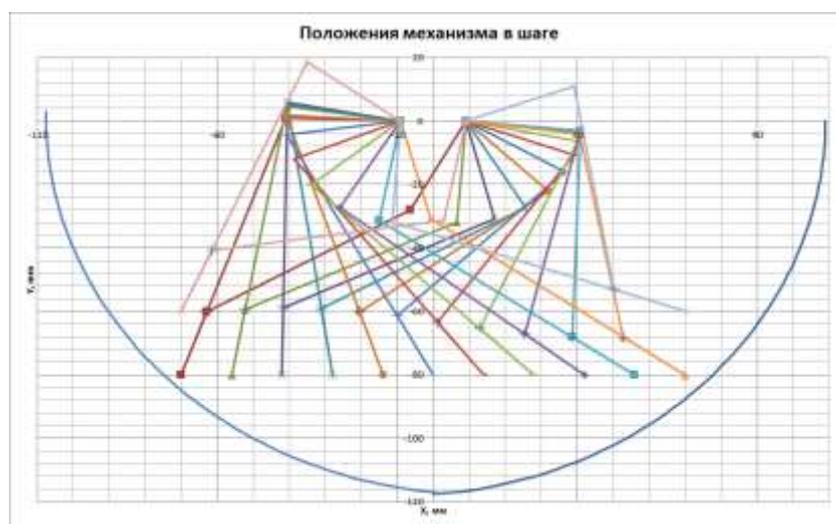
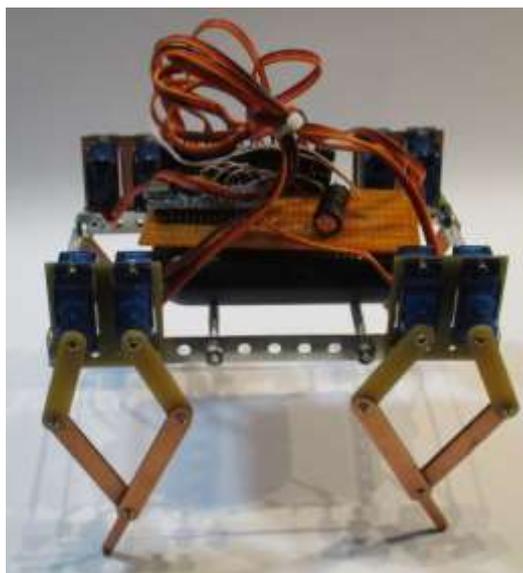


Рис.2. Расчет траектории ноги механизма.



Конструктивно мы реализуем платформу на 8 сервомашинах, по две сервомшины на каждую ногу. Контроллер- Arduino Nano. На плате распаян контроллер, схема устранения помех (конденсаторы, резисторы) и приемник радиуправления. Полевые испытания показали, что разработанный прототип двигается в соответствии с расчетом. Предложенная нами конструкция с ненулевой базой (расстоянием между осями сервомашин) позволяет применить рядное расположение сервомашин.

Рис.3. Рабочий прототип.

Список литературы:

1. GR Minitaur™ Ghost Robotics: <https://www.ghostrobotics.io/robots>.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БИМЕТАЛЛОВ, ПРОИЗВЕДЕННЫХ СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ МЕТОДОМ МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА**

*Ноняк Д.В. аспирант, Первухина О.Л.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
структурной макрокинетики и проблем материаловедения Российской  
академии наук, Черноголовка, [nonyak@bk.ru](mailto:nonyak@bk.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10018**

Биметаллы, полученные сваркой взрывом, представляют собой прочно соединенные слои, сочетающие различные физико-механические свойства исходных материалов. Из таких материалов, как правило, изготавливаются крупногабаритные изделия, работающие в агрессивных средах. Зона соединения в биметалле представляет собой границу раздела, в которой материалы взаимодействуют между собой в процессе нагружения взрывом, термической обработки, дальнейших технологических переделов.

В литературных данных по исследованию структуры соединения и свойств листовых биметаллов, полученных сваркой взрывом на основе

конструкционной, стали, нержавеющей сталей, цветных металлов и сплавов выявлено, что при неправильно выполненной термообработке, деформации композиционного материала при изготовлении изделий из него, возможно образование дефектов, трещин и разрушений, идущих от зоны соединения [1]. При измерении остаточных напряжений на отдельных образцах пар металлов с использованием разрушающих методов было выявлено наличие высокого уровня остаточных напряжений близких к пределу текучести непосредственно в зоне соединения. При термической обработке биметаллов изменяется уровень остаточных напряжений, структура и прочность соединения [2]. В процессе эксплуатации изделий из биметаллов при их нагреве до рабочих температур и охлаждении, напряженно-деформированное состояние также меняется. Это может приводить к структурным изменениям за счет диффузионных процессов и, как следствие, к изменению свойств и долговечности изделия. Опубликованных исследований по комплексному влиянию указанных факторов на эволюцию напряженно-деформированного состояния в процессе производства биметалла и изделий из него в настоящее время нет. Таким образом, исследование напряженно-деформированного состояния на всех этапах создания материала и оборудования из него является актуальной задачей.

В работе будет представлена методика определения уровня напряженно-деформированного состояния зоны соединения биметаллов неразрушающим методом магнитной памяти металлов. Комплекс исследований материалов с различающимися магнитными свойствами позволил выявить закономерности влияния ударно-волновых нагрузок и технологических переделов (термообработки, пластических деформаций) на свойства намагниченности материала и распределения потенциально опасных зон концентрации напряжений. Сопоставление результатов механических испытаний, исследований структуры и сплошности соединения позволило установить их эволюцию и связь с уровнем напряжений при получении биметалла и последующих технологических переделах.

Комплексные исследования связи напряженно-деформированного состояния, структурных изменений и параметров технологического процесса позволят создать материалы с оптимальным сочетанием остаточных напряжений, структуры и свойств соединения за счёт формирования этих показателей в процессе изготовления биметалла, что увеличит конструкционную прочность и долговечность оборудования из биметалла, полученного сваркой взрывом.

#### Список литературы:

1. Распределение внутренних напряжений в биметалле сталь 22К+08Х18Н10Т, полученном сваркой взрывом / Л.Б. Первухин, В.А. Мальцев, Ю.А. Конон, Б.Д. Цемахович, А. Д. Чудновский//Металловедение и термическая обработка металлов. 1975. № 11. С. 28–32.
2. Конон, Ю.А. Сварка взрывом / Ю.А. Конон, Л.Б. Первухин, А.Д. Чудновский. – М.: Машиностроение, 1987. – 216 с.

# ПОЛУЧЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО КОМПОЗИТА, АРМИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМ ВОЛОКНОМ, МЕТОДОМ ПАКЕТНОЙ ФОРМОВКИ

*Гомзин А.И. магистрант, Галышев С.Н.*

*ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический  
университет, Уфа, [andre-gomzi@yandex.ru](mailto:andre-gomzi@yandex.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10019**

Алюминиевый композит, армированный непрерывными углеродными волокнами, обладает множеством характеристик, которые делают этот материал очень перспективным для применения в авиационной, аэрокосмической и других машиностроительных отраслях. К этим характеристикам можно отнести высокую удельную прочность, жесткость, тепло- и электропроводность, трещиностойкость и другие [1,2].

Ввиду малого диаметра углеродных волокон получение такого композита возможно только жидкофазными методами при использовании расплава алюминия [3]. Но т.к. углеродные материалы практически не смачиваются жидким алюминием, для достижения пропитки необходимо приложить избыточное давление.

Есть несколько жидкофазных способов получения углеалюминиевого композита, например, усовершенствованное литье под давлением или метод инфильтрации давлением газа [4]. Но в отличие от этих способов метод пакетной формовки [5] не требует больших давлений или сложного технологического оборудования.

В результате ряда экспериментов по реализации метода вакуумной пакетной формовки были получены объемные образцы углеалюминиевого композита в виде пластин с однонаправленной структурой (рис.1). Для изготовления композитного материала использовался алюминий технической чистоты и однонаправленная ткань из углеродного волокна отечественного производства.

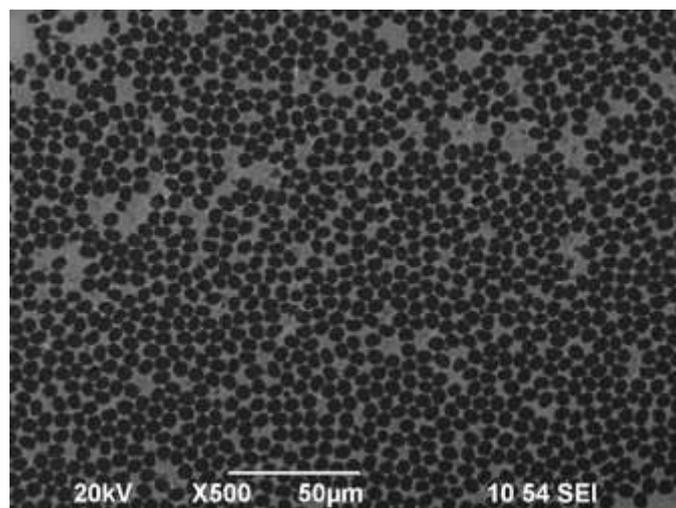


Рис.1. Микроструктура углеалюминиевого композита (РЭМ)

Образцы композита с заложенной объемной долей углеродного волокна 60%, полученные при приложении давления 26 МПа, не имеют в структуре каких-либо несплошностей или пор.

Таким образом, в данной работе было установлено, что получение углеалюминиевого композита возможно методом пакетной формовки, при этом при приложении давления 26 МПа происходит полная пропитка углеродного волокна расплавом алюминия.

#### Список литературы:

3. Laminate squeeze casting of carbon fiber reinforced aluminum matrix composites / Hasan Ali Alhashmy, Michel Nganbe // *Materials and Design*. – 2015. – V. 67. – P. 154-158.
4. Effect of fiber orientation on mechanical properties of 2D-Cf/Al composites by liquid-solid extrusion following vacuum infiltration technique / L.H. Qi, Y.Q. Ma, J.M. Zhou, X.H. Hou, H.J. Li // *Materials Science and Engineering: A*. – 2015. – Vol. 625. – P. 343-349.
5. Чернышова, Т.А. Взаимодействие металлических расплавов с армирующими наполнителями / Т.А. Чернышова, Л. И Кобелева, П. Шебо, А.В. Панфилов. – М.: Наука, 1993. – 272 с.
6. Ballmes, H. Carbon Long Fiber Reinforced Aluminum Matrix Composites – Parameter Studies and Numerical Simulations of the Infiltration Process / H. Ballmes, A. Klassen, C.A. Rottmair, R. F. Singer // *Advanced engineering materials*. – 2010. – V. 12, No. 7 – P. 577-583.
7. Приспособление к прессу для пакетной формовки: пат. 118571 Рос. Федерация: МПК [B21D26/02](#). В.В. Астанин (ст.), В.В. Астанин (мл.), 2011.

# ПРИМЕНЕНИЕ ПОРИСТЫХ СВС-МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ ФИЛЬТРОВ

Гончарук<sup>1</sup> С.Ю. студент, Самборук<sup>2</sup> А.Р.

<sup>1</sup> Самарский государственный технический университет, Самара,  
[semen.goncharuk.1997@mail.ru](mailto:semen.goncharuk.1997@mail.ru)

<sup>2</sup> Самарский государственный технический университет, Самара

DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10020

**Актуальность работы.** В настоящее время пористые материалы имеют широкое применение практически во всех сферах деятельности человека также в качестве фильтрующих и конструкционных материалов.

Основным способом производства пористых проницаемых изделий является спекание порошковых композиций в высокотемпературных печах, как правило, в глубоком вакууме. Данная технология достаточно сложна.

Альтернативой служит значительно более простая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), в основе которой лежит реакция экзотермического взаимодействия двух или нескольких химических элементов, соединений, протекающие в режиме направленного горения. СВС дает возможность для получения целого ряда продуктов с комплексом уникальных эксплуатационных свойств. При этом СВС как метод получения пористых материалов соединяет в себе малую энергоемкость, возможность динамического варьирования структурных и иных свойств получаемых продуктов и безотходность.

**Преимущества СВС фильтров.** Современные полимерные фильтры для тонкой очистки имеют существенные недостатки: низкие показатели прочности, коррозионной стойкости и термостойкости, отсутствие сорбционных свойств и т.д.

Большинство этих недостатков отсутствует у фильтров из пористых керамических материалов, получаемых методом СВС, которые используются, для фильтрации при высоких температурах и в агрессивных средах. Другие материалы здесь оказываются непригодными.

Пористые СВС-материалы обладают рядом преимуществ по сравнению с такими же материалами, синтезированными обычными методами порошковой металлургии. Прежде всего, следует отметить их очень высокую конечную пористость, которая в СВС-материалах может быть выше на 15-20%, что объясняется отрицательным объемным эффектом реакций СВС и выделением примесных газов при синтезе. Еще более важным преимуществом СВС-материалов является то, что их прочность в 1,5-3,0 раза выше, чем у спеченных материалов при той же пористости.

Особенности СВС-метода позволяют широко варьировать состав и структуру фильтров. Фильтры могут иметь как однородную, так и градиентную

структуру. Фильтры с анизотропной структурой (градиентной пористостью) особенно эффективны и экономичны, так как одновременно с высокой производительностью и тонкой очисткой жидкости или газа позволяют осуществлять многократную регенерацию обратным потоком уже очищенной жидкости или газа, или высокотемпературным отжигом. Кроме того, СВС-фильтры на основе карбида титана обладают хорошими бактерицидными свойствами, высокой коррозионной и термической стойкостью.

При изготовлении проницаемых пористых материалов, как правило, необходимо решить две противоречивые задачи: обеспечить высокую пористость и достичь удовлетворительной прочности. Получаемые методом СВС пористые керамические материалы, как правило, достаточно хрупки, не обладают высокой прочностью и используются в основном в качестве фильтров и носителей катализаторов. Получение пористых материалов с повышенной прочностью представляет большой интерес. Перспективным материалом в этом направлении является пористая металлокерамика, применение которой непрерывно расширяется благодаря уникальному сочетанию в ней свойств металла и керамики. Основным недостатком СВС-фильтров является их высокая стоимость.

**Результаты исследований.** Был проведен обзор и анализ результатов исследований по разработке пористых материалов и фильтров методом СВС в трех крупнейших научных центрах: Институте структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН (г. Черноголовка, Московская область), Отделе структурной макрокинетики Томского научного центра СО РАН (г. Томск) и Алтайском государственном техническом университете (г. Барнаул).

С учетом результатов исследований при создании в Самарском государственном техническом университете (СамГТУ) междисциплинарной проектной команды (МПК) «Автоматизированные системы очистки сточных вод пищевой промышленности» было разработано техническое задание на создание фильтров со следующими характеристиками:

- Размер пор: микро- или ультра-фильтрационные фильтры, которые имеют размер пор соответственно 0,2-0,5 мкм и 0,02, и 0,05 мкм;
- Конфигурация – напорные трубчатые;
- Ориентировочные размеры – внутренний диаметр 10-20 мм, длина 0,5-2м;
- Направление фильтрования, наиболее вероятно, изнутри трубок наружу, однако возможно направление снаружи – внутрь;
- Прилагаемое давление 0,1-0,5 Мпа;
- Удельный поток воды через фильтр 50-100 л/(ч\*м<sup>2</sup>);
- Срок эксплуатации - около 25 лет;
- Стоимость – не более 100 USD/м<sup>2</sup>, (трубка диаметром d=10мм, длиной l=2 м должна стоить не более 400 руб.).

Для выполнения технического задания, в качестве базового метода по созданию проницаемых пористых материалов (ППМ) был выбран метод СВС.

Были проведены исследования на уже существующих образцах СВС фильтров для очистки воды от твердых микрочастиц, примесей и т.д.

На базе данного технического задания разработана невакуумная методика синтеза пористых мембран различной формы в режиме СВС.

## **ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ МАКРОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МАХ-ФАЗА/Ti, ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ГОРЕНИЯ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СДВИГОВОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ**

***Прокопец<sup>1,2</sup> А.Д. студентка, Столин<sup>1</sup> П.А., Аверичев<sup>1</sup> О.А., Бажин<sup>1</sup> П.М., Столин<sup>1</sup> А.М., Бердыченко<sup>2</sup> А.А.***

*<sup>1-</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мерджанова Российской академии наук, [frau.london2013@yandex.ru](mailto:frau.london2013@yandex.ru)*

*<sup>2-</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», [berd50@mail.ru](mailto:berd50@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10021**

В современной промышленности все более широкое применение находят композиционные материалы, обладающие более высокими показателями статической и динамической прочности, вязкости разрушения по сравнению с традиционными гомогенными материалами. Среди композиционных материалов большой интерес представляют слоистые композиционные материалы, применение которых позволяет не только повысить надежность и долговечность деталей и оборудования, но и существенно сократить расход высоколегированных сталей, дефицитных и дорогостоящих цветных металлов (никель, хром, медь, молибден и др.), снизить энергоемкость и металлоемкость [1,2].

К новому перспективному классу конструкционных материалов относятся металл-интерметаллидные слоистые композиционные материалы, представляющие собой набор чередующихся двумерных армирующих компонентов – слоев, металла и интерметаллида или керамики, жестко связанных между собой по всей поверхности [2].

Материалы на основе МАХ-фазы системы Ti-Al-C по своим физико-механическим свойствам занимают промежуточное положение между металлами и керамикой. Среди множества МАХ-фаз, синтезированных к настоящему времени, наибольший интерес, с позиций уровня их свойств, представляют МАХ-фазы на основе титана: Ti<sub>2</sub>AlC, Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub>. Как металлы они показывают высокую тепловую и электрическую проводимость, а также

достаточно стойки к тепловым ударам. Как керамика они обладают низким удельным весом, высоким модулем упругости, низким тепловым коэффициентом расширения, высокой теплостойкостью и превосходной жаростойкостью. Все эти свойства делают соединения на основе МАХ-фазы многообещающими материалами для их применения в высокотемпературных средах.

Большими возможностями в получении МАХ-материалов обладают методы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и теплового взрыва. Эти методы, основанные на использовании внутренней химической энергии исходных реагентов, являются примером очень выгодной организации процесса синтеза с тепловой точки зрения.

Существует много приемов, основанных на идеологии СВС. Из этих приемов большое значение в практическом отношении имеет технология СВС-компактирования, в которой реализуется одноосное объемное сжатие материала в пресс-форме для компактирования продуктов горения до беспористого состояния [3]. К перспективным методам относится свободное СВС-сжатие, сущность которого заключается в сдвиговом деформировании СВС-материала непосредственно после синтеза под действием постоянного невысокого давления ( $\sim 10 \dots 100$  МПа) в условиях свободного одноосного сжатия (рис. 1).

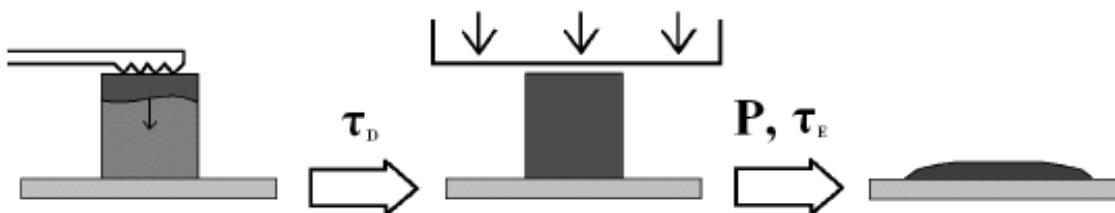


Рис.1 Схема свободного СВС-сжатия.

В настоящей работе в качестве объекта исследования были выбраны керамические материалы на основе МАХ-фазы состава 64,2 масс.% Ti - 27,1 масс.% Al - 8,7 масс.% C. Эти материалы обладают уникальными свойствами металлов и керамики [4]. В качестве подложки использовали технический титан ВТ1-0 диаметром 70 мм и толщиной 1 мм. Для получения качественного макрослойного материала в ходе свободного СВС-сжатия температура горения выбранной системы должна превышать температуру плавления титановой подложки ( $1668^\circ\text{C}$ ) для протекания диффузионных процессов на границе синтезируемый материал-подложка и получения качественного соединения. Таким образом цель настоящей работы заключалась в изучении температурных профилей в синтезируемом материале и подложки в реальных условиях проведения свободного СВС-сжатия. На основе проведенных экспериментальных исследований установлены наиболее благоприятные условия протекания процесса горения и последующего высокотемпературного деформирования, получены макрослойные материалы на титановой подложке, изучены особенности их строения, установлены размеры диффузионных зон в зависимости от технологических параметров процесса.

### Список литературы:

1. Зелепугин С.А. Синтез металло-интерметаллидного слоистого композиционного материала системы Ti-TiAl<sub>3</sub> различными методами. М.: ВИАМ, 2016. 9 с.
2. Ковтунов, А.И. Слоистые композиционные материалы: электронное учебное пособие / А.И. Ковтунов, С.В. Мямин, Т.В. Семистенова. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017.
3. Мержанов, А.Г. Силовое компактирование и высокотемпературная реодинамика / А.Г. Мержанов, А.М. Столин // Инженер.-физ. журн. – 1992. – Т. 63, № 5. – С. 515–516.
4. Galyshev S.N., Bazhin P.M., Stolin A.M., Musin F.F., Solov'ev P.V., and Astanin V.V. High-temperature firing of composite based on the MAX-phase of the Ti–Al–C system // Refractories and Industrial Ceramics, 2018, Vol.58. No. 5. Pp. 557-561. DOI: 10.1007/s11148-018-0144-1.

## **МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ TiB<sub>2</sub>–CrB, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВЫМ ВЗРЫВОМ МЕХ. АКТИВИРОВАННЫХ СМЕСЕЙ**

***Щербаков А.В. молодой ученый, Щербаков В.А., Баринов В.Ю.,  
Вадченко С.Г., Ковалев И.Д., Беликова А.Ф.***

*Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения  
им А.Г. Мержанова РАН, Черноголовка, [ismandrew@ism.ac.ru](mailto:ismandrew@ism.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10022**

В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния состава и механической активации (МА) смеси на микроструктуру и свойства композитов TiB<sub>2</sub>–CrB, полученных методом электротеплового взрыва (ЭТВ) под давлением. ЭТВ включает контролируемый нагрев реакционного образца, находящегося в условиях квазиизостатического сжатия, прямым пропусканием электрического тока. В ходе синтеза измеряли тепловые и электрические параметры. Образцы цилиндрической формы диаметром 20 мм и высотой 12 мм, прессовали из реакционной смеси давлением 110 МПа до относительной плотности 0.5.

В экспериментах использовали стехиометрические смеси порошков титана марки ПТМ (<45 мкм), хрома марки ПХ-1 (<20 мкм) и аморфного бора (<0,2 мкм). Реакционную смесь готовили двумя способами: ручным смешением в ступке и механической активацией в планетарной мельнице-активаторе АГО-2. Механическую активацию проводили для уменьшения масштаба гетерогенности

смеси и определения ее влияния на свойства получаемых композитов. В ходе активации ускорение шаров было равно 100 g, а соотношением между массами смеси и мелющих тел 1:20. На полученных при различных временах механической активации смесях проводили микроструктурные исследования, дисперсионный и рентгенофазовый анализы. Было показано, что при механической активации происходит уменьшение среднего размера частиц смеси и увеличивается дефектность кристаллической решетки металлов.

Перед включением электрического тока к образцу прикладывали давление 96 МПа с помощью пневматического пресса. Полученные композиты изучали методами рентгенофазового и микроструктурного анализов. Микротвердость композитов измеряли на микротвердомере ПТМ-3 по шкале Виккерса. В таблице 1 представлены условия проведения синтеза образцов и свойства СВС-композитов. Показано, что образцы, полученные из механически активированных смесей, обладают более высокой микротвердостью (34 ГПа).

Таблица 1. Условия ЭТВ и свойства композитов  $TiB_2-CrB$ .

Композит	Электрические параметры ЭТВ		МА, мин.	Средний размер зерна $TiB_2$ , мкм	Микротвердость по Виккерсу, ГПа
	U, В	I, кА			
$TiB_2-30CrB$	3,5	0,5	–	0,5–1	15–17
$TiB_2-30CrB$	7,4	1,2	–	1–2	21–25
$TiB_2-30CrB$	11	1,6	–	3–4	27–31
$TiB_2-50CrB$	11	1,6	–	0,5	21–23
$TiB_2-70CrB$	11	1,6	–	0,1–0,2	22–23
$TiB_2-70CrB$	11	1,6	60	–	29–34

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 17-58-04081 Бел\_мол\_а).*

*Работа выполнена с привлечением оборудования распределительного центра коллективного пользования ИСМАН.*

# ВОЗДУШНАЯ КОНВЕРСИЯ ПРОДУКТОВ ГАЗИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ В РЕАКТОРЕ СМЕШЕНИЯ

Гончаров<sup>1,2</sup> Е.А. студент, Кислов<sup>2</sup> В.М., Глазов<sup>2</sup> С.В., Салганская<sup>2</sup> М.В.

<sup>1</sup>- МГУ, Москва

<sup>2</sup>- ИПХФ РАН, Черноголовка, [vmkislov@icp.ac.ru](mailto:vmkislov@icp.ac.ru)

DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10023

## Введение

При газификации твердых топлив органического происхождения продукты газификации, кроме горючих газообразных компонентов (в основном CO, H<sub>2</sub>), содержат большое количество жидких продуктов пиролиза (пиролизных смол). Из-за способности конденсироваться смолы представляют угрозу для турбин и двигателей, так как могут замедлять или полностью блокировать их работу.

Таким образом, поиск методов, которые позволили бы конвертировать низкокачественный продукт-газ с высоким содержанием пиролизных смол в бессмольный синтез-газ, который далее может быть использован как для выработки электрической энергии (например, с помощью газопоршневых двигателей), так и в качестве сырья для синтеза химических продуктов, представляется весьма актуальной задачей.

В связи с вышесказанным нами было проведено исследование процесса окислительной конверсии продуктов газификации древесины в проточном реакторе смешения.

## Экспериментальная установка

Эксперименты по изучению термической конверсии продуктов газификации проводили на установке, состоящей из кварцевого газификатора диаметром 115 мм и проточного смесительного конвертора диаметром 45 мм. Схема установки представлена на рис. 1. Газификацию древесины осуществляли в режиме фильтрационного горения со сверхadiaбатическим разогревом, что обеспечивало максимальное количество пиролизных смол в продуктах газификации. Продуктом воздушной газификации различных смесей древесины и крошки шамотного кирпича являлся горючий аэрозоль, состоящий из газообразных продуктов, пиролизных смол (примерно 420 г/м<sup>3</sup>) и воды (примерно 250 г/м<sup>3</sup>). Аэрозоль направляли в конвертор, представляющий собой проточный реактор смешения, где при подаче воздуха происходило парциальное окисление содержащихся в продуктах газификации смол и превращение их в горючий газ.

## Результаты

На рис. 2 приведены результаты термодинамического расчета равновесного состава и температуры конверсии аэрозоля газификации древесины в адиабатических условиях при различном количестве подаваемого воздуха ( $J$  – коэффициент избытка воздуха,  $J = 1$  – полное сгорание продуктов). Расчет

показывает, что минимальный расход воздуха, при котором должна осуществляться полная конверсия пиролизных смол в горючий газ соответствует примерно коэффициенту  $J=0.45$ . С увеличением расхода воздуха происходит избыточное окисление горючих газообразных компонентов. В частности, при увеличении расхода до  $J = 0.67$  содержание CO снижается с 12.8 до 8.6%, а содержание водорода с 9.1 до 2.8%, за счет чего температура продуктов конверсии увеличивается с 1172 до 1544°C.

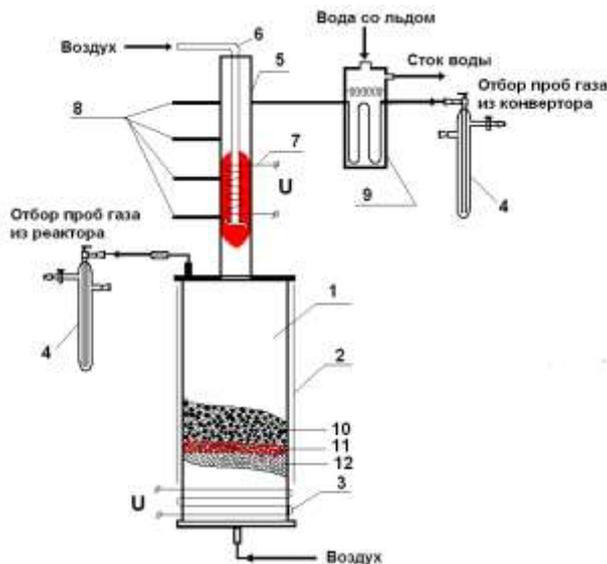


Рис. 1. Схема лабораторной установки для изучения конверсии продуктов газификации: 1. газификатор; 2. теплоотражающий экран; 3. электроспираль; 4. пробоотборники; 5. конвертор; 6. воздуховод; 7. электроспираль прогрева конвертора; 8. терморпары; 9. охладитель продуктов конверсии; 10. исходное топливо; 11. зона горения; 12. золный остаток.

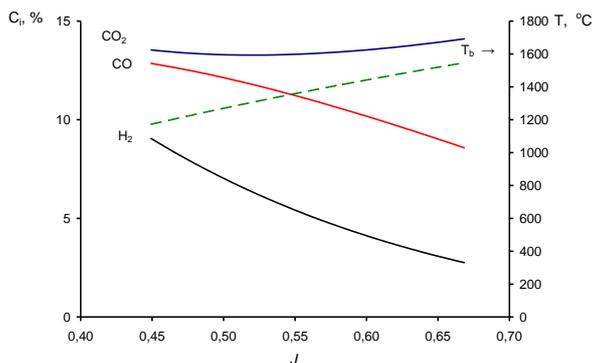


Рис. 2. Термодинамический расчет равновесного состава газообразных продуктов и температуры в зависимости от расхода воздуха на конверсию продуктов газификации древесины.

Эксперименты по конверсии продуктов газификации смесей с содержанием древесины 50 и 67 % показали качественно схожие результаты: с увеличением количества подаваемого воздуха температура конверсии возрастала, а содержание горючих компонентов (CO и H<sub>2</sub>) в продуктах конверсии снижалось (рис. 3). В проведенных экспериментах содержание CO в продуктах конверсии было несколько выше, а водорода примерно в два раза

ниже, чем в расчете, что являлось результатом относительно высоких теплотерь. Температура конверсии была на 400–500°C ниже расчетной (740°C при  $J = 0.3$  и 1030°C при  $J = 0.8$ ), а при полном сгорании аэрозоля ( $J = 1$ ) составляла всего 1140°C. Другим отличием результатов экспериментов от расчетных данных является меньшая степень конверсии смол. В экспериментах смолы полностью превращались в газообразные продукты только при  $J = 0.8$ , то есть вблизи границы полного сгорания продуктов газификации (рис. 4). Теплота сгорания газообразных продуктов при этом составляла 1-2 МДж/м<sup>3</sup>. Достаточно высокая степень конверсии ( $Y = 80\%$ ) при относительно высокой теплоте сгорания продуктов (2.5-4.0 МДж/м<sup>3</sup>) достигалась при  $J = 0.5$ .

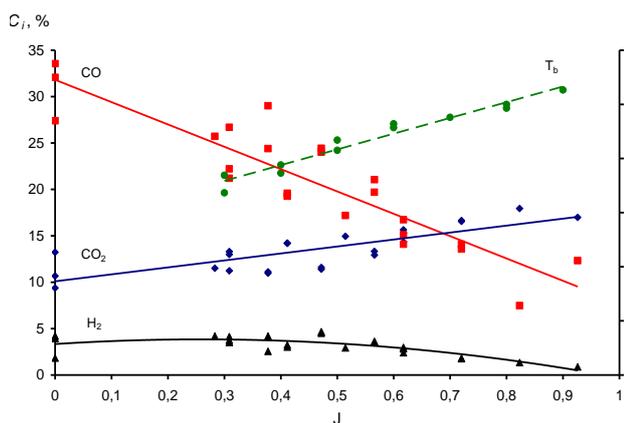


Рис. 3. Состав продуктов конверсии и температура при различном расходе воздуха на конверсию для смесей с содержанием древесины 67%.

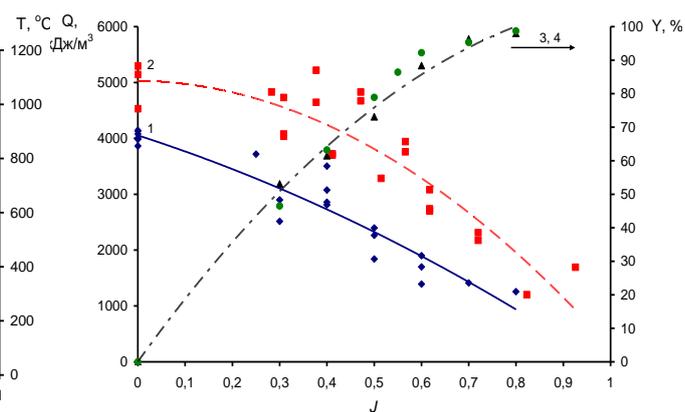


Рис. 4. Зависимость теплоты сгорания продуктов конверсии (1 и 2) и степени конверсии смол (3 и 4) от расхода подаваемого воздуха для смесей с различным содержанием древесины: 1 и 3 – содержание древесины 50%; 2 и 4 – содержание древесины 67%.

### Заключение

Проведенные расчеты показывают перспективность процесса окислительной конверсии в проточном реакторе смешения для преобразования смол термического разложения, содержащихся в продуктах газификации твердых топлив.

Эксперименты по окислительной конверсии продуктов газификации древесины в проточном реакторе смешения качественно подтвердили данные расчетов. Количество пиролизных смол после окислительной конверсии действительно резко снижалось. Однако, вследствие относительно высоких теплотерь конверсия пиролизных смол проходила не полностью и в оптимальном по расчетам режиме составляла 70-80%.

*Работа выполнена по теме Государственного задания, № гос. регистрации 01201361842, а также при частичной поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 31 "Фундаментальные исследования процессов горения и взрыва".*

# ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СВАРКИ ВЗРЫВОМ НА УДЛИНЕНИЕ ТИТАНОВОЙ ТРУБЫ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ МЕДНОГО СТЕРЖНЯ

*Малахов<sup>1</sup> А.Ю. молодой ученый, Сайков<sup>1</sup> И.В., Николаенко<sup>1</sup> П.А.,  
Первухин<sup>2</sup> Л.Б.*

*<sup>1-</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки **Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения Российской академии наук**, Черногловка, [sir.malahov2009@yandex.ru](mailto:sir.malahov2009@yandex.ru)*

*<sup>2-</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие **ЦНИИЧермет**, Москва*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10024**

В процессе сварки взрывом по свариваемым материалам проходят ударные волны. Они создают в металле упругие возмущения, способные его деформировать. Упругие волны, распространяющиеся в металле, можно рассматривать как систему двух типов волн – продольных и поперечных [1].

Степень деформации материала при сварке взрывом во многом зависит от параметров соударения, которые в свою очередь рассчитываются в зависимости от толщины метаемого элемента и свойств свариваемых сплавов. В случае сварки взрывом изделий цилиндрической формы существуют значительные сложности в расчете режимов сварки и разработке дополнительной оснастки для уменьшения различного рода деформаций.

Целью данной работы было экспериментально определить степень продольной деформации трубы из титана ВТ1-0 при плакировании данной трубой медного стержня на разных режимах нагружения.

Была проведена серия экспериментов с различными режимами соударения. Методика эксперимента предусматривала: 1. Подготовку титановых труб к экспериментам методом реперных точек. 2. Разработку схемы взрывного плакирования. 3. Проведение трех экспериментов по очереди: начиная с наименьшей скорости детонации. 4. Обработку результатов и выявление зависимости степени деформации титановой трубы от режима сварки.

Подготовка сборки под сварку заключалась в следующих операциях:

1. Измерение фактической длины титановой трубы.
2. Нанесение на наружную поверхность трубы специальных меток ударным методом с помощью керна.
3. Измерение расстояния между поставленными метками.
4. Очистка и обезжиривание внутренней поверхности трубы и наружной поверхности медного стержня.
5. Сборка элементов.

Все замеры проводились тоекратно. Длина титановых труб по результатам замеров составила  $L = 1500 \pm 2 \dots 4$  мм, наружный диаметр  $D = 22 \pm 0,1 \dots 0,3$  мм. Всего было подготовлено 3 образца.

Сварка взрывом осуществлялась на трёх режимах, при которых скорости точек контакта  $V_k$  составляли 1500 м/с, 2000 м/с и 3500 м/с соответственно.

Так как в твердом веществе ударная волна с амплитудой даже в сто тысяч атмосфер является слабой, то такая волна мало отличается от акустической: она распространяется со скоростью, близкой к скорости звука и сжимает вещество всего на несколько или десятков процентов [2]. Исходя из того, что при начальном параллельном расположении свариваемых поверхностей друг к другу скорость точки контакта  $V_k$  равна скорости детонации  $D$  [3], то можно, исходя из значений скорости волны сжатия и скорости детонации рассчитать примерное расстояние, на котором начнется удлинение титановой трубы.

Расчет приблизительного расстояния начала удлинения титановой трубы проводился по следующей формуле:

$$L_{\text{уд.}} = L_1 + L_2 \quad (1);$$

где  $L_1$  – расстояние, которое пройдет точка контакта до момента начала возвращения волны разгрузки, м;  $L_2$  – расстояние, которое пройдет точка контакта за время её встречи с волной разгрузки, м.

Расстояние  $L_1$  рассчитывается по следующей формуле:

$$L_1 = \frac{L_{\text{труб}}}{c_{Ti}} * V_k \quad (2);$$

где  $L_{\text{труб}}$  – длина титановой трубы (1,5 м);  $c_{Ti}$  – скорость звука в титане (4847 м/с) [7];  $V_k$  – скорость точки контакта, м/с.

Анализ результатов экспериментов подтвердил расчетные данные по удлинению титановой трубы после сварки взрывом. При этом стоит отметить, что на режиме  $V_k = 3500$  м/с биметаллический стержень стал короче на 6 мм, что свидетельствует о том, что материал не успел разгрузиться и остался в напряженном состоянии.

Эксперименты по сварке взрывом проводились на базе ООО «Битруб Интернэшнл».

#### Список литературы:

1. Крупин А.В., Соловьев В.Я., Шефтель Н.И., Кобелев А.Г. Деформация металлов взрывом. М.: Металлургия, 1975. 416 с.
2. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П., Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений, М.: Физматлит, 2008, 656 с.
3. Конон Ю.А., Первухин Л.Б., Чудновский А.Д. Сварка взрывом. М.: Машиностроение, 1987, 216 с.

# РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИГАТУР МЕТОДОМ КОМПАКТИРОВАНИЯ ВЗРЫВОМ

*Капустин Р.Д. молодой ученый, Петров Е.В., Сайков И.В.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мерджанова Российской академии наук, Черногловка, [kapustin-roman@mail.ru](mailto:kapustin-roman@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10025**

Исследование посвящено разработке научных основ создания технологии получения взрывом компактов металлических порошков. При легировании жаропрочных сплавов для предотвращения всплытия и выгорания порошков, содержащих легирующие элементы, используются полиметаллические компакты на их основе. Технология получения компактов заключается в том, что в прессуемую массу порошка за короткий промежуток времени вводится большое количество энергии.

Основной задачей при получении материалов с заданными свойствами является сохранение в конечных компактах исходной структуры элементов. В процессе прессования многокомпонентных смесей порошков возникают трудности, связанные с наличием сильно различающихся свойств, в частности, разной плотности, твердости и температурной чувствительности компонентов, не позволяющей осуществлять спекание, так как ряд веществ в порошковой смеси разлагается либо меняет свою структуру при нагреве.

Обжатие многокомпонентных порошков в цилиндрических металлических ампулах методом взрыва является простым и надежным методом интенсивного ударного нагружения порошков с сохранением получаемого материала. Применение этой схемы обусловлено целым рядом достоинств технологического характера, таких как удобство изготовления и невысокая стоимость оснастки, простота инициирования радиально-симметричного взрыва, надежная герметизация и возможность вакуумирования объема обрабатываемого порошка, а также стесненность динамической разгрузки из сжатого состояния благодаря необратимой деформации ампулы при обжати.

Таким образом, при прессовании таких порошков, особое место принадлежит выбору оптимальных параметров и разработке технологии ударно-волнового компактирования.

В рамках работы проведены экспериментальные исследования по компактированию взрывом в ампуле сохранения смеси порошков Ni и Mg, в том числе с различными добавками. Применялись различные режимы взрывного компактирования с использованием взрывчатых веществ с различной скоростью детонации (аммонит, игданит и др.), а также различные вариации порошковых

смесей (активированные и нет, с различным размером частиц и др.). Методика экспериментов предусматривала проведение термообработки компактов при температуре перитектики в различной среде (воздух, вакуум, инертный газ) с последующим исследованием продуктов методами рентгенофазового анализа и электронной растровой микроскопии.

Лигатуры на основе компактов группы никель-магний используются как высококачественные модификаторы при производстве чугунов с шаровидным графитом, особенно никельсодержащих и данная группа приводит к значительному росту эффективности усвоения магния в жидком чугуне.

## **ТВЕРДОФАЗНОЕ СПЕКАНИЕ НАНОПОРОШКОВЫХ КОМПАКТОВ SiC–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ПОЛУЧЕННЫХ ХОЛОДНЫМ ИЗОСТАТИЧЕСКИМ ПРЕССОВАНИЕМ**

***Прилипко С.Ю. молодой ученый, Кудрявцев Ю.А., Беличко Д.Р., Глазунова  
В.А., Волкова Г.К., Герасименко В.М.***

*Донецкий физико-технический институт, Донецк, [suprilipko@mail.ru](mailto:suprilipko@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10026**

Керамические композиты на основе SiC и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> известны своими высокими эксплуатационными характеристиками, такими как высокая твердость, огнеупорность и химическая стойкость. При этом наличие Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> позволяет интенсифицировать процесс получения плотного материала и снизить его стоимость, а снижение температуры спекания дало бы возможность не только значительно повысить эффективность его производства, но и позволило бы использовать менее дорогое нагревательное оборудование.

Данная работа посвящена исследованию спекания керамики из смеси нанопорошков карбида кремния и оксида алюминия, представленного двумя модификациями ( $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Фотографии порошков представлены на рисунке 1.

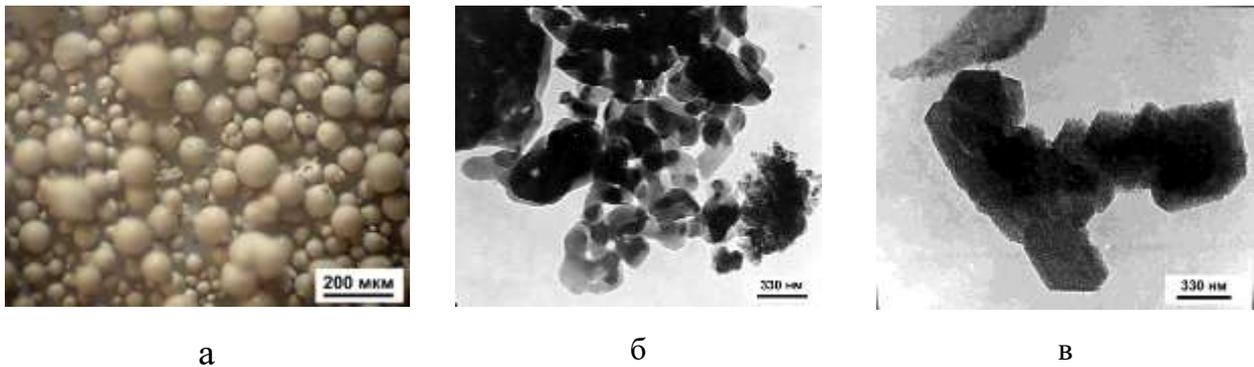


Рис.1. Фотографии структуры порошков а – нанодисперсного гранулированного SiC (средний размер гранул 100 мкм, размер кристаллитов 300 нм); б –  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (средний размер кристаллитов 40 нм); в –  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(средний размер кристаллитов 5 нм).

Для исследования зависимости спекания от количественного соотношения компонентов были приготовлены смеси порошков состава 40%SiC+60% $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 5%SiC+95% $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Также исследовалось влияние давления холодного изостатического прессования на плотность компактов и спеченных образцов. Для состава 5%SiC+95% $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> изучалось влияние давления холодного изостатического прессования в диапазоне от 0,2 до 0,8 ГПа. Спекание керамики осуществлялось в индукционной печи при температуре 1550°С в течение 2ч в атмосфере аргона. Результаты исследований сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Плотности компактов и спеченных образцов SiC– Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в зависимости от количества компонентов, их исходной кристаллической структуры и давления холодного изостатического прессования.

Серия	Состав	P, ГПа	$\rho$ компакта, г/см <sup>3</sup>	$\rho$ керамики, г/см <sup>3</sup>
A2	40%SiC+60% $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2	1,89	2,02
B2	5%SiC+95% $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2	1,70	3,22
B5	5%SiC+95% $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5	1,70	3,18
B8	5%SiC+95% $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8	1,76	3,28
C2	5%SiC+95% $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2	1,96	3,65

Из приведенных результатов следует, что плотности компактов выше при использовании  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, однако это объясняется тем, что теоретическая плотность этой модификации на 10% выше, чем  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3,99 и 3,68г/см<sup>3</sup> соответственно). Следует отметить, что приведенные кристаллические модификации Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> актуальны только для стартового состава порошков, так как при температуре свыше 1000°С оксид алюминия переходит в  $\alpha$ -форму.

Тем не менее, после спекания плотность среди образцов с равным количеством SiC существенно выше для состава, в котором использовался нанопорошок  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Увеличение количества SiC до 40% привело к тому, что усадка этого образца при данной температуре спекания оказалась крайне низкой.

Из анализа полученных результатов можно сделать вывод о перспективности использования нанопорошка  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с небольшим количеством карбида кремния, поскольку такое сочетание позволяет получать

плотную керамику при достаточно низких для такой системы температурах спекания и давлений холодного изостатического прессования.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

*Мордасов М.Д. студент*

*Тамбовский государственный технический университет,  
Тамбов, [makaveli.mordasov@yandex.ru](mailto:makaveli.mordasov@yandex.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10027**

В современных экономических условиях актуальной является задача повышения эксплуатационных и технологических свойств материалов и изделий. Одним из путей решения этой задачи является применение различных модифицирующих добавок [1].

Широкое применение в промышленном производстве имеют полимерные композиционные материалы, спектр уникальных свойств которых получают за счет введения в полимерную матрицу различных наполнителей. Перспективным является использование в качестве наполнителя кремнезема в различных его структурных состояниях: гидратированный диоксид кремния (белая сажа (аморфный дисперсный кремнезем)) применяется в качестве усиливающего наполнителя полимерных материалов в машиностроении, шинной, резинотехнической, химической, легкой и других отраслях промышленности, добавка коллоидного диоксида кремния обеспечивает получение легких, прочных цветных резин для изготовления подошв обуви, прорезиненных тканей, изделий санитарии, гигиены и т.д., коллоидный диоксид кремния является активным наполнителем в производстве силиконовых эластомеров, диоксид кремния как модифицирующая добавки в клеящие составы на основе сополимеров этилена и винилацетата, повышает когезионную прочность и эластичность клеевого шва, а также его термостабильность. Кремнезем является незаменимым наполнителем полимерных и полимерминеральных материалов конструкционного назначения [2].

В настоящей работе проведены исследования структуры и свойств кремнеземсодержащих дисперсных наполнителей: трепел, карьерный и кварцевый песок.

Подготовка материалов включала следующие основные этапы:

- сушка в печи при температуре 200°C в течение 2 часов;
- измельчение с использованием щековой дробилки ШД-6 до размера частиц не превышающего 2 мм;

- истирание частиц с использованием вибрационной конусной мельницы-дробилки ВКМД-6.

Насыпную плотность подготовленных материалов измеряли весовым методом (путем взвешивания на лабораторных весах свободно насыпанного материала в емкость известного объема) [3], форму и размер частиц материала определяли с применением металлографического микроскопа ММР-3 при увеличении 900×. Микроструктуры исследуемых материалов представлены на рис. 1, числовые значения плотности материалов и размера частиц приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований

	Трепел	Песок карьерный	Песок кварцевый
Плотность насыпная, г/см <sup>3</sup>	0,60	1,38	1,43
Средний диаметр частиц, мкм	3	7	12
Фактор неравноосности	1,0 – 1,1	1,2 – 1,8	1,1 – 2,1
Форма частиц	сферическая	осколочная	осколочная

Средний диаметр частиц вычислялся как среднее арифметическое средних диаметров частиц в трех полях зрения микроскопа при увеличении 900×; фактор неравноосности определялся как отношение наибольшего размера частицы к ее наименьшему размеру.

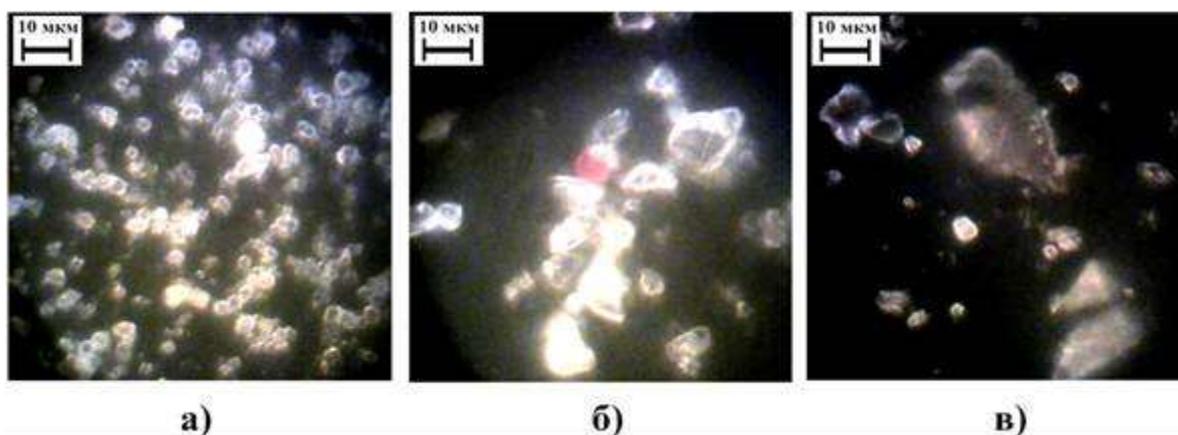


Рис. 1. Микроструктуры исследуемых материалов: а – трепел, б – песок карьерный, в – песок кварцевый.

Результаты анализа показывают, что карьерный песок, в отличие от трепела и кварцевого песка, наряду с частицами SiO<sub>2</sub> содержит сложные силикаты включающие оксиды железа и алюминия, цвет которых в поляризованном свете микроскопа изменяется от розового до красного (рис. 1, б).

Существенные различия плотности, размера и формы частиц трепела и песка (кварцевого и карьерного) связаны со структурой частиц этих материалов. Трепел – тонкопористая осадочная опаловая порода, частицы которой состоят из

полимеризованных нитей аморфного кремнезёма, свернутых или собранных в глобулы, размер которых не превышает 2 - 5 мкм (рис. 1, а). Пески состоят преимущественно из зерен кварца размером 0,25 – 0,50 мм (среднезернистые). В связи с этим механизм измельчения частиц трепела и песка протекает по-разному. Частицы трепела, являясь типичными фрактальными объектами [4, 5], при измельчении разделяются на подобные сферические частицы размером 2 – 5 мкм, а процесс измельчения песка сопровождается механическим раскалыванием зерен кварца. В результате измельчения песка получаются угловатые, осколочные частицы, размер которых может меняться в широком диапазоне, а в силу того, что измельчаются монолитные зерна – поры в частицах практически отсутствуют. Пористость трепела составляет порядка 50 – 60 %, что и обуславливает его активность при использовании в качестве добавки или наполнителя в матрицы различного состава.

Таким образом, в результате проведенных исследований показаны существенные отличия структуры и свойств таких материалов, как трепел и песок. Перспективным с точки зрения повышения свойств полимерминеральных композиционных материалов является применение трепела в качестве модифицирующей добавки.

#### Список литературы:

1. Мордасов М.Д. Исследование структуры полимерного композиционного материала / М.Д. Мордасов, Д.М. Мордасов // 71 всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: сб. материалов конф. Ч. 2 – Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2018. - С. 464-466.
2. Мордасов М.Д. Разработка многофункциональных полимер-минеральных материалов и покрытий / М.Д. Мордасов // Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития: сб. науч. ст. молодых ученых, аспирантов и студентов. - Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. IX. – С. 28-31.
3. Мордасов, Д.М. Технические измерения плотности сыпучих материалов / М.М. Мордасов, Д.М. Мордасов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 80 с.
4. Мордасов Д.М. Влияние истинной плотности частиц порошковых систем на их фрактальную размерность / М.Д. Мордасов, А.В. Фирсова, Д.М. Мордасов // Вестник ТГТУ. 2017. Т. 23. № 2. - С. 348-355.
5. Мордасов, Д.М. Влияние физико-механических свойств и структурных характеристик сыпучих материалов на их фрактальную размерность / Д.М. Мордасов, М.Д. Мордасов, И.Г. Проценко // «Современные технологии композиционных материалов»: Материалы II научно-практической молодежной конференции с международным участием: 18-21 октября 2016. - Уфа, Изд-во: Башкирский государственный университет, 2016 – С. 98 – 102.

# ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООВОГО ВЗРЫВА В ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ Ti-Al, ПОДВЕРЖЕННОЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ И ГАММА-ОБЛУЧЕНИЮ

*Собачкин<sup>1</sup> А.В. молодой ученый, Логинова<sup>1</sup> М.В., Яковлев<sup>1</sup> В.И.,  
Ситников<sup>1</sup> А.А., Филимонов<sup>1</sup> В.Ю., Иванов<sup>1</sup> С.Г., Мясников<sup>1</sup> А.Ю.,  
Негодяев<sup>1</sup> А.З., Градобоев<sup>2</sup> А.В.*

*<sup>1</sup> Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова, Барнаул, [anicpt@rambler.ru](mailto:anicpt@rambler.ru)*

*<sup>2</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, Томск*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10028**

В последнее время широкое распространение получил механостимулированный высокотемпературный синтез (МАСВС) [1, 2]. При механическом воздействии на смесь поверхности реагентов очищаются от окислов и примесей, происходит формирование неравновесных дефектов структуры, что приводит к интенсификации диффузионных процессов и иницированию процесса высокотемпературного синтеза в твердой фазе [3, 4]. Управляющими параметрами активационного воздействия являются продолжительность механической активации и интенсивность силовой нагрузки на порошковую смесь [5, 6].

Предварительная механическая активация является способом «грубого» воздействия на порошковую смесь [7]. Особый интерес для реализации «тонкого» управления структурой представляет использование  $\gamma$ -облучения систем, находящихся в неравновесном состоянии [8-11].

В настоящей работе были проведены экспериментальные исследования по изучению влияния воздействия гамма-облучения на структуро- и фазообразование конечного продукта в предварительно механоактивированной порошковой смеси Ti+Al. Источниками внешнего воздействия являлись: механическая активация, быстрый СВЧ нагрев смеси с последующим высокотемпературным отжигом,  $\gamma$ -облучение механоактивированной шихты. Для реализации быстрого разогрева смеси до высоких температур использовался индукционный нагрев стенок графитового тигля [12].

На рис. 1а приведены характерные дифрактограммы продуктов, полученные при высокотемпературном синтезе предварительно механоактивированной в течение 7 мин. порошковой смеси Ti + Al при энергонапряженности мельницы 40 г, а затем облученной  $\gamma$ -квантами при  $D\gamma = 5 \cdot 10^4$  Гр. Дифрактограммы представлены для времени изотермического отжига ( $\tau$ ) 0, 2 и 7 мин.

Из сравнительного анализа дифрактограмм следует, что при 0 мин. отжига продуктом синтеза является многофазный продукт. Уширенные пики, высокий

уровень диффузного фона и появление рентгеноаморфного гало на малых углах качественно свидетельствуют о формировании неравновесного состояния фаз интерметаллидов. При двухминутном изотермическом отжиге продуктом синтеза является монофазный интерметаллид TiAl, наблюдается стабилизация системы. При увеличении времени отжига до 7 мин. распада фазы TiAl не происходит, как это наблюдалось при синтезе механоактивированных смесей Ti + Al без воздействия  $\gamma$ -облучения [13]. Таким образом, при увеличении времени отжига до 7 мин. сохраняется монофазный продукт состава TiAl, более того, на дифрактограммах наблюдаются увеличение интенсивности отражений фазы, пики сужаются, уменьшается уровень диффузного фона, что свидетельствует о стабилизации TiAl.

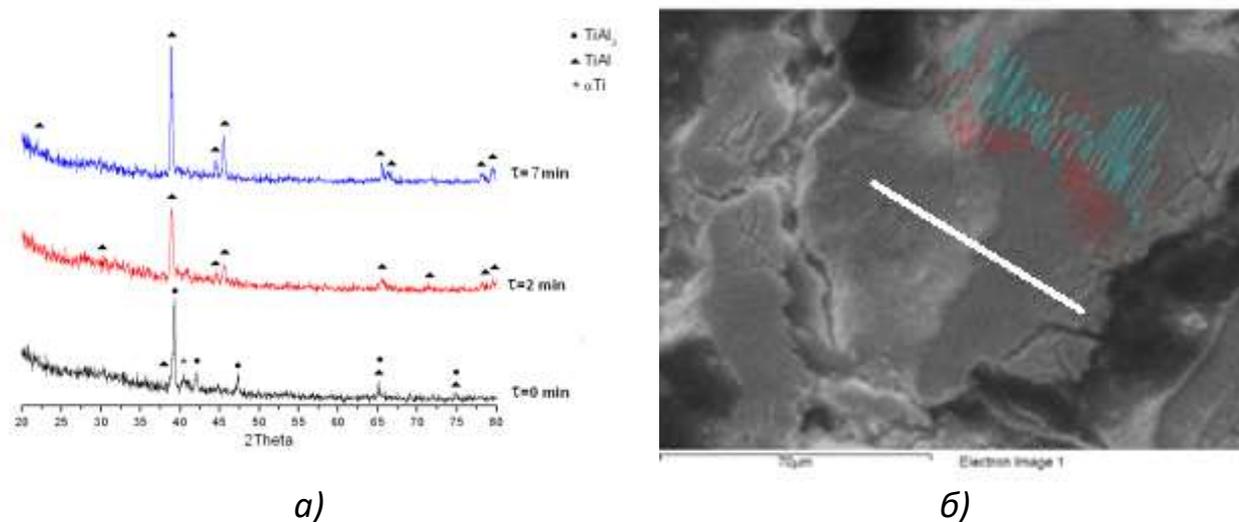


Рис. 1. Реализация СВ-синтеза в механоактивированной  $\gamma$ -облученной смеси Ti+Al: а) результаты рентгенофазового анализа: б) распределение компонентов в объеме продукта синтеза.

На рис. 1б представлена характерная картина распределения компонентов в объеме механокомпозита для режима: 7 мин. МА,  $D\gamma = 5 \cdot 10^4$  Гр, время отжига 7 мин. Система характеризуется высокой степенью однородности распределения компонентов в объеме механокомпозита. Изменения состава составляют  $50 \pm 3$  ат. % Ti.

Можно предположить, что процессы радиационно-стимулированной диффузии способствуют процессам растворения и гомогенизации, изменяют области гомогенности фаз и твердых растворов в объеме механокомпозита, создают благоприятные условия для взаимной твердофазной диффузии на межфазных границах [14, 15]. Следует заметить, что влияние  $\gamma$ -облучения на матричную структуру активированных смесей требует дальнейших исследований.

#### Список литературы:

1. Bernard F., Gaffet E. Mechanical alloying in SHS research // International Journal of SHS. 2001. № 2. P. 109–131.
2. Ляхов Н.З., Талако Т.Л., Григорьева Т.Ф. Влияние механоактивации на процессы фазо-и структурообразования при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе. Новосибирск : Параллель, 2008. 168 с.

3. White J.D.E., Reeves R.V., Son S.F., Mukasyan A.S. Thermal explosion in Al-Ni system: Influence of mechanical activation // Journal of Physical Chemistry A. 2009. Vol. 113. P. 13541–13547.
4. Mukasyan A.S., White J.D.E., Kovalev D., Kochetov N., Ponomarev V., Son S.F. Dynamics of phase transformation during thermal explosion in the Al-Ni system: influence of mechanical activation // Physica B. 2010. Vol. 405. P. 778–784.
5. Филимонов В.Ю., Корчагин М.А., Смирнов Е.В., Ляхов Н.З. Макрокинетика твердофазного синтеза активированной смеси  $3\text{Ni}+\text{Al}$  в режиме теплового взрыва // Физика горения и взрыва. 2010. Т. 46. № 4. С. 90–98.
6. Filimonov V.Yu., Sitnikov A.A., Afanas'ev A.V., Loginova M.V., Yakovlev V.I., Negodyaev A.Z., Schreifer D.V., Solov'ev V.A. Microwave assisted combustion synthesis in mechanically activated  $3\text{Ti} + \text{Al}$  powder mixtures: structure formation issues // International Journal of SHS. 2014. Vol. 23. № 1. P. 18–25.
7. Корчагин М.А., Григорьева Т.Ф., Бохонов Б.Б., Шарафутдинов М.Р., Баринова А.П., Ляхов Н.З. Твердофазный режим горения в механоактивированных СВС-системах // Физика горения и взрыва. 2003. Т. 39. № 1. С. 51–59.
8. Шалаев А.М., Структура и свойства металлов и сплавов. Свойства облученных металлов и сплавов. Киев : Наукова Думка, 1985. 307 с.
9. Андриевский Р.А. Влияние облучения на свойства наноматериалов // Физика металлов и металловедение. 2010. Т. 110. № 3. С. 243–254.
10. Loginova M.V., Yakovlev V.I., Sitnikov A.A., Sobachkin A.V., Ivanov S.G., Negodyaev A.Z., Gradoboev A.V. The evolution of structural and phase states of titanium aluminides after  $\gamma$ -irradiation in small doses // Physics of Metals and Metallography. 2017. Vol. 118. № 2. P. 170–175.
11. Логинова М.В., Собачкин А.В., Ситников А.А., Яковлев В.И., Филимонов В.Ю., Иванов С.Г., Мясников А.Ю., Негодяев А.З., Градобоев А.В. Структурное состояние активированной порошковой смеси  $\text{Ti}+\text{Al}$  при изменении времени механоактивации и доз гамма-облучения // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2018. Т. 15. № 1. С. 68–73.
12. Sobachkin A.V., Loginova M.V., Sitnikov A.A., Yakovlev V.I., Filimonov V.Yu., Gradoboev A.V. Stimulation of processes of self-propagating high temperature synthesis in system  $\text{Ti} + \text{Al}$  at low temperatures by influence of  $\gamma$ -quanta // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. P. 032051.
13. Sobachkin A.V., Loginova M.V., Sitnikov A.A., Yakovlev V.I., Filimonov V.Yu., Ivanov S.G., Myasnikov A.Yu., Gradoboev A.V. High-temperature synthesis in mechanically activated  $\text{Ti}-\text{Al}$  powder mixture irradiated by gamma-quanta // Explosive production of new materials: science, technology, business, and innovations : 14th International symposium. 2018. P. 265-268.
14. Loginova M.V., Yakovlev V.I., Filimonov V.Y., Sitnikov A.A., Sobachkin A.V., Ivanov S.G., Gradoboev A.V. Formation of structural states in mechanically activated powder mixtures  $\text{Ti} + \text{Al}$  exposed to gamma irradiation // Letters on Materials. 2018. Vol. 8. № 2. P. 129–134.
15. Логинова М.В., Яковлев В.И., Ситников А.А., Филимонов В.Ю., Собачкин А.В., Градобоев А.В. Рентгеноструктурное исследование влияния поглощенной дозы гамма-облучения на структурные характеристики  $\text{Ti}_3\text{Al}$  // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2018. № 5. С. 78–82.

*Работа проводилась в рамках государственного Задания № 11.1085.2017/4.6.*

# ИЗУЧЕНИЕ ТРАНСЛЯЦИИ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОГО УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ СВЯЗУЮЩЕГО НА СВОЙСТВА УГЛЕПЛАСТИКОВ

*Танкова К.И. студентка, Ананьева Е.С.*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова», [kit311290@gmail.com](mailto:kit311290@gmail.com)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10029**

Полимерные композиционные материалы обладают повышенными упруго-прочностными характеристиками и давно зарекомендовали себя в авиастроении и других наукоёмких производствах. В отличие от традиционных материалов они разрабатываются одновременно с изделием, и практически не требуют серьёзной механической обработки, что позволяет снизить затраты на производство и без того дорогостоящих изделий в авиакосмической промышленности.

Наиболее широко используемыми в наше время в области машиностроения являются волокнистые полимерные композиционные материалы конструкционного назначения. Помимо повышенной прочности они обладают высокой анизотропией свойств, что значительно расширяет их область применения, позволяет снизить вес конструкций и уменьшить материалоемкость производства. При совмещении волокна с полимерной матрицей появляется возможность получить материал, обладающий более высокой прочностью, чем отдельные его компоненты в блоке. Матрица обеспечивает монолитность материала, защищает наполнитель от воздействия вредных факторов окружающей среды и распределяет нагрузку между армирующими элементами, а волокна выполняют несущую функцию при деформировании изделия, обеспечивая его прочность и жёсткость [1].

При изготовлении полимерных композиционных материалов наиболее часто применяются эпоксидные матрицы, которые обладают оптимальной адгезией к наибольшему числу типов волокон, коррозионной стойкостью, и другими положительными эксплуатационными и технологическими качествами. Помимо всех достоинств, эпоксидная матрица имеет свои недостатки: хрупкость и низкая трещиностойкость [2]. Таким образом, целесообразно разработать методы модификации эпоксидных матриц для решения данной проблемы, одним из таких методов является наполнение ультрадисперсными углеродными порошками, такими как ультрадисперсные алмазы, графит, сажа, алмазографит, углеродные нанотрубки [3].

В настоящей работе использовалось эпоксидиановое связующее на основе эпоксидной смолы ЭД–20 и отвердителя холодного отверждения ТЭТА без

добавления пластификаторов для сохранения прочностных свойств матрицы, исключения взаимодействия ультрадисперсного порошка с ним и снижения вероятности искажения результатов. В качестве армирующего элемента использовалась однонаправленная углеродная ткань. Как модификатор использовался ультрадисперсный порошок алмазографита. Ультрадисперсные порошки на основании углерода обладают высокой удельной поверхностью и поверхностной энергией, которая вносит значительный вклад структуру формирующейся в присутствии этих частиц, а также волокна, эпоксидной матрицы. Структура определяет свойство материала, а значит вклад алмазографита в свойства изделия столь же значителен [4]. На основании результатов экспериментальных исследований была выявлена зависимость механических свойств эпоксидной матрицы от содержания в ней ультрадисперсного порошка, а также трансляция этих свойств на свойства однонаправленных углепластиков, выявлено оптимальное содержание и технологические проблемы, связанные с изготовлением ультрадисперсно наполненных материалов.

#### Список литературы:

1. Кербер, М. Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. СПб.: Профессия 2009 556 с.
2. Бартенев Г. М. Прочность и механизм разрушения полимеров. М.: Химия. 1984. 280 с.
3. Соколенко, И.В. Перспективные наполнители для полимерных композитов. Международный научно-исследовательский журнал. 2014. №2-4. С.92–93.
4. Углеродные наноматериалы и композиты на их основе. Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. №4. С.1220–1228.

# СТАДИЙНЫЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ Fe/NiAl ЭЛЕКТРОДОВ ИЗ СВС СПЛАВА ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО РАСПЫЛЕНИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МИКРОГРАНУЛ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Санин<sup>1</sup> В.В. молодой ученый, Филонов<sup>1</sup> М.Р., Левашов<sup>1</sup> Е.А.,  
Икорников<sup>2</sup> Д.М., Юхвид<sup>2</sup> В.И., Сентюрина<sup>3</sup> Ж.А.*

*<sup>1-</sup> Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС», Москва, [sanin@misis.ru](mailto:sanin@misis.ru)*

*<sup>2-</sup> Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения  
РАН, Черноголовка*

*<sup>3-</sup> Открытое акционерное общество «Композит», Королев*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10030**

В настоящее время высоколегированные сплавы на основе Ni, Co или Fe, являются базовой основой при разработке многих материалов, эксплуатируемых в экстремальных (повышенных температурах и нагрузках) условиях. Известные технологии получения таких материалов зачастую не позволяют достичь требуемого набора свойств и кроме того - сложны, многостадийны, энергозатратны.

Одним из эффективных направлений в решении проблемы получения изделий из хрупких и труднообрабатываемых материалов, является гранульная металлургия. В России и за рубежом развиваются аддитивные технологии селективного лазерного (SLM) и электронно-лучевого сплавления (EBM), а также технологии прямого лазерного нанесения материала (DMLS).

Для реализации новейших технологий необходимы исходные материалы - порошки (микрогранулы) заданного химического и гранулометрического состава, к которым предъявляются высокие требования: сферичность частиц, отсутствие дефектов на поверхности, а также отсутствие ликвации по объему частиц. На сегодняшний день в России и за рубежом частично освоено производство сферических порошков из стандартных никелевых суперсплавов, ряда титановых сплавов, а также сплавов на основе железа и алюминия.

В данной работе предлагается метод получения композиционных микрогранул, состоящих из интерметаллидного сплава плюс материала (Me) оболочки кристаллизатора. Изделия, полученные из таких микрогранул будут сочетать в себе свойства интерметаллидных сплавов, сохраняя при этом пластичность. Предлагаемый метод получения показан на примере разливки интерметаллидного сплава в железную (Fe) трубу-кристаллизатор.

Технологический процесс получения композиционных микрогранул состоит из трех основных этапов: (1)- синтез (ЛШМ) интерметаллидного сплава на основе NiAl с регламентированным химическим составом методом

центробежной СВС-металлургии, (2)- одностадийная металлургическая обработка (индукционный переплав в вакууме или инертной среде) синтезированных СВС-материалов (ЛШМ) с последующей заливкой в специально подготовленную, стальную трубу-кристаллизатор. (3)- центробежное распыление (PREP), полученного электрода в стальной оболочке для получение сферических композиционных микрогранул.

Первоначально проведена серия экспериментов по оптимизации условий синтеза многокомпонентного интерметаллидного сплава. Анализ образцов в исследуемом интервале значений  $g$  (рис.1) показал, что слитки сплава, синтезированные при 50-150( $\pm 5g$ ), обладали массой, близкой к расчетной ( $\sim 98$  мас.%), а ее потеря (разброс) в процессе горения не превышала 1,5 мас.%. Все образцы, полученные при заданной перегрузке, имели литой вид, и наблюдалось четкое разделение на 2 слоя – целевой сплав и оксидный слой ( $Al_2O_3$ ). Видно, что на поперечном сколе слитка при условии синтеза более 50g остаточная пористость не обнаружена (рис. 2).

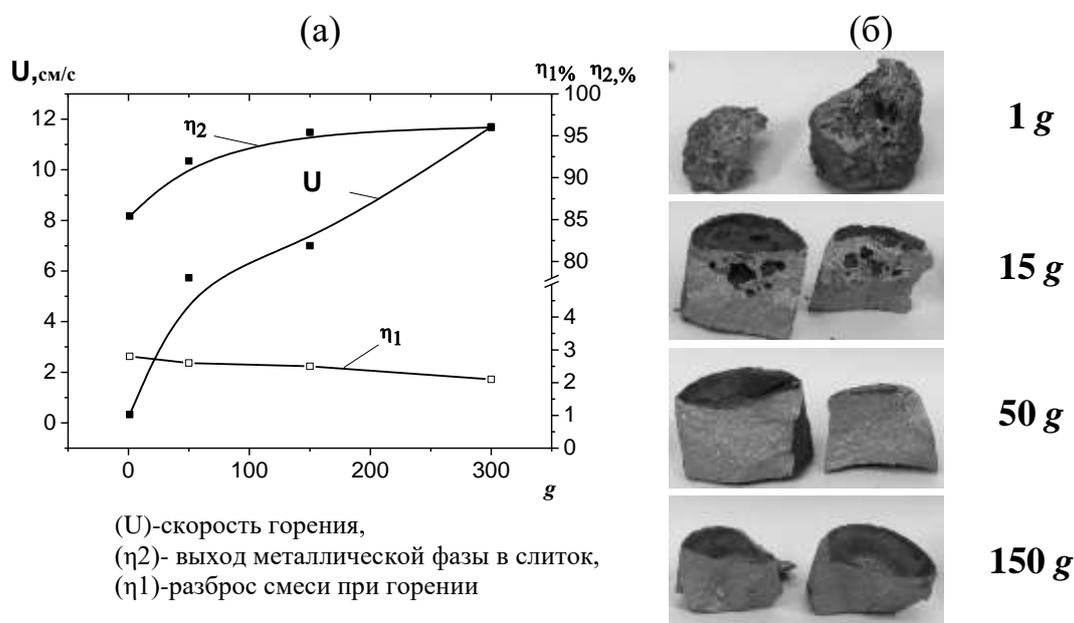


Рис. 1. (а) Влияние величины центробежного ускорения ( $g$ ) на синтез сплава на основе NiAl, и (б) внешний вид, полученных при различных перегрузках ( $g$ ).



Рис. 3. Экспериментальные образцы кристаллизаторов с различными толщинами стенок. (а)-3мм, (б)-5мм, (в)-6мм.

Следующим этапом был одностадийный ВИП полученных СВС-заготовок сплава и разливка сплава в трубу, с последующей кристаллизацией и сохранением данного сплава в этой цилиндрической форме. Предварительно проводились исследования по режимам переплава данных сплавов [1].

Была проведена серия плавов и разливка в различные диаметры труб (рис. 3). Оптимальным вариантом был выбран цилиндрический кристаллизатор с толщиной стенки 6 мм. На рис. 3в представлен полученный длинномерный образец. Выявлено, что при разливки химического взаимодействия сплава на основе NiAl с внутренней частью стенки трубы нет. Удержание сплава в трубе происходит только за счет КТР и механического взаимодействия с помощью предварительно нанесенных на внутреннюю часть трубы насечек. Далее были получены методом плазменной плавки и центробежного распыления быстровращающейся литой заготовки (PREP) и исследованы композиционные микрогранулы (рис.4).

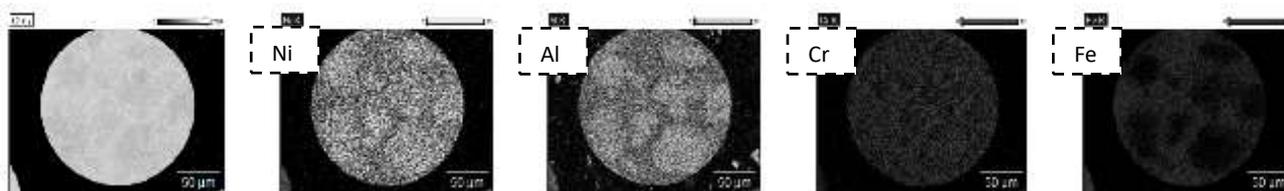


Рис. 4. Карта распределения элементов в полученных микрогранулах.

#### Список литературы:

1. V.V. Sanin, Yu. A. Anikin, V. I. Yuxhvid, and M. R. Filonov. Structural Heredity of Alloys Produced by Centrifugal SHS: Influence of Remelting Temperature. ISSN 1061-3862, International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis, 2015, Vol. 24, No. 4, pp. 210–214. DOI: 10.3103/S106138621504010X.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00932.*

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРОВАНИЯ LA НА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОКСИСЕЛЕНИДОВ BiCuSeO

*Панкратова Д.С. студентка, Новицкий А.П., Сергиенко И.А.,  
Воронин А.И., Бурков А.Т., Ховайло В.В.*

*НИТУ «МИСус», Москва*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10031**

Оксидные термоэлектрические материалы на основе BiCuSeO впервые были описаны в 2010 году. С каждым годом привлекают все большее внимание, так как имеют высокую химическую и термическую стабильность при высоких температурах. Кристаллическая структура BiCuSeO соответствует структурному типу ZrCuSiAs, и состоит из проводящих слоев  $(\text{Cu}_2\text{Se}_2)^{2-}$ , чередующихся с непроводящими слоями  $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{2+}$ , расположенными вдоль оси с тетрагональной ячейки. Соединение LaCuSeO кристаллизуется по тому же структурному типу, при этом ширина запрещенной зоны (2,8 эВ) значительно больше, чем у BiCuSeO (0,8 эВ). В данной работе исследовались тепловые и электрофизические свойства соединений промежуточных концентраций  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{CuSeO}$  ( $x = 0; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08$ ).

Методом двухступенчатого твердофазного синтеза, с последующим искровым плазменным спеканием были получены образцы химического состава  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{CuSeO}$  ( $x = 0; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08$ ). Измерения образцов проводились в двух направлениях: параллельно и перпендикулярно оси спекания. Первичные результаты показали, что при повышении концентрации лантана значение теплопроводности фактически не изменялось, в то время как удельное электросопротивление и значения коэффициента термоЭДС демонстрируют тенденцию к понижению.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРОВАНИЯ ВАНАДИЕМ НА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ ГЕЙСЛЕРА СОСТАВА $Fe_2Ti_{1-x}V_xSn$

*Таранова А.И. студентка, Новицкий А.П., Воронин А.И., Ховайло В.В.*

*НИТУ «МИСиС», Москва*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10032**

Основные исследования сплавов Гейслера на основе железа направлены на изучение их магнитных свойств, однако некоторые из этих сплавов являются узкозонными полупроводниками. Согласно теоретическим расчётам [1], легирование  $Fe_2TiSn$  ванадием может привести к росту термоЭДС и фактора мощности. С целью проверки предположения в данной работе были исследованы термоэлектрические свойства серии образцов состава  $Fe_2Ti_{1-x}V_xSn$  ( $x = 0; 0,06; 0,15; 0,2$ ).

В качестве метода синтеза была выбрана электродуговая плавка, процесс проводился в атмосфере аргона, гомогенизация состава происходила за счёт отжига в течение недели при температуре 800 °С в вакууме. Слитки были измельчены в механической ступке, после чего на установке искрового плазменного спекания были получены объёмные образцы в форме диска. Рентгенофазовый анализ подтвердил, что вся серия образцов является однофазной, примесные фазы отсутствуют. Однако при анализе элементного состава было выявлено наличие кислорода по границам зерен. С целью восстановления оксидов был проведён отжиг в атмосфере водорода при температуре 800 °С в течение 5 часов. Сравнение измерений электропроводности и коэффициента термоЭДС до отжига в водороде и после представлено на рисунке 1. По результатам измерений с увеличением концентрации ванадия электропроводность и коэффициент термоЭДС снижаются. Тип проводимости изменяется с р- на n-тип, что связано с привнесением электронов за счёт допирования ванададием.

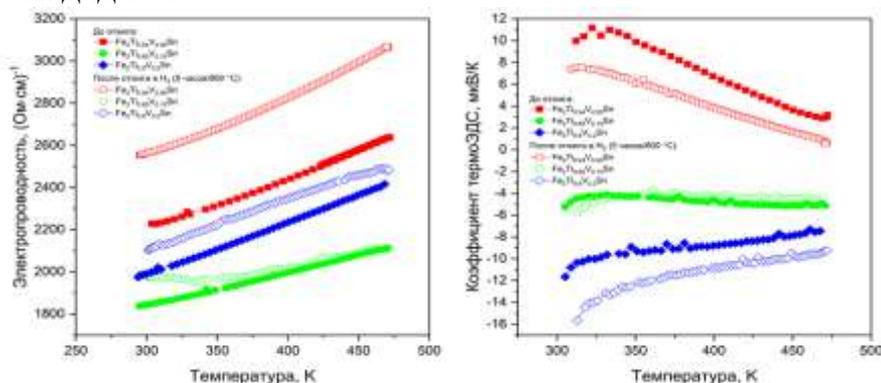


Рис.1. Сравнение температурных зависимости электропроводности и коэффициента термоЭДС до и после отжига в атмосфере водорода.

Список литературы:

1. S.Yabuuchi, et.al. //Applied Physics Express. – 2013. – V. 6. – №. 2. – P. 025504.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВА ГЕЙСЛЕРА СОСТАВА $Fe_{1,5}TiSb$

*Калугина А.В. студентка, Карпенков Д.Ю., Новицкий А.П., Воронин А.И.,  
Ховайло В.В.*

*НИТУ «МИСиС», Москва*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10033**

В качестве объекта исследования был выбран сплав Гейслера на основе интерметаллида системы Fe-Ti-Sb, который является перспективным кандидатом на роль среднетемпературного термоэлектрического материала.

Был синтезирован сплав состава  $Fe_{1,5}TiSb$  методом индукционной плавки, после чего производился отжиг с целью гомогенизации состава. Режим отжига был подобран в соответствии с литературными данными 800 °С в течение 72 часов с последующей закалкой. Результаты рентгенофазового и энергодисперсионного анализов подтвердили однофазность образца. После был произведен помол образца в агатовой ступке и спекание полученного порошка методом искрового плазменного спекания (ИПС). Спекание проводилось при 800 °С в течении 10 минут при давлении 50 МПа в атмосфере аргона. Для полученного объемного образца в форме диска, были проведены измерения температурной зависимости температуропроводности и расчет теплопроводности, результаты которых показали, что с ростом температуры теплопроводность уменьшается. Измерения электросопротивления и коэффициента Зеебека показали, что значения обеих величин слабо растут с ростом температуры. Был сделан вывод, что материал данного состава является полупроводником p-типа. Также был произведен расчёт термоэлектрической добротности в диапазоне температур от комнатной до 468 К. При 468 К значение показателя  $zT$  составляет 0,16, как показано на рисунке 1. Тенденция температурной зависимости  $zT$  демонстрирует увеличение показателя термоэлектрической добротности с ростом температуры.

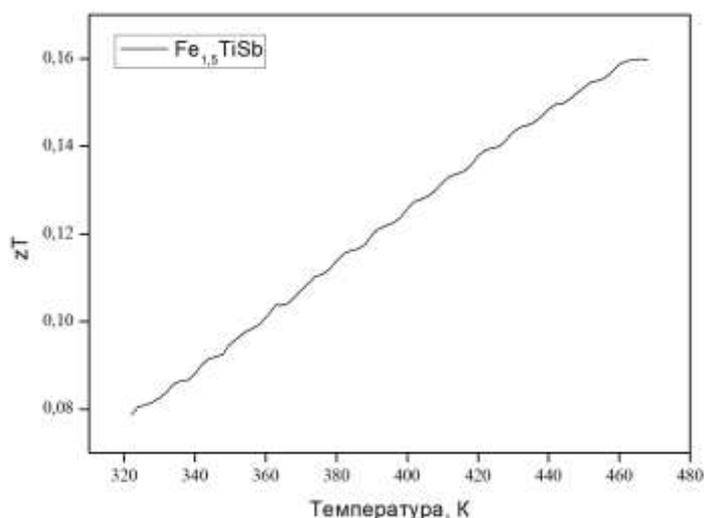


Рис.1. Коэффициент термоэлектрической добротности.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СИНТЕЗА СТЕРЖНЕВЫХ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА ДЛЯ БИМЕДИЦИНСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

*Храмцов М.А. студент, Никитин А.А., Абакумов М.А., Савченко А.Г.,  
Мажуга А.Г.*

*НИТУ «МИСиС», Москва*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10034**

Наночастицы магнетита являются одним из наиболее перспективных современных материалов для биомедицинского применения. Магнитные свойства оксида  $Fe_3O_4$  и возможность покрывать наночастицы различными биосовместимыми лигандами позволяют разрабатывать методики для как диагностики злокачественных опухолей на основе флуоресценции и магнитно-резонансной томографии, так и лечения онкологических заболеваний посредством магнитной гипертермии и адресной доставки лекарственных препаратов. Особый интерес представляют наночастицы магнетита, обладающие сильной анизотропией формы.

В рамках данного исследования была разработана методика двухстадийного синтеза стержневидных наночастиц магнетита, покрытых полиэтиленгликолем (PEI).

Методом гидролиза в присутствии PEI из хлорида железа (III) были получены стержневидные наночастицы акагенина  $\beta$ - $FeOOH$ . Были проведены синтезы с разветвлённым высокомолекулярным PEI ( $M_w = 25000$ ) и

низкомолекулярным PEI ( $M_w = 600$ ). Установлено, что, варьируя вид и концентрацию полиэтиленимина во время синтеза, можно влиять не только на толщину полимерного слоя на поверхности частиц, но и на размер получающихся стержней. Было проведено сравнение стабильности частиц и выполнен комплекс физико-химических методов анализа полученных наностержней.

Восстановление акагенита  $\beta$ -FeOОН до магнетита Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> проводилось в реакторе микроволнового синтеза в режиме циклического нагрева. В качестве восстановителя использовался гидрат гидразина. Была проведена оценка влияния количества циклов нагрева и объёма восстановителя на морфологию получаемых наночастиц.

Исследования показывают, что в результате восстановления получают частицы магнетита стержневидной формы с размером 40×2 нм. Измерения дзета-потенциала свидетельствуют о сохранении слоя полиэтиленимина на поверхности частиц. Были проведены *in vitro* и *in vivo* исследования наностержней. Измерения магнитных свойств показали наличие высокой коэрцитивной силы, что позволило судить о возможности применения стержневидных наночастиц магнетита для магнитной гипертермии, что было подтверждено экспериментально.

Таким образом, была разработана методика получения стабильных стержневидных наночастиц Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, покрытых полиэтиленимином.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-00-00442. Выражаю благодарность М.А. Абакумову, заведующему лаборатории «Биомедицинские наноматериалы» НИТУ «МИСиС», на базе которой была проведена представленная научная работа.*

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВС-ЭЛЕКТРОДОВ НА ОСНОВЕ TiC-W<sub>2</sub>C ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПЛУГОВ

*Титов<sup>1</sup> Н.В. молодой ученый, Столин<sup>2</sup> А.М., Бажин<sup>2</sup> П.М.*

*<sup>1-</sup> Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, Орел, [ogau@mail.ru](mailto:ogau@mail.ru)*

*<sup>2-</sup> Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, Черноголовка, [olimp@ism.ac.ru](mailto:olimp@ism.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10035**

Для повышения ресурса рабочих органов широко применяют различные виды наплавки износостойких материалов. Принципиально новым направлением в получении наплавочных электродов является использование для их изготовления метода СВС-экструзии. Метод позволяет получать электроды с требуемым набором физико-механических свойств из различных твердосплавных материалов. Важным преимуществом этих электродов перед промышленными аналогами является их низкая себестоимость. В данной работе исследована возможность использования твердосплавных электродов на основе TiC-W<sub>2</sub>C, полученных методом СВС-экструзии, для увеличения ресурса долот лемехов плугов за счет нанесения на их режущие поверхности защитных покрытий методом электродуговой наплавки в среде аргона. Методами сканирующей электронной микроскопии, рентгеноспектрального и рентгенофазового анализа исследована микроструктура и фазовый состав наплавленного покрытия.

Электродуговую наплавку проводили с использованием сварочной установки УДГ-251 в защитной атмосфере аргона неплавящимся вольфрамовым электродом. В качестве присадки использовались СВС-электроды на основе TiC, дисперсно-упрочненные частицами W<sub>2</sub>C, диаметром 5 мм. Сила тока при наплавке составляла 120...130 А.

По результатам проведенных исследований установлено, что в процессе нанесения покрытия происходит оплавление материала подложки с вольфрамовым электродом, который зажигает дугу, и перемешивание их в сварочной ванне с расплавленным СВС-электродным материалом. В результате образуются композиционные карбидные частицы, состоящие из зерен TiC с внедренным в кристаллическую решетку W<sub>2</sub>C.

Наплавленное покрытие содержит более 70...80% карбидной фазы. В поверхностном слое карбидные зерна находятся в виде вытянутых столбчатых дендритных зерен с максимальным размером до 100 мкм (рис. 1, а). Центральная часть покрытия состоит из сфероподобных карбидных зерен размерами 10...15 мкм (рис. 1, б). Микротвердость поверхности наплавленного покрытия составляет 940...950 НВ, а по мере приближения к подложке она уменьшается и достигает микротвердости самой подложки – 210 НВ.

Переходная зона между покрытием и подложкой – равномерная, без выраженной области раздела структурных составляющих, что указывает на взаимную диффузию наплавленного покрытия и материала подложки при наплавке.

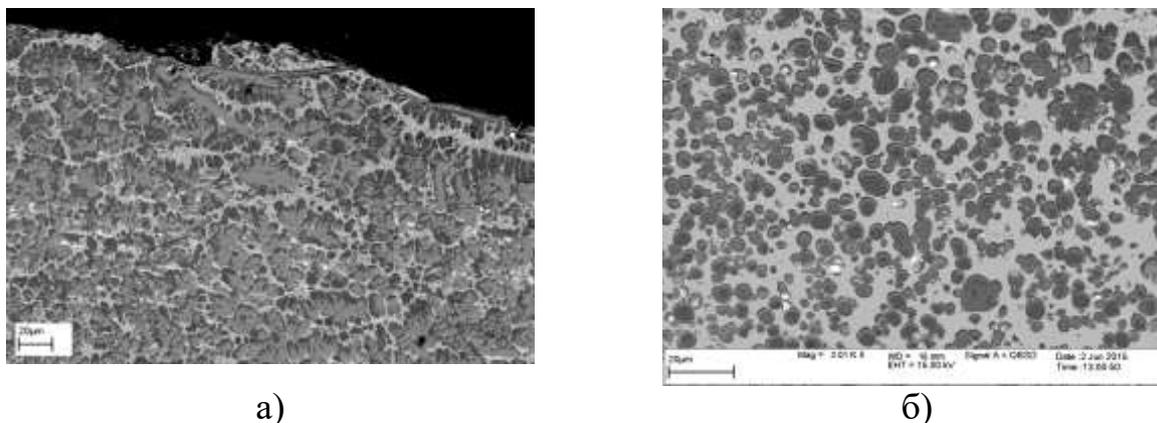
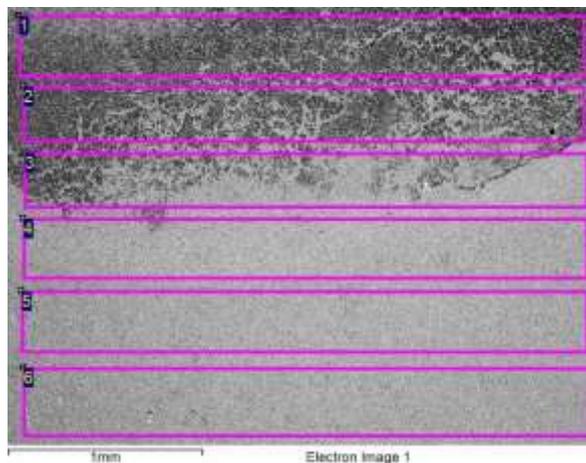


Рис. 1. Микроструктура поверхностного слоя наплавленного покрытия (а) и его центральной части (б).

Рентгеноспектральный анализ по площади сканирования показал, что железо из подложки проникает на всю глубину наплавленного покрытия (рис. 2). Размеры карбидных зерен в переходной зоне от покрытия к подложке уменьшаются до 5-7 мкм.



Spectrum	C	Al	Si	Ti	Mn	Fe	Co	W
1	12.9	0.6		31.5		35.6	15.4	4.0
2	12.4	0.7		26.0		40.9	16.5	3.6
3	7.8	0.8		11.1		71.1	7.7	1.5
4	3.6	0.5	0.6	0.5	1.5	93.4		
5	1.3	0.7	0.7		1.3	95.9		
6	2.1	0.7	0.6		1.6	95.0		

Рис. 2. Микроструктура и рентгеноспектральный анализ по выделенной площади переходной зоны между наплавленным покрытием и подложкой

Эксплуатационные испытания упрочненных электродуговой наплавкой СВС-электродами долот лемехов плугов фирмы KUHN позволили установить, что их износостойкость и ресурс после упрочнения увеличиваются в среднем в 2,5 раза. В результате можно существенно снизить закупки оригинальных дорогостоящих долот зарубежного производства. Таким образом, использование электродуговой наплавки СВС-электродами является эффективным и перспективным направлением повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин.

## **ВЛИЯНИЕ АЭРОЗОЛЬНОГО ФЛЮСОВАНИЯ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ НАПЫЛЕНИЕМ**

*Измалков А.А. аспирант, Коломейченко А.В., Логачев В.Н.*

*Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина,  
Орел, [izmalckow.aleks2012@yandex.ru](mailto:izmalckow.aleks2012@yandex.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10036**

Одним из наиболее распространенных и доступных способов восстановления является электродуговое напыление (ЭДН). Однако проволоки, обеспечивающие высокие физико-механические показатели напыляемых покрытий (50ХФА, 40Х13, ПП-ПН-100Х15, ПП-ТП-1) имеют высокую стоимость. Поэтому предлагается использовать сварочную проволоку Св-08Г2С (с микротвердостью получаемых покрытий 300 НВ) и легировать ее при ЭМ за счет компонентов флюса при аэрозольном флюсовании.

Сущность метода аэрозольного флюсования заключается в том, что в факел диспергированного расплавленного электрической дугой металла вводится вместе со сжатым воздухом аэрозоль, представляющая собой водный раствор химических неорганических материалов, которые при растворении в воде прошли этап электролитической диссоциации.

В качестве материала для проведения исследований микротвердости электрометаллизационных (ЭМ-покрытий) применяли сварочную проволоку Св-08Г2С, а для приготовления аэрозоли использовали дистиллированную воду и флюс, состоящий из  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ . Покрытия наносили на сталь 18ХГТ. Для компонентов были выбраны следующие рациональные границы их варьирования: кальцинированная сода  $\text{C}_{\text{Na}_2\text{CO}_3}=14\dots70$  г/л, тетратборат натрия (бура)  $\text{C}_{\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7}=4\dots20$  г/л, а для криолита приняли наиболее оптимальное значение его содержания в водном растворе  $\text{C}_{\text{Na}_3\text{AlF}_6}=6$  г/л.

Зависимость микротвердости от содержания  $\text{C}_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$  в водном растворе представлена на рис. 1.

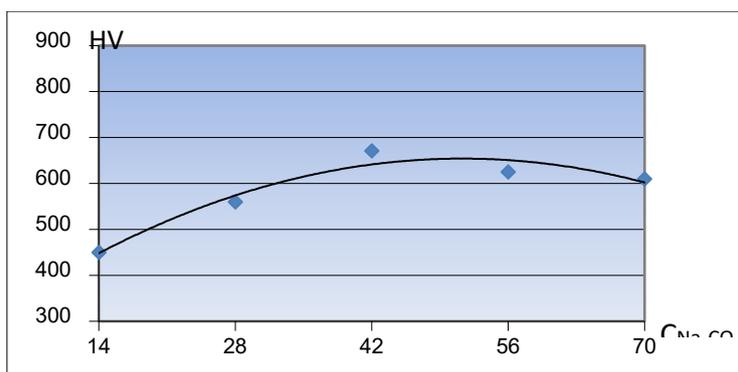


Рис. 1. Зависимость микротвердости ЭМ-покрытий, полученных с применением АФ, от содержания  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в водном растворе: ЭМ-покрытие Св-08Г2С + АФ ( $\text{C}_{\text{Na}_2\text{CO}_3}=14\dots70$  г/л,  $\text{C}_{\text{Na}_3\text{AlF}_6}=6$  г/л,  $\text{C}_{\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7}=16$  г/л).

Из данных графика (рис. 1) видно, что наибольшая твердость (671 HV) достигается при содержании  $\text{C}_{\text{Na}_2\text{CO}_3}=42$  г/л, поэтому при дальнейших испытаниях использовали именно это значение содержания  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Зависимость микротвердости от содержания  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  в водном растворе представлена на рис. 2.

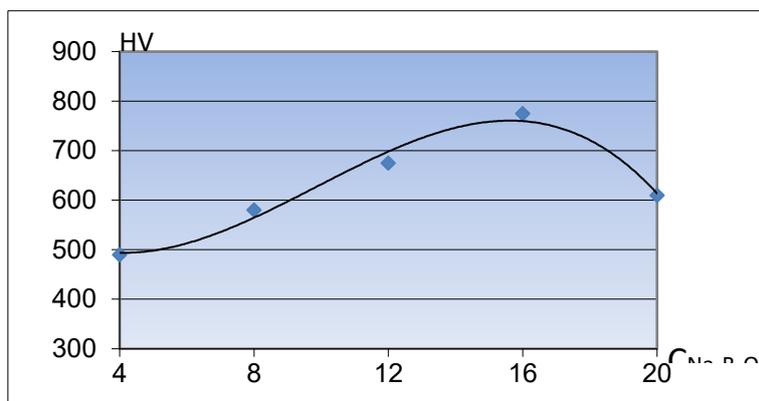


Рис. 2. Зависимость микротвердости ЭМ-покрытий, полученных с применением АФ, от содержания  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  в водном растворе: Св-082ГС + АФ ( $\text{C}_{\text{Na}_2\text{CO}_3}=42$  г/л,  $\text{C}_{\text{Na}_3\text{AlF}_6}=6$  г/л,  $\text{C}_{\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7}=4\dots20$  г/л).

Проанализировав зависимость твердости от содержания  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  в водном растворе, представленную на графике (рис. 2) можно сделать вывод, что наибольшее значение микротвердости (771 HV), получено на флюсе с содержанием  $\text{C}_{\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7}=16$  г/л, поэтому для выпыления покрытий наиболее рационально использовать флюс со следующими содержаниями компонентов:  $\text{C}_{\text{Na}_2\text{CO}_3}=42$  г/л,  $\text{C}_{\text{Na}_3\text{AlF}_6}=6$  г/л,  $\text{C}_{\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7}=16$  г/л.

Увеличение твердости за счет применения АФ объясняется тем, что легирующие компоненты, входящие в состав флюса, в результате термодиффузионных процессов образуют упрочняющие структуры за счет получения твердых растворов.

Таким образом, данные исследований микротвердости ЭМ-покрытий подтверждают, что, используя в качестве напыляемого материала сварочную проволоку Св-08Г2С при ЭДН и легируя ее за счет АФ, можно получить покрытия с высокой микротвердостью.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ АМОРФНОГО СПЛАВА МАРКИ 84КХСР

*Кузнецов И.С. молодой ученый*

*Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина,  
Орел, [ivan-654@yandex.ru](mailto:ivan-654@yandex.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10037**

Среди способов повышения износостойкости рабочих поверхностей деталей машин важное место занимают методы, позволяющие наносить упрочняющие покрытия. Одним из способов получения таких покрытий является электроискровая обработка (ЭИО). В результате ЭИО на рабочих поверхностях деталей образуется слой с измененной структурой и толщиной 10...150 мкм.

Твердость и износостойкость наносимых электроискровых покрытий (ЭИП) зависит от химического состава и структуры. Необходимая структура и химический состав, в свою очередь, обеспечиваются электродным материалом. В настоящее время существует много видов электродных материалов, получаемых различными способами. Перспективными материалами можно считать аморфные сплавы на основе кобальта. Данные сплавы получают в виде лент толщиной 50 мкм методом спиннигования расплава.

В данной работе исследуется ЭИП, нанесенное установкой марки UR-121 на следующих режимах:  $W_{и}=0,16$  Дж,  $I=17,5$  А,  $U=73$  В,  $f=100$  Гц,  $t_{уд}=4...6$  мин/см<sup>2</sup>. ЭИП наносилось на подложку из стали 65Г ГОСТ 14959 электродами из сплава марки 84КХСР. При нанесении ЭИП из лент аморфного сплава изготавливают сборный электрод. Подложка предварительно закаливалась токами высокой частоты, затем шлифовалась до достижения параметра шероховатости  $R_a \leq 0,32$  мкм. Структуру изучаемых покрытий исследовали путем снятия дифрактограмм дифрактометром фирмы UNISANTIS марки XMD-300 по рентгенооптической схеме Дебая – Шеррера. Размер пучка 0,2x6 мм. Съемку дифрактограмм осуществляли в медном монохроматизированном излучении (1,54 А) в интервале углов  $2\theta=20^{\circ}-100^{\circ}$ . Указанный участок спектра позволял наблюдать гало, характеризующее аморфное состояние исследуемого ЭИП.

Толщину экспериментальных покрытий измеряли на предварительно подготовленных поперечных шлифах. Измерения проводили на микроскопе МИМ-8 по 20 точкам, взятым на участке ЭИП длиной 5 мм. Базовой

поверхностью служила граница раздела покрытия и подложки. Микротвердость измеряли при нагрузке 50 г методом вдавливания алмазных наконечников по ГОСТ 9450 на компьютеризированном микротвердометре ПМТ-3М-01. Угол заострения алмазного наконечника  $136^\circ$ , действие нагрузки - не менее 5 с.

Износостойкость ЭИП из сплава 84КХСР исследовали на машине трения МТУ-01. Схема контакта: торцы вращающихся контробразцов и неподвижный образец.

В процессе кристаллизации аморфного сплава марки 84КХСР происходит выделение фаз  $\alpha - \text{Co}$ ,  $\beta - \text{Co}$ ,  $\text{CoSi}$ . При рассмотрении дифрактограммы (рис. 1) видно, что на ней отсутствуют отражения от кристаллических фаз. Это позволяет сделать вывод о рентгеноаморфности покрытия.

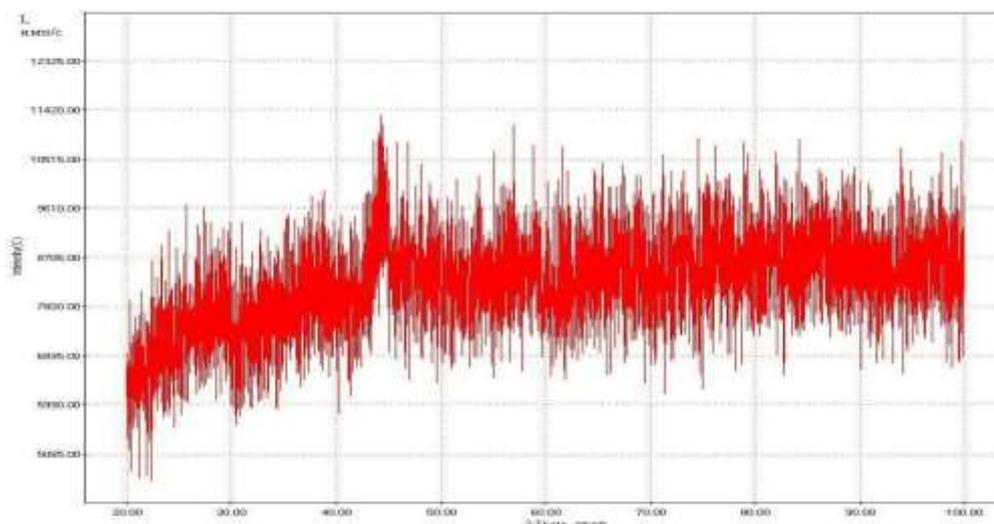


Рис. 1. Дифрактограмма ЭИП из сплава 84КХСР.

Химический состав сплава марки 84КХСР определяет наличие интенсивных химических связей, которые, в свою очередь, обеспечивают высокую микротвердость ЭИП (8005 МПа). ЭИО (режимом  $W_{и}=0,16$  Дж,  $I=17,5$  А,  $U=73$  В,  $f=100$  Гц,  $t_{уд}=4...6$  мин/см<sup>2</sup>) позволяет получать ЭИП толщиной 27...32 мкм.

Максимальная скорость изнашивания ЭИП из сплава марки 84КХСР наблюдается в период приработки, однако при наступлении периода установившегося трения скорость изнашивания заметно снижается и становится ниже скоростей изнашивания ЭИП, полученных электродами из других электродных материалов. Высокая скорость изнашивания ЭИП в период приработки обусловлена, прежде всего, большими растягивающими напряжениями в поверхностном дефектном слое, который характерен для всех ЭИП. Триботехнические показатели рассматриваемых покрытий представлена в табл. 1. При расчете относительной износостойкости в качестве эталона принимали ЭИП из стали 65Г.

Табл. 1. Триботехнические показатели ЭИП из сплава марки 84КХСР.

Средняя скорость изнашивания $W$ , г/с	Износостойкость образца $U$ , с/г	Относительная износостойкость $K_{отн.}$	Момент трения $M$ , Н·м
$5,6 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^7$	1,64	0,012

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОГО СВМПЭ

Лутовинова Т.А. студент, Завражин Д.О.

Тамбовский государственный технический университет,  
[tanyalutovinova8991@yandex.ru](mailto:tanyalutovinova8991@yandex.ru)

DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10038

В настоящее время уровень потребления СВМПЭ отечественной промышленностью составляет около 7000 тыс. тонн/год. По сырью (порошки СВМПЭ различных марок) и по изделиям (лист, стержень, волокно, ткани) практически весь указанный объем продукции является импортным. Количество перерабатываемого в изделия порошка СВМПЭ отечественными производителями составляет 15-20% от уровня потребления. Это приводит к сильной зависимости многих российских предприятий от зарубежных поставщиков, прежде всего США и Германии. Поэтому развитие собственных производств по переработке СВМПЭ представляется на сегодняшний день актуальной задачей.

В настоящей работе представляло интерес исследовать физико-механические свойства полимерной системы СВМПЭ + глауконит, полученной компрессионным формованием по технологии, разработанной в НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии».

Физико-механические свойства нанокompозитов СВМПЭ + глауконит исследовали на испытательной машине УТС-101-5 (одноосное растяжение, срез) и твердомере ИТ-5069 (твердость по Шору, D).

При оценке твердости исследуемых композитов по Шору D следует отметить, что внесение малого (до 2 масс.част.) количества модификатора позволяет повысить твердость композита на 8-10%, при этом наблюдается высокая стабильность результатов. Концентрационные зависимости полностью коррелируют с характеристиками физико-механических свойств в области малых добавок нанонаполнителей.

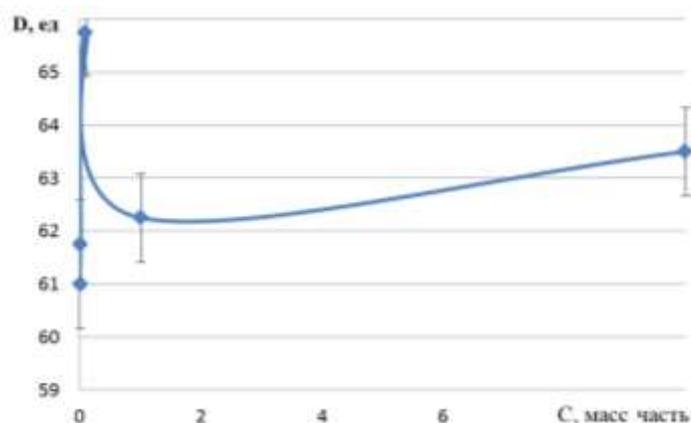


Рис.1. Диаграмма изменения твердости по Шору D образцов системы СВМПЭ + глауконит от содержания модификатора.

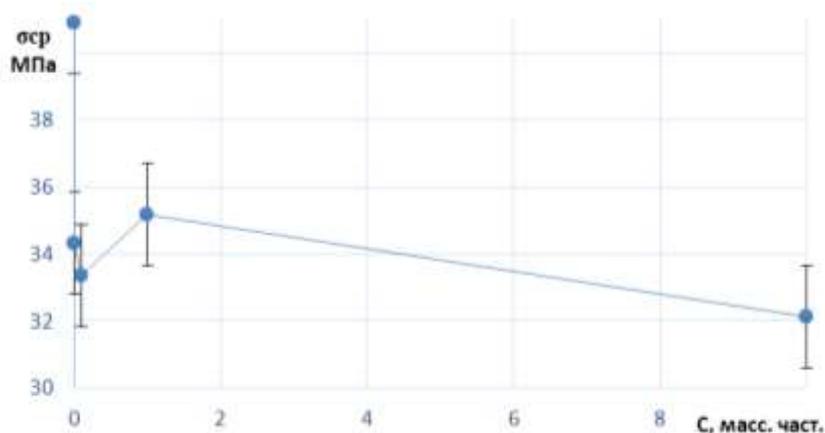


Рис. 2. Диаграмма изменения прочностных характеристик в условиях срезающих напряжений образцов полимерной системы СВМПЭ + глауконит от содержания модификатора.

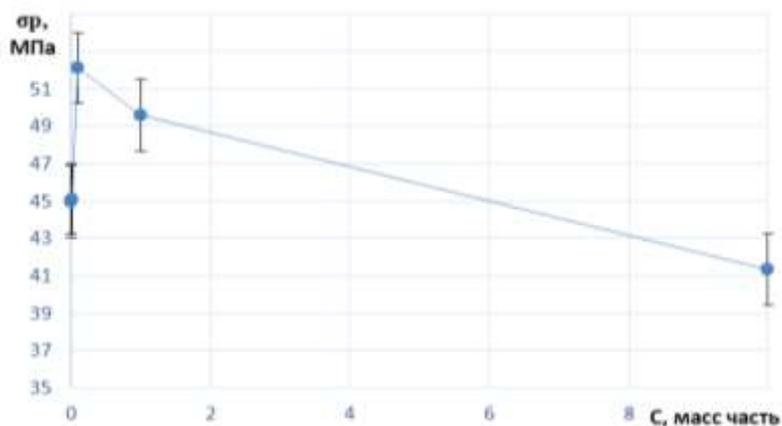


Рис. 3. Диаграмма изменения прочностных характеристик в условиях одноосного растяжения образцов полимерной системы СВМПЭ + глауконит от содержания модификатора.

#### Список литературы:

1. Баронин, Г.С. Сравнительные молекулярно-релаксационные и структурно-механические характеристики композитов на основе СВМПЭ / Г.С. Баронин и др. // Химическая технология. 2009. Т. 10. №1. С. 16-21.
2. Шапкин, К.В. Твердофазная обработка давлением полимерных композитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена / К.В. Шапкин и др. // Перспективные материалы. 2011. №11. С. 455-461.
3. Баронин, Г.С. Оценка диффузионных, релаксационных свойств и структуры СВМПЭ-композитов, полученных твердофазной экструзией / Г.С. Баронин и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2009. Т. 15. №4. С. 795-805.

*Работа выполнена в рамках базовой части госзадания Минобрнауки РФ (проект 9.7746.2017/8.9).*

## **ЛЕГИРОВАНИЕ КРЕМНИЯ ДОНОРНЫМИ ПРИМЕСЯМИ КАК СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ДЛИНОЙ ВОЛНЫ ДИСЛОКАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Терещенко А.Н. молодой ученый**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки *Институт физики твердого тела РАН, Черногловка, [tan@issp.ac.ru](mailto:tan@issp.ac.ru)***

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10039**

Использование кремния в качестве излучателя в ближней инфракрасной области спектра является одной из нерешенных проблем современной оптоэлектроники. Отчасти это связано с непрямой запрещенной зоной и, соответственно, малым квантовым выходом люминесценции в кремнии. Одним из эффективных решений этой проблемы является использование излучательной рекомбинации на глубоких энергетических состояниях, связанных с такими структурными дефектами в кремнии, как дислокации. Как известно, электрические свойства кремния в значительной степени определяются содержащимися в нем донорными или акцепторными примесями. При этом дислокации, являясь многоуровневыми центрами, могут существенно менять свое состояние в зависимости от заряда, захваченного на дислокацию, что оказывает определенное влияние и на центры дислокационного излучения.

Данная работа посвящена исследованию особенностей дислокационной люминесценции (ДЛ) в кремнии, содержащем различные концентрации донорных (P, As, Sb, Bi) примесей. Показано, что при повышении температуры образца происходит аномальный сдвиг длинноволновой части ДЛ в

высокоэнергетическую сторону при уровне легирования донорами  $\geq 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Показано также, что величина наблюдаемого сдвига увеличивается с ростом концентрации примеси (рис.1). Обнаружена корреляция начала сдвига с энергией ионизации донора (рис.2). Как видно из последнего рисунка, коротковолновый сдвиг полосы D1 ДЛ раньше всего (уже при 20К) начинается в образцах, легированных сурьмой (энергия ионизации – 39 мэВ), и только при 60К начинается в образцах с висмутом (энергия ионизации - 69 мэВ). Во всех образцах сдвиг полосы D1 достигает максимума при некоторой определенной температуре, которая, как видно из рисунка, также определяется энергией ионизации донорной примеси и увеличивается с ростом последней.

Стоит отметить, что практическое значение полученных в данной работе результатов определяется тем, что они будут востребованы при разработке светоизлучающих устройств на базе кремния для целей оптоэлектроники, в том числе светодиодов и лазеров в ближнем ИК диапазоне, оптимальном для телекоммуникаций, так как позволят управлять длиной волны кремниевых излучателей.

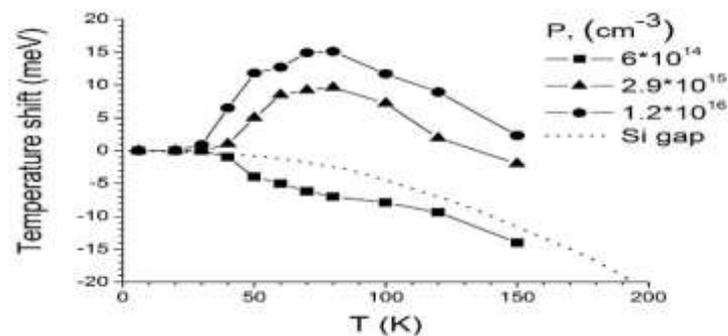


Рис.1. Температурная зависимость величины сдвига полосы D1 ДЛ для образцов с различным уровнем легирования фосфором (указано на рис.). Пунктирная кривая соответствует температурному изменению ширины запрещенной зоны кремния. За нулевую позицию взято положение линий при низкой температуре.

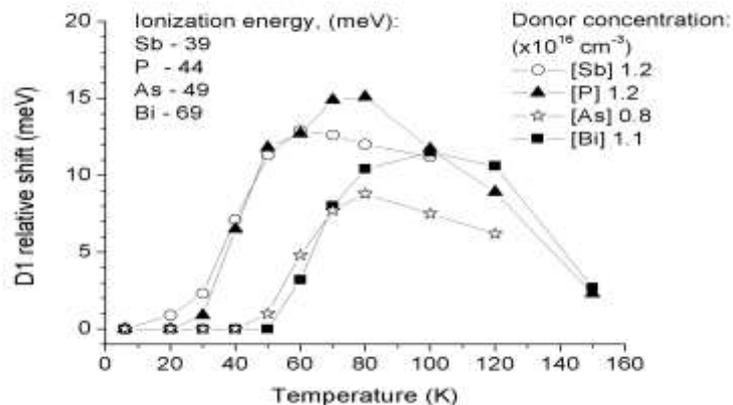


Рис.2. Сравнение температурного сдвига максимума линии D1 в образцах с близким уровнем легирования различными донорными примесями. На рисунке также указана энергия ионизации данных примесей.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИФТТ РАН.*

# ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ В МОНОКРИСТАЛЛЕ ПОЛУПРОВОДНИКА

*Лоскутова А.Д. студентка, Королева И.Л., Макаручук А.П.*

*Тамбовский государственный технический университет,  
[korolevanpal@yandex.ru](mailto:korolevanpal@yandex.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10040**

Удельная электропроводность монокристаллического полупроводника определяется главным образом концентрацией свободных носителей заряда. Для выбранного кремния с электронной проводимостью соответствующим параметром является концентрация электронов в зоне проводимости. Величина концентрации зависит от эффективной плотности состояний в зоне проводимости и распределения электронов по разрешенным уровням.

На рис. 1 показаны: зависимость плотности состояний от энергии  $N_c(E)$ , функция Ферми распределения электронов  $f(E,T)$  и произведение этих функций  $\frac{dn}{dE}$ . Полное количество электронов в зоне [1] проводимости равно площади фигуры, ограниченной кривой  $N_c(E)f(E,T)$ .

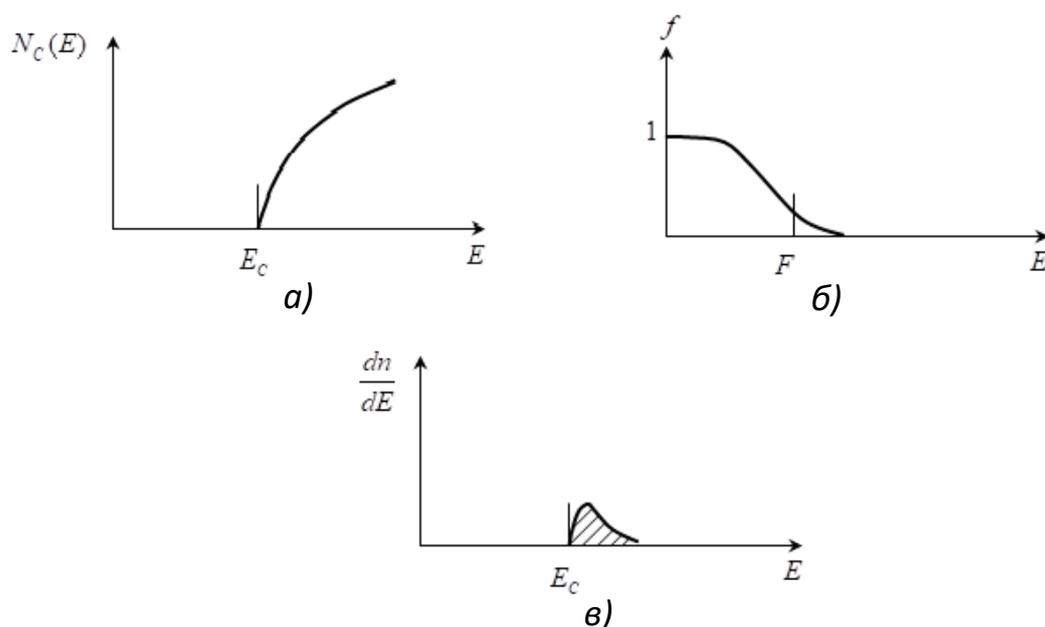


Рис. 1. Функции  $N_c(E)$  (а),  $f(E,T)$  (б) и  $\frac{dn}{dE}$  (в) для невырожденного полупроводника  $n$ -типа

Таким образом, концентрация электронов в зоне проводимости представляет собой интеграл

$$n = \int_{E_c}^{\infty} N_c(E) f(E, T) dE.$$

Этот интеграл аппроксимируется распределением Максвелла – Больцмана и его решение

$$n = N_c \exp \frac{F - E_c}{kT}, \quad (2)$$

где  $E_c$  – дно зоны проводимости,  $F$  – уровень Ферми.

В присутствии электрического поля эти электроны пространственно располагаются в потенциальной яме [1-4], образованной благодаря изгибу энергетических уровней.

Список литературы:

1. Брусенцов Ю.А. Исследование электрофизических процессов в полевых полупроводниковых структурах для измерения теплофизических характеристик / Ю.А. Брусенцов, А.П. Королев, А.В. Озаренко // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2006. – Т.12, №1. – С. 122-128.
2. Королев А.П. Эффективный подход в описании наноразмерных процессов в полевой структуре на монокристаллическом кремнии / А.П. Королев, М.В. Макарчук // Тезисы докладов 2-ой Международной конференции с элементами научной школы «Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах», 2015. – С. 132-133.
3. Королев А.П. Электрофизические свойства пористого кремния / А.П. Королев, М.В. Макарчук // Тезисы докладов 2-ой Международной конференции с элементами научной школы «Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах», 2015. – С. 333-336.
4. Королев А.П. Porous silicon is for environmental monitoring / А.П. Королев, М.В. Макарчук, Н.Б. Бадилова // В.И. Вернадский: устойчивое развитие регионов Материалы Международной научно-практической конференции, 2016. – 159-163 с.

# ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ГЕОМЕТРИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗОН МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

*Лоскутова А.Д. студентка, Королева И.Л., Макаrchук А.П.*

*Тамбовский государственный технический университет,  
[korolevanpal@yandex.ru](mailto:korolevanpal@yandex.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10041**

Как известно температура непосредственно связана со многими электрофизическими параметрами и явлениями, происходящими в полупроводниках. С изменением температуры меняются электрофизические параметры монокристаллических полупроводников. К таким изменениям приводят изменения в расположении энергетических уровней в кристалле, причем при наличии внешнего электрического поля уровни еще и искривляются [1]. Одновременное воздействие температуры и электрического поля [2, 3] вызывает различные изменения состояния «плоских зон».

Зависимость энергетических уровней от температуры в отсутствие электрического поля схематично показана на рис. 1.

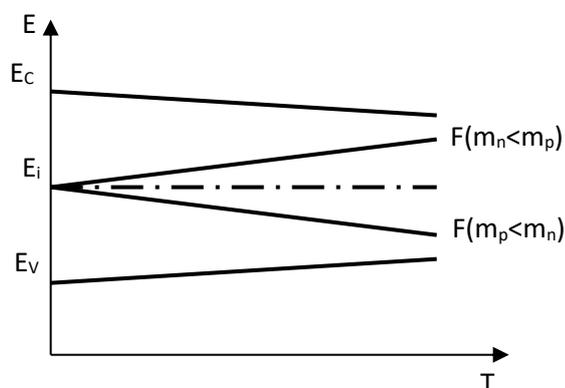


Рис. 1. Зависимость положения уровня Ферми и ширины запрещенной зоны от температуры.

Уровень Ферми для электронов с эффективной массой меньшей, чем у дырок с ростом температуры приближается к зоне проводимости, в случае более легких дырок уровень Ферми с ростом температуры приближается к валентной зоне [4]. При температуре 0 Кельвин уровень Ферми располагается точно в середине запрещенной зоны. Кроме того, сама запрещенная зона сужается с ростом температуры, что необходимо учитывать при проектировании полупроводниковых термочувствительных элементов. Так же необходимо учитывать разницу в эффективных массах электронов и дырок (при одинаковых массах уровень Ферми находится в середине запрещенной зоны).

#### Список литературы:

1. Брусенцов Ю.А. Исследование электрофизических процессов в полевых полупроводниковых структурах для измерения теплофизических характеристик / Ю.А. Брусенцов, А.П. Королев, А.В. Озаренко // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2006. – Т.12, №1. – С. 122-128.
2. Королев А.П. Эффективный подход в описании наноразмерных процессов в полевой структуре на монокристаллическом кремнии / А.П. Королев, М.В. Макаrchук // Тезисы докладов 2-ой Международной конференции с элементами научной школы «Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах», 2015. – С. 132-133.
3. Королев А.П. Электрофизические свойства пористого кремния / А.П. Королев, М.В. Макаrchук // Тезисы докладов 2-ой Международной конференции с элементами научной школы «Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах», 2015. – С. 333-336.
4. Королев А.П. Porous silicon is for environmental monitoring / А.П. Королев, М.В. Макаrchук, Н.Б. Бадирова // В.И. Вернадский: устойчивое развитие регионов Материалы Международной научно-практической конференции, 2016. – 159-163 с.

## **ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ОТЖИГА НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ**

***Буренина А.И. студент, Толстов Н.А. студент, Королев А.П., Макаrchук М.В.***

***Технологический институт ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов***

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10042**

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

Одним из видов высокотемпературной обработки сталей является полный перекристаллизационный отжиг, который заключается в нагреве выше температуры фазовых превращений, выдержке и медленном охлаждении вместе с печью. Такой нагрев может привести к обезуглероживанию поверхностного слоя стали. Углерод в структуре содержится в виде растворенных атомов в кристаллической решетке и в химическом соединении Fe<sub>3</sub>C – карбиде железа.

Удаление атомов углерода из твердого раствора – процесс более энергозатратный, поэтому в первую очередь выгорает углерод карбида  $Fe_3C$  после предварительной диссоциации. Простое испарение углерода в большом количестве с поверхности стали возможно только в вакууме.

Скорость, с которой углерод покидает структуру приповерхностного слоя стали, определяется скоростью протекания химических реакций и скоростью диффузии внутри кристаллической решетки сплава. В свою очередь скорость диффузии зависит от строения решетки, наличия и типа точечных и линейных дефектов, и, конечно, температуры. Если в структуре стали среди точечных дефектов будут преобладать вакансии над атомами внедрения, то скорость диффузии будет выше, чем в противном случае. Таким образом, в сплавах одного и того же состава скорость диффузии атомов может быть различной и, следовательно, углерод будет выгорать с разной скоростью.

Для выявления динамики обезуглероживания стали при циклическом воздействии температуры образец сплава подвергался шестикратному отжигу. Каждый отжиг проводился по следующей схеме: полуторочасовой нагрев до температуры  $770\text{ }^{\circ}C$ , выдержка 2 часа при достигнутой температуре и охлаждение медленное вместе с печью. После каждого отжига измерялась твердость, и проводился микроанализ структуры образца.

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

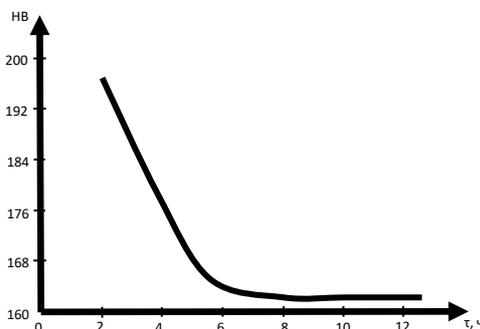


Рис. 1. Зависимость твердости стального образца от времени отжига.

Можно сделать вывод, что произошло обезуглероживание в результате длительного воздействия на сплав высокой температуры. Факт, что после четвертого и последующих отжигов твердость не уменьшалась говорит о том, что прекратилось обезуглероживание в связи с малым содержанием оставшегося углерода.

# ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ СТАЛИ

*Буренина А.И. студент, Толстов Н.А. студент, Королев А.П.,  
Макарчук М.В.*

*Технологический институт ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10043**

В зависимости от температуры и длительности нагрева могут значительно меняться свойства стали, и, следовательно, качество изготовленных из них изделий. Проанализировав теоретический опыт изучения влияния нагрева, и исследовав на практике динамику структурных изменений в стали при нагреве, можно определить методы борьбы с нежелательными последствиями, вызванными воздействием температуры и уменьшить энергозатратность технологических процессов.

Эксперимент проводился с углеродистой сталью, в которой примерно 1,2 % углерода. Сталь подверглась полной закалке с последующим низким отпуском и приобрела неравновесную мартенситную структуру

Для выявления динамики обезуглероживания стали при циклическом воздействии температуры образец сплава подвергался шестикратному отжигу. Каждый отжиг проводился по следующей схеме: полуторочасовой нагрев до температуры 770 °С, выдержка 2 часа при достигнутой температуре и охлаждение медленное вместе с печью. После каждого отжига измерялась твердость, и проводился микроанализ структуры образца.

При температуре 770 °С произошел полный перекристаллизационный отжиг. Микроструктура этого образца сфотографирована с помощью оптического микроскопа при увеличении 650<sup>x</sup> (рис. 1).



Рис. 1. Микроструктура исследуемого образца стали после первого перекристаллизационного отжига при температуре 770 °С. Увеличение 650<sup>x</sup>.

После первого полного перекристаллизационного отжига структура, как и полагается, стала более пластичной с меньшей твердостью, со структурными составляющими перлит и цементит.

При последующих операциях отжига принципиальных изменений в структуре не происходит (фазовый состав не меняется). При циклических воздействиях температуры измельчается зерно, что не приводит к уменьшению твердости. Тем не менее, твердость уменьшается. Как известно, в одинаковых структурах твердость будет меньше в той, в которой меньше углерода. Значит уменьшение твердости сплава при последующих отжигах связано с уменьшением содержания углерода.

Выдвинута и подтверждена теория, что после каждой термической обработки происходит измельчение зерна (зерно растет при увеличении температуры термообработки). При последующих четырех отжигах твердость не менялась. Микроструктура сплава после последнего шестого отжига представлена на рисунке 2.

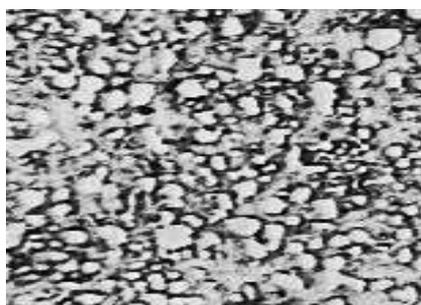


Рис. 2. Микроструктура исследуемого образца стали после шестого отжига при температуре 770 °С. Увеличение 650<sup>x</sup>.

Если сравнить снимки на рисунках 1 и 2, то хорошо видно, что в структуре на последнем рисунке гораздо меньше темных перлитных зерен. Следовательно, в последней структуре углерода значительно меньше. Следует не забывать, что это микроструктура поверхностного слоя сплава, а не всего объема. Таким образом, подтверждается теория обезуглероживания поверхностного слоя сплава.

## **ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ СПЕКАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ПОРОШКОВ**

*Королева И.Л. студентка, Лоскутова А.Д.*

*Тамбовский государственный технический университет,  
[korolevanpal@yandex.ru](mailto:korolevanpal@yandex.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10044**

Наиболее используемый в электронике карбид – это зеленый карбид кремния, поскольку он обладает ценными полупроводниковыми свойствами, а его высокая теплопроводность, высокое электрическое поле пробоя и высокая

плотность электрического тока делают его перспективным материалом для высокомошных устройств [1]. Кроме того, карбид кремния имеет очень низкий коэффициент теплового расширения и не испытывает фазовые переходы, из-за которых может произойти разрушение монокристаллов [2]. При этом зеленый карбид кремния имеет существенный недостаток – сложность получения. Изготовление зеленого карбида кремния очень трудоемкий процесс, требующий особых технических возможностей.

Кроме зеленого, получают черный карбид кремния, цвет которого связан с примесями железа. Его изготовление значительно проще, поэтому черный карбид кремния дешевле зеленого. Кроме того, черный карбид кремния менее тверд, но более прочен, чем зеленый. Его применяют в качестве абразива для обработки хрупких или мягких материалов. Электрофизические свойства черного карбида кремния уступают свойствам зеленого, но все же остаются на высоком уровне. На это стоит обратить особое внимание, т.е. черный карбид кремния является перспективным материалом так же и в области электроники.

Черный карбид кремния, в силу своих физических свойств, практически не прессуется. Наиболее логичным решением является изготовление композитного материала из черного карбида кремния и мягкого металла в качестве связующего вещества. Вторым компонентом выбрано железо, так как оно уже есть в составе черного карбида кремния.

Порошок железа плохо перемешивается с порошком карбида. Поэтому в пресс-форму порошки засыпали послойно с чередованием. Под давлением частицы железа деформируются и обволакивают частицы карбида кремния, устанавливая при этом молекулярные связи между компонентами [3](рис. 1).

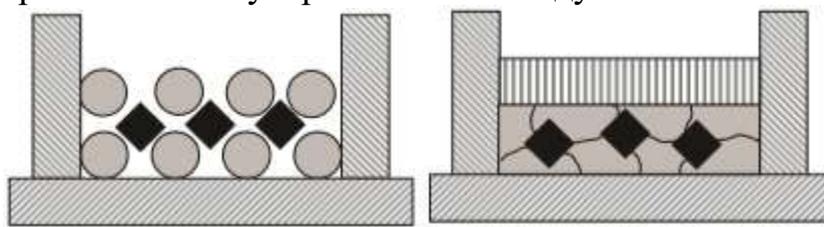


Рис.1 Композитный порошок железа и карбида кремния до (а) и после (б) прессования.

Полученные методом прессования образцы спекли в муфельной печи при температуре 1100 °С. Температура спекания ориентирована на материал с наименьшей температурой плавления, в данном случае железо, и составляет  $\approx 0,7t_{пл}$ . После спекания образцы остывали на воздухе до комнатной температуры. Далее проводились исследования зависимости удельного сопротивления полученного материала от температуры [4]. Для чистоты эксперимента было изготовлено и исследовано тем же методом 10 образцов.

Все полученные зависимости имели аналогичный вид незначительные погрешности. Усредненный график зависимости удельного сопротивления от температуры представлен на рис. 2.

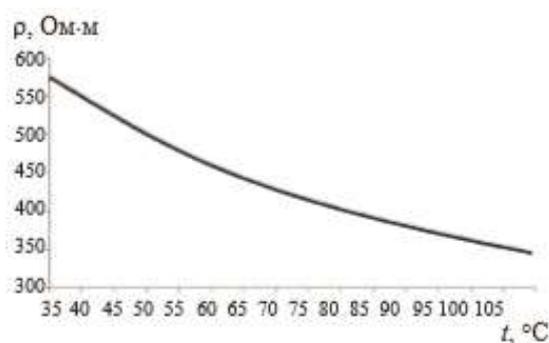


Рис. 2 Температурная зависимость удельного сопротивления композитного сплава железо – карбид кремния.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что предложенная технология получения композитного сплава железо – карбид кремния полностью обоснована и не искажает электрофизических свойств готового материала.

#### Список литературы:

1. Королев А.П. Porous silicon is for environmental monitoring / А.П. Королев, М.В. Макаручук, Н.Б. Бадирова // В.И. Вернадский: устойчивое развитие регионов Материалы Международной научно-практической конференции, 2016. – 159-163 с.
2. Курбанов М.К., Билалов Б.А., Сафаралиев Т.К. Электропроводность полупроводниковых твердых растворов  $(\text{SiC})_x(\text{AlN})_x$  // Вестник ДГУ. В. Естественные науки. Махачкала. 2000.-С. 18-23.
3. Королев, А.П. Исследование электрофизических свойств композита железо – карбид вольфрама / А.П. Королев, А.Д. Лоскутова // Вестн. Тамб. гос. тех. ун-т. – 2017. – Т 23, №3 – С. 535 – 540.
4. Макаручук, М.В. Температурная зависимость электрофизических свойств образцов из монокристаллического и пористого кремния / М.В, Макаручук// Сборник материалов IV международной конференции «Многомасштабное моделирование структур, строение вещества, наноматериалы и нанотехнологии», Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого – 2017, - С. 79-80.

# ЛАЗЕРНОЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ БЕЛКОВ, ДНК И ДРУГИХ БИОМАТЕРИАЛОВ

Варпетян<sup>1</sup> А.М. школьница, Классен<sup>2</sup> Н.В.

<sup>1</sup>- *Средняя школа № 1, Ногинск*

<sup>2</sup>- *Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, [klassen@issp.ac.ru](mailto:klassen@issp.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10045**

Исследования лазерных и электрических воздействий на белки, ДНК и другие биоматериалы актуальны как с биомедицинской точки зрения, так и для использования природоподобных процессов для создания новых технологий и устройств наиболее экологичными и экономичными способами. На предыдущей конференции (2017 г.) мы докладывали об индуцировании ориентационного упорядочения и коагуляции белков в водных суспензиях при лазерном облучении. В данной работе эти исследования расширены за счет влияния электрических воздействий и изучения не только коагуляции, но и обратного процесса – диспергирования агломератов биоматериалов. Если процесс коагуляции важен для восстановления разрушенных костных и мягких тканей, то коррекция функций организма путем диспергирования вредных агломератов не менее важна, т.к. такого рода коагуляции ответственны за развитие катаракты глазных хрусталиков, образование холестериновых бляшек в сосудах, отложения солей и т.д. В основе лазерных воздействий – процессы ионизации и связанных с ними разрывов межатомных и межмолекулярных связей и изменений электропроводности биожидкостей, которые составляют не менее 70% массы и объема организма. Изменения содержания свободных зарядов изменяет, в свою очередь, характер взаимодействия молекул воды как основы всех биожидкостей с содержащимися в ней ионами, молекулами и наночастицами. Насколько это важно для организма, понятно на примере развития катаракты, сопровождаемой сильным изменением процента свободных и связанных молекул воды, что приводит к появлению оптических неоднородностей и ухудшению прозрачности глазного хрусталика. В нашей работе представлены новые факты по изменению состояний ДНК, белков и других компонентов биожидкостей организма под действием разных сочетаний лазерного излучения, переменного и постоянного электрического поля. Помимо того, что электрическое поле влияет на внутреннее распределение электрических зарядов, переменные поля способны сильно изменить соотношение между свободными и связанными молекулами воды при совпадении их частот с внутренними резонансными частотами гидратированных нанокомпонентов биожидкостей. В наших экспериментах демонстрируются возможности дистанционной коррекции состояния сосудов для улучшения кровообращения, неинвазивного устранения катаракты и других функциональных нарушений с помощью лазерных и электрических воздействий.

# ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

Салганская<sup>1</sup> Я.Е. школьница, Классен<sup>2</sup> Н.В.

<sup>1</sup> Школа № 82, Черноголовка, [salganskayana@gmail.com](mailto:salganskayana@gmail.com)

<sup>2</sup> Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, [klassen@issp.ac.ru](mailto:klassen@issp.ac.ru)

DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10046

Древесина является сложным композитом: целлюлоза и лигнин формируют стенки микрокапилляров, по которым транспортируются питательные вещества, а внутрикапиллярные полости либо пусты, либо же заполнены водными растворами. Целлюлозные фибриллы в видимой части спектра прозрачны и поэтому являются основным компонентом для производства бумаги, трехмерный полимер лигнин сильно поглощает коротковолновый свет (фиолетовый и синий), прозрачность внутрикапиллярных полостей определяется их наполнителями. На предыдущей конференции мы докладывали, как разница в прозрачности целлюлозы и лигнина позволяет заменить экологически вредный процесс отделения целлюлозы от лигнина путем сульфатной варки древесины безопасным облучением древесной пульпы светом, когда лигнин под его воздействием растворяется, оставляя чистые целлюлозные волокна. Продолжение этих экспериментов существенно улучшает экономичность оптической очистки целлюлозы за счет использования световодных свойств целлюлозных волокон. Проникая внутрь древесины по целлюлозным фибриллам, свет разрушает в первую очередь контактирующие с ними молекулы лигнина. Принципиально важно вхождение растворяющего лигнин света по целлюлозным фибриллам тем, что в этом случае возможно, отделив лигнин от целлюлозы, сохранить спиральную морфологию микрокапиллярной стенки. В результате возникает многокомпонентная матрица из оптически прозрачных спиралей, составленных из пьезоэлектрических волокон целлюлозы. За счет пьезоэлектричества приложение электрического поля к этой матрице обратимо изменяет ее форму и размеры, создавая обширные возможности для электрической модуляции световых потоков. Это актуально и для повышения эффективности устройств оптоволоконной связи, и для будущих оптических компьютеров, и для других быстро расширяющихся сфер применения фотонных кристаллов. Пластичность древесины позволяет посредством ее деформирования регулировать пространственные параметры получаемых из нее целлюлозных прозрачных матриц и, соответственно, фотонных кристаллов. А так как вариации деформирования весьма многообразны, сочетаниями сжатия, растяжения, кручения, изгиба можно формировать сложные оптические структуры, получение которых другими способами практически невозможно.

*Работа частично поддерживалась грантом РФФИ 16-29-11702.*

# ФОРМИРОВАНИЕ ДЕШЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ИЗ НАНОКОМПОНЕНТОВ РАСТЕНИЙ

*Дворцевая<sup>1</sup> Н.А. школьница, Винокуров<sup>2</sup> С.А. Классен<sup>2</sup> Н.В.*

*<sup>1-</sup> Физмат лицей, Сергиев Посад*

*<sup>2-</sup> Институт физики твердого тела РАН, Черногловка, [klassen@issp.ac.ru](mailto:klassen@issp.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10047**

Развитие солнечной энергетики - один из наиболее перспективных вариантов совместного решения глобальных энергетических и экологических проблем. Но этот путь наталкивается на серьезное препятствие в виде высокой себестоимости производства полупроводниковых солнечных батарей. Наряду с исследованиями по его удешевлению актуальны поиски альтернативных вариантов преобразования солнечного света в электричество. Среди них особо привлекателен созданный природой процесс разделения электрических зарядов при поглощении света тилакоидными органеллами зеленых компонентов растений. Свободные электроны, образуемые при этом, особым типом белков переносятся изнутри тилакоида на внешнюю сторону его оболочки. При этом внутри остаются положительные протоны, т.е. происходит разделение зарядов, аналогичное процессу в полупроводниковых р-п переходах. Но для получения на этом процессе макроскопической электрической поляризации, необходимой для генерации электроэнергии, необходимо расщепить тилакоиды и переориентировать их планарные оболочки так, чтобы все они стали преимущественно направлены отрицательными поверхностями в одну сторону, а положительными – в противоположную. Наши эксперименты показали, что такого рода расщепление тилакоидов и последующая переориентация их расщепленных оболочек происходит при облучении водных суспензий с растертыми зелеными листьями красным или синим лазерами. После такой обработки наблюдается образование оптически анизотропных кристалликов размерами от десятков до сотен микрон. Это объясняется трехстадийным процессом: сначала при лазерном облучении поляризуются тилакоиды, затем в результате кулоновского отталкивания между оставшимися внутри положительными зарядами тилакоиды лопаются, образуя электрически поляризуемые пластинки. На третьей стадии под действием кулоновского притяжения между отрицательными и положительными зарядами противоположных сторон эти пластинки объединяются в многослойные стопки, наблюдаемые в поляризационном микроскопе как анизотропные кристаллики. Для сборки солнечной батареи из таких кристалликов остается сориентировать их электрическим полем и соединить их положительные и отрицательные грани с внешними электродами для получения при освещении электрического тока. Такие батареи могут стать намного дешевле полупроводниковых.

*Работа частично поддерживалась грантом РФФИ 16-29-11702.*

# ЛАЗЕРНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ И ОПТИЧЕСКИХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ В НАНОСУСПЕНЗИЯХ

*Винокуров С.А. магистрант, Классен Н.В.*

*Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, [klassen@issp.ac.ru](mailto:klassen@issp.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10048**

Роль оптических методов получения, обработки и передачи информации непрерывно возрастает. К широко применяемой оптоволоконной связи в ближайшие годы добавятся оптические компьютеры. На очереди – оптические микроскопы с оптикой из метаматериалов, которые по разрешению приближаются к микроскопам электронным, но имеют большие преимущества по себестоимости и простоте эксплуатации. По этим причинам обостряются потребности в создании принципиально новых оптических элементов на базе фотонных кристаллов и сред с отрицательным показателем преломления в оптическом диапазоне. В этих направлениях много актуальных задач, т.к. к настоящему моменту изготовление фотонных кристаллов ведется дорогими методиками типа электронно-лучевой литографии, а оптические метаматериалы для видимого спектра пока еще не созданы. Наши эксперименты показали, что лазерное облучение водных суспензий с наночастицами и неорганической, и органической природы способно при определенных условиях формировать для оптического диапазона и фотонные кристаллы с легко регулируемыми непосредственно в процессе эксплуатации параметрами, и метаматериалы с отрицательным показателем преломления для суперобъективов и других применений. Использовались синий, зеленый и красный лазеры с плотностью мощности порядка  $1 \text{ Вт/см}^2$ . Наносуспензии составлялись из воды и наночастиц никеля, меди, двуокиси кремния, какао, лигнина с объемными концентрациями от 10 до 30%. Суспензии наносились слоем толщиной порядка 1 мм на предметное стекло, располагавшееся горизонтально над направленным вверх лазерным лучом. С временным разрешением 0,02 секунды проводились видеозаписи динамики картин рассеяния прошедшего через суспензию лазерного потока на удаленном на 3 метра экране, а с помощью оптического микроскопа записывались изменения микроморфологии суспензии. В результате был получен обширный набор экспериментальных фактов, среди которых выделяются следующие: При облучении суспензий с наночастицами, поглощающими свет (меди, какао), на экране наблюдаются кольцевые дифракционные структуры. Электронная микроскопия осадка суспензий меди при этом выявляет образование разомкнутых подковообразных колец субмикронных размеров. Этот результат дает основание планировать формирование такими приемами получение сред с отрицательным показателем преломления, т.к. незамкнутые металлические кольца наноразмеров в силу

малых индуктивности и емкости имеют резонансные частоты в оптическом диапазоне, давая возможность получить отрицательные значения и магнитной, и диэлектрической проницаемости, т.е. метаматериалы оптического диапазона. При определенных условиях формируются периодические распределения наночастиц с разными симметриями и периодами, которые легко регулируются изменениями мощности лазерного потока, длины волны излучения, типа и концентрации наночастиц. Кроме того, полученные таким образом фотонно-кристаллические структуры могут перестраиваться непосредственно при прохождении света приложением к суспензиям электрического или магнитного полей (последнее - в случае магнитных наночастиц). Таким образом, лазерное облучение водных наносуспензий позволяет получать простыми способами регулируемые фотонные кристаллы и метаматериалы оптического диапазона.

*Работа частично поддерживалась грантом РФФИ 16-29-11702.*

## **ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ВОДНЫХ НАНОСУСПЕНЗИЯХ**

***Бурова Д.Н.<sup>1</sup> школьница, Классен<sup>2</sup> Н.В.***

*<sup>1</sup>- Физмат лицей, Сергиев Посад*

*<sup>2</sup>- Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, [klassen@issp.ac.ru](mailto:klassen@issp.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10049**

Актуальность этой темы связана с неясностями в понимании магнитных и кластерной свойству воды, перспективами использования магнитных материалов для электронных и оптических наносистем, необходимостью повышения антикоррозионной стойкости стальных металлоконструкций (особенно в условиях Арктики). Железо – одно из наиболее используемых в практике веществ (конструкционные материалы в строительстве, промышленности, трубопроводном транспорте, устройства магнитной записи, химический катализ, биомедицина). Один из главных недостатков материалов на основе железа – коррозия в присутствии воды. Для предупреждения коррозии применяются защитные покрытия (покраска, горячее нанесение полимерных покрытий и т.д.), легирование сталей антикоррозионными добавками (хром, никель). В данной работе показана возможность ослабления коррозии сплавов на основе железа магнитным полем. В качестве модельных материалов использовалась сталь 3 и водный раствор сернокислой меди (медный купорос  $\text{CuSO}_4$ ), модельной реакцией для изучения влияния магнитного поля было восстановление меди из медного купороса железом. Магнитное поле создавалось

постоянными магнитами на основе неодима цилиндрической формы диаметром 40 мм и толщиной от 5 до 20 мм. Поле непосредственно одиночного магнита составляло 0,35 Тл. Величина поля могла регулироваться сложением вместе нескольких магнитов. Ход химической реакции регистрировался видеозаписью изменения микрокартины осаждения меди на поверхности стали через оптический микроскоп. В экспериментах было обнаружено существенное замедление реакции окисления железа при приложении магнитного поля. Обнаруженное замедление окисления железа объясняется тем, что магнитное поле увеличивает энергию связи между атомами железа, которое является ферромагнетиком, где магнитные моменты атомов ориентированы параллельно друг другу. Но для уменьшения магнитостатической энергии поля, выходящего из металла наружу, крупные области взаимно параллельной ориентации магнитных моментов разделяются на относительно мелкие домены (размерами от нескольких микрон до сотен микрон) так, чтобы выходящие наружу магнитные поля соседних доменов компенсировали друг друга. По этой причине магнитные моменты атомов железа, расположенных в границах между доменами, уже не параллельны друг другу и поэтому энергия связи этих атомов ослаблена. Поэтому в реакции окисления участвуют в первую очередь атомы железа, расположенные на междоменных границах, и скорость реакции определяется общей длиной междоменных границ на изучаемой поверхности. Внешнее магнитное поле переориентирует домены, уменьшая общую длину границ между ними и за счет этого средняя энергия связи атомов железа возрастает, а скорость окисления падает. Еще один новый факт влияния магнитного поля на химические процессы – превращение сульфата железа, образующегося при восстановлении меди, из гидрофильного в гидрофобный. В результате этого при наложении магнитного поля сульфат железа выделяется из раствора в виде белых наночастиц. Объяснение – в том, что для экранирования магнитного поля сульфат железа должен стать ферромагнитным. Поэтому для сближения атомов железа молекулы воды из сульфата выталкиваются магнитным полем. Похожим процессом снижения растворимости магнитным полем можно объяснить давно используемое на практике явление предотвращения осадков накипи в котлах ТЭЦ пропусканием воды через магнитное поле: при этом соли выпадают в осадок непосредственно в воде, а не на стенках котла.

Обнаруженное нами существенное влияние магнитного поля на скорость химических реакций в водных суспензиях открывает перспективу литографической гравировки поверхности микросхем не дорогостоящей и длительной операцией электронно-лучевой литографии, а регулированием скорости травления поверхности сканированием магнитной микроиглы по заданной геометрии.

# ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ, ФОТОЭЛЕКТРИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ ЖИВЫХ РАСТЕНИЙ

Коломиец<sup>1</sup> А.А. школьник, Кудинова<sup>2</sup> А.А., Классен<sup>3</sup> Н.В.

<sup>1</sup>- Средняя школа № 45, пос. Ямкино

<sup>2</sup>- Физмат лицей, Сергиев Посад

<sup>3</sup>- Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, [klassen@issp.ac.ru](mailto:klassen@issp.ac.ru)

DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10050

Один из главных процессов развития живой природы - взаимодействие зеленых органелл растений со светом, приводящее в процессе фотосинтеза к образованию исходных биоматериалов, из которых формируются все растительные компоненты. Наши исследования, проведенные на комнатных и уличных растениях, показали, что в дополнение к фотосинтезу в их жизнедеятельности участвуют еще несколько электрических процессов. При этом они проявляются не только на молекулярно-клеточном уровне, подобно фотосинтезу, но и активно работают в макроскопических масштабах, обеспечивая перенос питательных веществ и продуктов фотосинтеза между корнями, кроной и стволом. При освещении зеленых листьев красным или синим светом наблюдались осцилляции электрических потенциалов амплитудой до вольта не только в освещаемом листе, но и на ветке, где он расположен, на расстоянии в десять и более сантиметров от листа. Периоды таких осцилляций составляли несколько секунд. Изгибные деформации и веток также индуцировали дальнедействующие изменения электрических потенциалов. Важно отметить, что амплитуды потенциалов при крутильных деформациях веток были в несколько раз больше, чем при изгибных. При циклических повторениях деформаций величины индуцированных потенциалов в течение первого десятка деформирующих воздействий возрастали на порядок, доходя до вольта. Приложение к произвольно выбранному участку ветки электрического импульса приводило к электрическим и акустическим откликам других участков, расположенных на расстояниях в десятки сантиметров. Механическое импульсное воздействие на ветку посредством удара или впрыскивания шприцом воды вызывало на удаленных участках отклики в виде всплесков электрического потенциала и деформации. Обнаруженные электромеханические и фотоэлектрические явления объясняются сочетанием трех процессов: разделением положительных и отрицательных зарядов при поглощении света в хлоропластах листьев, связанными колебаниями электрических полей и деформаций (электромеханическими волнами) в пьезоэлектрических стенках капилляров и сопровождающих эти волны перемещениями по капиллярам свободных электрических зарядов. Кроме того, перемещения зарядов и соответствующие изменения дипольных моментов вызывают изменения окружающих ветки и листья электрических полей. В результате возникают

корреляции в колебаниях листьев и ветвей, вызванных действием ветра и света, которые усиливают амплитуды внутренних и внешних электрических полей. Движением внутренних полей обеспечивается движение питательных веществ, а генерация растениями электрических внешних полей позволяет использовать растения для получения электроэнергии и контактным, и даже бесконтактным методом (используя электромагнитную индукцию).

## **ХИМИКО-ДЕФОРМАЦИОННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ**

*Щербакова<sup>1</sup> В.Б. студентка, Классен<sup>2</sup> Н.В.*

*<sup>1-</sup> Химфак Белорусского госуниверситета, Минск*

*<sup>2-</sup> Институт физики твердого тела РАН, Черногоровка, [klassen@issp.ac.ru](mailto:klassen@issp.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10051**

Во многих случаях эксплуатационные характеристики твердотельных изделий определяются их приповерхностными слоями. Это относится и к конструкционным, и к приборным применениям. Поэтому актуальна разработка новых способов регулирования структуры и свойств этих слоев. Нами изучены комбинации локального динамического деформирования поверхностей твердых тел с внесением инородных веществ – как органических, так и неорганических. Эта методика позволяет аномально быстро переносить вглубь приповерхностных областей наночастицы, отдельные атомы, неорганические и органические молекулы, осуществляя новый вид легирования – низкотемпературное. Экспериментально продемонстрирована возможность импрегнирования таким способом и металлов, и полупроводников, и диэлектриков. Причем это относится как к кристаллическим, так и к аморфным материалам. Важно, что, в отличие от применяемых сейчас технологий модифицирования, наши методики не требуют специальных заводских условий – ни повышенных температур, ни вакуума и т.д. Они применимы в полевых условиях непосредственно по месту службы изделий, в том числе и под водой. Например, непосредственно на месте может выполняться антикоррозионная обработка стальных конструкций – мостов, опор электропередач, трубопроводов и даже подводных частей кораблей. В наших опытах удавалось за несколько десятков минут шариковой обкатки стальных изделий вносить на глубину до 50 микрон антикоррозионные вещества разных видов – наночастицы меди, никеля, окиси хрома. Следует выделить принципиально новую способность наших методик – легирование приповерхностных слоев органическими полимерами. Раньше это было невозможно, т.к. обычные способы легирования требуют

повышенных температур, при которых органические молекулы неизбежно разлагаются. Например, шариковой обкаткой мы пролегиrowали сталь молекулами тефлона. В результате ее поверхность приобрела водоотталкивающие свойства. Важно подчеркнуть, что динамическое внедрение позволяет формировать композиции из веществ, которые в равновесных условиях несовместимы. Такого типа легирование может производиться скользящим по поверхности наноиндентором, формируя нанорисунки заданных геометрий и составов. В работе приводятся примеры использования химико-деформационной методики для восстановления изношенных трением медных контактных проводов электротранспорта, антикоррозионной защиты и снятия термонапряжений сварных швов, антиобледенительной обработки алюминиевых проводов электропередач.

## **СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК МЕТОДОМ CVD В РЕАКТОРЕ К ПСЕВДОКИПАЩИМ СЛОЕМ КАТАЛИЗАТОРА**

***Есболов<sup>1</sup> Н.Б. молодой ученый, Терюкалова<sup>2</sup> Н.В., Смагулова<sup>1,2</sup> Г.Т.***

***<sup>1</sup>- РГП на ПВХ «Институт проблем горения» КН МОН РК, Алматы, Казахстан***

***<sup>2</sup>-Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан [www.kaznu.kz.ru](http://www.kaznu.kz.ru)***

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10052**

Последние годы интенсивно развивается новое направление науки и техники – нанотехнология, которая позволяет создавать новые материалы и структуры, обладающие принципиально новыми свойствами. Особый интерес среди таких структур представляют углеродные нанотрубки (УНТ) и нановолокна (УНВ). В настоящее время получение углеродных нанотрубок вызывает большой научный и практический интерес благодаря своим уникальным структурным, механическим и электронным свойствам [1].

Из свойств углеродных нанотрубок следует отметить рекордно высокий модуль упругости, прочность, высокая стойкость к химическим реагентам, и высоким температурам, уникальные электронные свойства: от диэлектриков до углеродных нанотрубок с металлической проводимостью. Нанотрубки, как одномерные проводники, считаются перспективными объектами для создания различного рода электронных устройств, которые могут служить элементной базой молекулярной электроники. Еще одна особенность углеродных нанотрубок связана с их уникальными сорбционными характеристиками. УНТ являются

структурами с развитой поверхностью, в которой заключена основная ее масса. Расстояние между графитовыми слоями в многослойной углеродной нанотрубке близко к соответствующему значению для кристаллического графита (0.34 нм). Таким образом, УНТ и УНВ могут рассматриваться как уникальная емкость для хранения веществ, находящихся в газообразном, жидком, либо твердом состоянии [2]. Композиционные материалы на основе УНТ уже нашли применение в самых значимых, наукоемких отраслях: машиностроение, атомная энергетика, авиация и космонавтика, военно-промышленный комплекс, строительство и др.

Для синтеза углеродных нанотрубок используются каталитические методы. Часто катализатор представляет собой комплекс матрицы и активных фаз. Катализаторами являются частицы на основе переходных металлов или их соединений, таких как соли и оксиды и являются наиболее эффективными в процессе синтеза углеродных нанотрубок. В качестве матриц для катализатора используются кремниевые пластины [6], аэрогели, кварц, мезопористый кремний [7]. Углеродные предшественники разлагаются на каталитической наночастице, углерод диффундирует через каталитическую наночастицу и образует УНТ. Выбор матрицы для катализаторов, ее структура предопределяет свойства конечного продукта. Создание новых каталитических систем с различными активными фазами и матрицами позволяет получать углеродные нанотрубки с различной морфологией и свойствами.

В работе [8] представлены данные по крупномасштабному производству углеродных нанотрубок. Анализ в [9] показывает, что спрос на УНТ постоянно растет, и обладает самым быстрорастущим спросом на рынке. В 2014 году общий объем производства углеродных нанотрубок составил 1053 млн. долларов США, а среднегодовой темп роста составил 58,9 %. Объемное производство углеродных нанотрубок для промышленного применения началось в начале 1990-х годов, Hyperion Catalysis International, Inc. (Кембридж, Массачусетс) начал широкомасштабное производство МУНТ. Эта компания имеет широкий спектр патентов на синтез и применение нанотрубок и нановолокна углерода. Исследовательский институт углеродных нанотехнологий (CNRI), дочерняя компания Mitsui&Co., Ltd., планирует ежегодно заниматься разработкой технологий для производства 120 тонн МУНТ. Другие компании, такие как Applied Sciences, Inc. (API) и Showa Denko (SDK) имеют крупномасштабную производственную мощность для МУНТ с широким распределением диаметров в диапазоне от 70 до 200 нм.

Одностенные углеродные нанотрубки обладают уникальными физико-химическими свойствами, модуль Юнга составляет от 320 до 1470 ГПа [10], прочность на растяжение - 150 ГПа, теплопроводность - 2000 Вт/м·К для многослойных углеродных нанотрубок - модуль Юнга - 1200 ГПа, предел прочности при растяжении - 150 ГПа [11]. Результаты измерений показывают, что удельное сопротивление углеродных нанотрубок может широко варьироваться от  $5,1 \cdot 10^6$  до  $0,8$  Ом/см [12]. Теплопроводность отдельной однослойной углеродной нанотрубки составляет 6600 Вт/м·К и  $>3000$  Вт/м·К для отдельной многослойной

углеродной нанотрубки [13]. Из-за высокой плотности тока ( $10^9 \text{ A}\cdot\text{см}^{-2}$ ), которую можно пропускать через одностенные углеродные нанотрубки, они считаются многообещающим материалом для замены меди и алюминия в интегральных схемах. Многослойные углеродные нанотрубки обладают сверхпроводимостью со сравнительно высокой температурой перехода [14].

УНТ могут быть получены различными способами: электролизом, дуговым разрядом, лазерной абляцией, сонохимическим методом, гидротермическим синтезом, химическим осаждением из паровой фазы (горячая нить, водяной пар, кислородная, микроволновая плазма, радиочастотная, термическая плазма). Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, возникающие в результате различных результатов роста, что предопределяет определенные свойства углеродных нанотрубок.

Анализ литературных данных [16] показывает, что структура и морфология углеродных нанотрубок, получаемых методом CVD зависят от следующих параметров процесса: температуры, давления, состава газа, катализатора. Существует много областей практического применения углеродных нанотрубок. Углеродные нанотрубки уже нашли свое применение в вакуумной микроэлектронике, системах хранения энергии в композитах, датчиках [17, 18], нанозондах, усилении лопаток турбин, радиочастотных составляющих, покрытиях и т.д. [19, 20].

Изучив рынок производителей углеродных нанотрубок в странах СНГ, можно отметить, что массовое производство МУНТ налажено только в России. ООО «НаноТехЦентр» производит углеродные нанотрубки с чистотой 95 %, под торговыми марками «Таунит», «Таунит-М», «Таунит-МД», с диаметрами от 8 до 80 нм, цена за 1 г – 120-150 рублей (696-870 тенге, 2-2,6 \$). В Казахстане же нет налаженного производства углеродных нанотрубок, следовательно, данный сегмент рынка в настоящее время свободен. Отсутствие углеродных нанотрубок на рынке сдерживает развитие многих областей науки и техники, углеродные нанотрубки могли бы стать основой для разработки новых материалов или улучшения свойств уже имеющихся материалов и продуктов.

Анализ литературы показывает, что в зарубежных лабораториях, синтез углеродных нанотрубок в реакторе с псевдокипящим слоем катализатором реализуется на высоком уровне только в лаборатории проф. Noda S. (Waseda University, Япония). Группа проф. Noda S. Получает в массовом количестве многослойные углеродные нанотрубки с чистотой 99,6 % с диаметром 6,5 нм и длиной несколько миллиметров. Полученные углеродные нанотрубки, сотрудники лаборатории проф. Noda S. использует для создания электродов суперконденсаторов, литий-ионных батарей и в микроэлектронике [21, 22]. В лаборатории проф. Noda S. в качестве основы катализаторов используются  $\text{SiO}_2$ -сферы с диаметром 0,3-1 мм, на который послойно наносятся нанометровый слой алюминия с толщиной 5 нм путем разложения паров изопророксида алюминия и железа с толщиной 1 нм путем разложения паров пантакрабонила железа. Последовательно наносят 5 слоев, что позволяет непрерывно проводить 5 синтезов, соответственно.

Были проведены исследования по синтезу углеродных нанотрубок в реакторе с псевдокипящим слоем катализатора. Была изготовлена лабораторная установка по синтезу УНТ с псевдокипящим слоем катализатора (рисунок 1). На рисунке 1 представлена схема установки для синтеза УНТ с вертикальным CVD-реактором, в котором обеспечивается процесс псевдокипящего синтеза. Структура данной установки аналогична структуре горизонтального CVD-реактора. Кварцевая трубка (рабочая камера) оснащена пористой керамической перегородкой, которая фиксирует область псевдо-кипения подвижного слоя. CVD-реактор состоит из вертикально расположенной печи (1) и кварцевой трубки (2) вдоль ее оси, стрелками указаны направление потока транспортных газов водорода, азота и ацетилена (3).

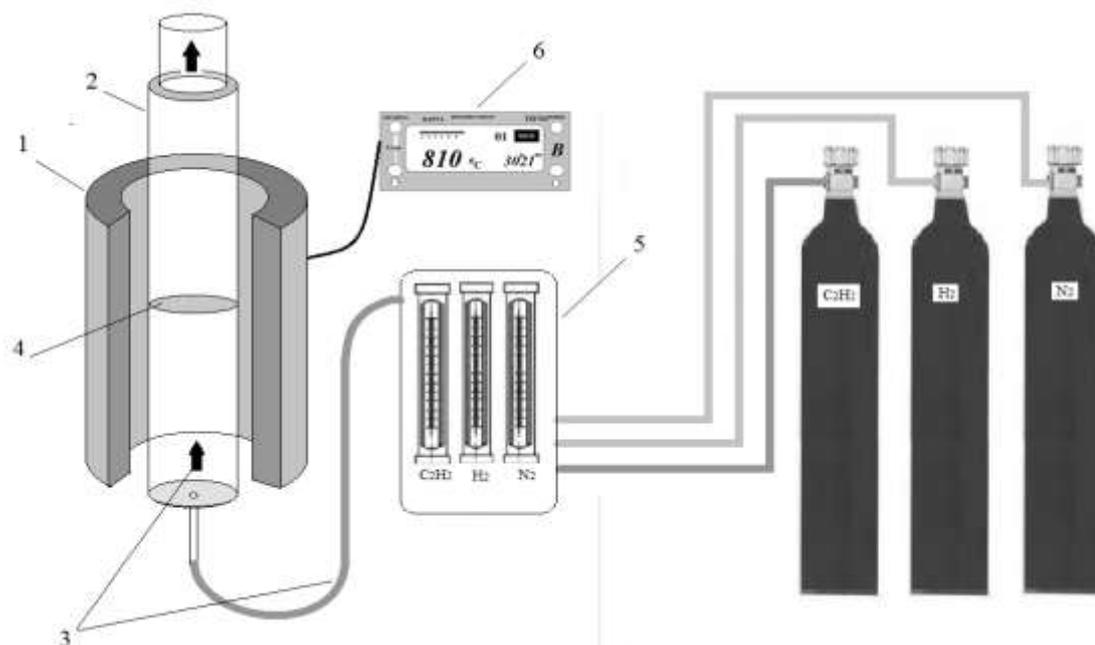


Рис.1. Принципиальная схема установки CVD-реактора для синтеза УНТ с псевдокипящим слоем катализатора.

В качестве катализатора были использован Ni порошок с диаметром частиц до 50 нм, исходный газ – ацетилен, время синтеза – 20 мин, температура синтеза – 780 – 810 °С, масса катализатора – 4 г. Результаты исследований (таблица 1) показали, что за 1 синтез образуется в среднем 1,1 г МУНТ с диаметром 20-30 нм. После 5-го синтеза активность катализатора падает на 40 %. Полученные углеродные нанотрубки были исследованы методами сканирующей, электронной микроскопии и Раманвской спектроскопии.

Таблица 1. Условия синтеза и выход УНТ.

№	Расход N <sub>2</sub> , см <sup>3</sup> /мин	Расход C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , см <sup>3</sup> /мин	Масса кат, г	Время синтеза, мин	T °C синтеза	Масса УНТ, г
1	946	95	3,9	20	780	1,1
2	946	95	3,50	20	780	0,9
3	946	95	3,4	20	780	0,8
4	946	95	2,32	20	780	0,64

## Список литературы:

1. De Volder M.F.L., Tawfick S.H., Baughman R.H., Hart A.J. Carbon Nanotubes: Present and Future Commercial Applications // Science. – 2013. – Vol. 339. – P. 535-539 // DOI: 10.1126/science.1222453.
2. Forró L., Schönenberger Ch. Carbon nanotubes, materials for the future // Europhys. News. – 2001. – Vol. 32, № 3. – P. 86-90.
3. Riemenschneider J., Mahrholz T., Mosch J., Monner H.P. and Melcher J. Carbon nanotubes - smart material of the future: Experimental investigation of the system response // II ECCOMAS thematic conference on smart structures and materials: Materials and Processes. – Lisbon, Portugal, 2005. – P. 18-25.
4. Baughman R.H., Zakhidov A.A., de Heer A.W. Carbon nanotubes – the route toward applications // Science. – 2002. – Vol. 297. – P. 787-792 // DOI: 10.1126/science.1060928.
5. Mansurov Z.A., Shabanova T.A., Mofa N.N. Synthesis and technologies nanostructured materials: Textbook. – Almaty: Kazak University, 2012. – 318 P.
6. Huynh C.P., Hawkins S.C. Understanding the synthesis of directly spinnable carbon nanotube forests // Carbon. – 2010. – Vol. 48, № 4. – P. 1105-115 // DOI: 10.1016/j.carbon.2009.11.032.
7. Abdel-Fattah T., Siochi E.J., Crooks R.E. Pyrolytic synthesis of carbon nanotubes from sucrose on a mesoporous silicate // Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures. – 2006. – Vol. 14, № 4. – P. 585-594.
8. Endo M., Hayashi T. and Y. Kim. Large-scale production of carbon nanotubes and their applications // Pure Appl. Chem. – 2006. – Vol. 78, № 9. – P. 1703-1713 // DOI: 10.1351/pac200678091703.
9. Trofimov N.A. Nanotube-based technologies: industrial applications and market products // Science abroad. – 2012. – № 11. – P. 1-25.
10. Yu M.F., Files B.S., Arepalli S., Ruoff R.S. Tensile loading of ropes of single wall carbon nanotubes and their mechanical properties // Physical Review Letters. – 2000. – Vol. 84, № 24. – P. 5552-5555 // DOI: 10.1103/PhysRevLett.84.5552.
11. Seetharamappa J., Yellappa Sh. and D'Souza F. Carbon Nanotubes: Next Generation of Electronic Materials // The Electrochemical Society Interface Summer. – 2006. – Vol. 15, № 2. – P. 22-25, 61.
12. Zolotukhin I.V. Carbon nanotubes//Soros Educational Journal.–1999.– № 3.– P.111-113.
13. Zhang T., Kumari L., Du G.H., Li W.Z., Wang Q.W., Balani K., Agarwal A. Mechanical properties of carbon nanotube – alumina nanocomposites synthesized by chemical vapor deposition and spark plasma sintering // Composites: Part A. – 2009. – Vol. 40. – P. 86-93 // DOI:10.1016/j.compositesa.2008.10.003.
14. Haruyama J., Takesue I., Kobayashi N. et al. Superconductivity in Entirely End-Bonded Multiwalled Carbon Nanotubes // Physical Review Letters. – 2006. –Vol. 5. – P. 96-99.
15. Yasuda E., Inagaki M., Kaneko K., Oya A. and Tan Y. Carbon alloys: Novel concept to develop carbon science and technology. – 1st edition. – Elsevier, 2003. – 569 p.
16. Fursikov P.V., Tarasov B.P. Catalytic synthesis and properties of carbon nanofibers and nanotubes // Int. Scientific J. for Alternative Energy and Ecology. – 2004. – № 10 (18). – P. 24-40.
17. Kanoun O., Müller Ch., Benchirouf A., Sanli A., Dinh T.N., Al-Hamry A., Bu L., Gerlach C. and Bouhamed A. Flexible Carbon Nanotube Films for High Performance Strain Sensors (Review) // Sensors. – 2014. – Vol. 14. – P. 10042-10071 // DOI:10.3390/s140610042.

18. Baughman R.H., Zakhidov A.A., de Heer W.A. Carbon Nanotubes – the Route Toward Applications // Science. – 2002. – Vol. 297. – P. 787-792.
19. Naidu P.K., Pulagara N.V., Dondapati R.S. Carbon Nanotubes in Engineering Applications // Progress in Nanotechnology and Nanomaterials. – 2014. – Vol.3, Is. 4. – P. 79-82.
20. Eletsii A.V. Carbon nanotubes and their emission properties (Review) // The successes of the physical sciences. – 2002. – Vol. 172, № 4. – P. 401-438.
21. Chen Zh., Kim D.Y., Hasegawa K., Osawa T., Noda S. Over 99.6 wt %-pure, sub-millimeter-long carbon nanotubes realized by fluidized-bed with careful control of the catalyst and carbon feeds // CARBON. – 2014. – Vol. 80. – P. 339-350 // DOI: 10.1016/j.carbon.2014.08.072.
22. K. Hasegawa and S. Noda. Lithium ion batteries made of electrodes with 99 wt. % active materials and 1 wt. % carbon nanotubes without binder or metal foils // J. Power Sources 321, 155-162 (2016).

## **СВС–ЭКСТРУЗИЯ КОМПАКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ TiV–Ti, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДОБАВКАМИ НАНОРАЗМЕРНОГО AlN**

**Болоцкая А.В. аспирантка, Михеев М.В., Бажин П.М., Столин А.М.**

***Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения  
им. А.Г. Мерджанова Российской академии наук, Черногловка,  
[moon@ism.ac.ru](mailto:moon@ism.ac.ru)***

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10053**

В настоящее время все большей популярностью пользуются композиционные материалы на основе титана и его соединений. Материалы на основе моноборида титана применяются в автомобильной и ракетостроительной промышленности, благодаря уникальному сочетанию высокой твёрдости и жаропрочности [1,2].

Материалы на основе моноборида титана в основном получают методами порошковой металлургии или классическим литьём. Получение материала по данным технологиям, затруднено в связи с рядом проблем, возникающих при его производстве, связанных с несовершенством технологических операций [3]. Наличие остаточной пористости в конечном материале является большим производственным недостатком. Эту проблему можно решить с помощью технологии СВС–экструзии, благодаря которой можно получать компактные материалы с пористостью менее 5% [4].

В данной работе рассматривается получение моноборида титана методом СВС–экструзии, с введённым в исходную шихту нанопорошком AlN. Наноразмерный нитрид алюминия получали по азидной технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [5].

Целью является исследование влияние модифицирующей добавки AlN на структуру, свойства и характеристики горения системы Ti-B. Содержание порошка AlN варьировалось от 1 до 5 % от массы шихты.

В результате, методом СВС–экструзии были получены компактные стержни из материалов TiB - 30 масс.% Ti с 3 и 5 масс % AlN. Синтезированные компактные стержни исследовались методами РФА и СЭМ. Полученные экспериментальные результаты подтверждают перспективность направления модифицирования материала на основе TiB/Ti малыми добавками нанопорошка AlN марки СВС-Аз.

#### Список литературы:

1. Ночовная, Н.А Тенденция развития и современное состояние исследований в области титановых сплавов/ Н.А. Ночовная, В.Г. Анташев //Все материалы. Энциклопедический справочник, № 1, 2009.–412 с.
2. Saito T. The automotive application of discontinuously reinforced TiB-Ti composites //JOM. – 2004. – Т. 56. – №. 5. – С. 33-36.
3. Morsi, K. Review Processing and properties of titanium–titanium boride (TiBw) matrix composites –a review / K. Morsi, V.V. Patel // J. Mat.Sci.– 2007.– V.42.– P.2037-2047.
4. A. M. Stolin and P. M. Bazhin. SHS Extrusion: An Overview. // International Journal of Self Propagating High-Temperature Synthesis.- 2014.- Vol. 23. No. 2, pp. 65-73.
5. Амосов, А. П. Азидная технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза микро- и нанопорошков нитридов/ А. П. Амосов, Г. В. Бичуров // М.: Машиностроение – 1, 2007. – 526 с.

## КОНВЕРСИЯ ЖИДКИХ ТОПЛИВ В РЕАКТОРЕ С ПОДВИЖНЫМ СЛОЕМ ИНЕРТНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

*Вельковская<sup>1</sup> И.И. студентка, Подлесный<sup>2</sup> Д.Н.*

*<sup>1</sup>- МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*

*<sup>2</sup>- Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, [gtc@icp.ac.ru](mailto:gtc@icp.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10054**

Хорошо известно, что для многих промышленных предприятий переработка и уничтожение жидких углеводородных отходов является серьезной проблемой. Для эффективной переработки некондиционных горючих жидкостей может быть использован процесс фильтрационного горения в противоточном режиме.

В работе экспериментально изучена конверсия жидких углеводородных топлив путем частичного/полного окисления в режиме фильтрационного горения со сверхadiaбатическими разогревами. В качестве модельного топлива использовали пропанол-2.

Лабораторные исследования проводились в вертикальном шахтном кварцевом реакторе квазинепрерывного действия с внутренним диаметром 66 мм и длиной 400 мм (рис. 1). Объем реактора был заполнен инертным материалом. В качестве инертного материала использовался дробленый шамотный кирпич марки ШЛ-1.3 (ГОСТ 5040-96) фракции 7-10 мм. Окислитель (воздух) подавали в реактор через штуцер в крышке бункера-накопителя. Расход воздуха контролировали с помощью электронного расходомера Mass-view MV-306. Продукт газ выводился через верхний торец реактора.

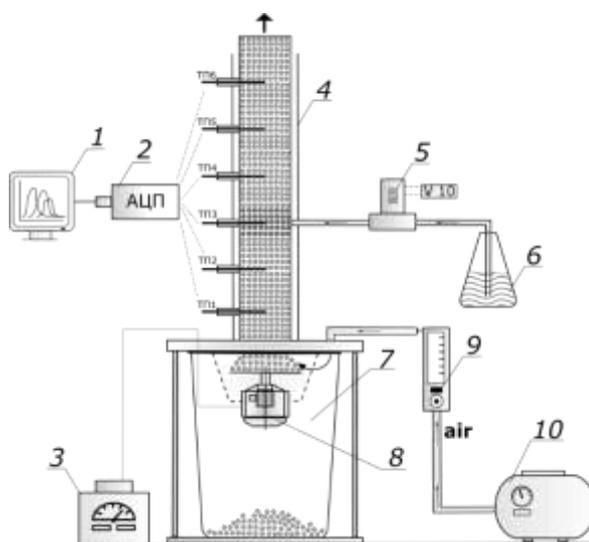


Рис. 1. Схема экспериментальной установки квазинепрерывного действия. 1 – ПК, 2 – АЦП, 3 – ЛАТР, 4 – кварцевый реактор, 5 – перистальтический насос, 6 – колба жидкого топлива, 7 – бункер-накопитель инертного материала, 8 – вращающийся колосник, 9 – электронный расходомер, 10 – компрессор.

Подача жидкого топлива в объем реактора осуществлялась через боковой ввод в реакторе с помощью перистальтического насоса Tholen Pumpen. Средний расход изопропилового спирта в экспериментах варьировали от ~6 мл/мин до ~8 мл/мин. Удельный расход воздуха варьировали от 0.4 до 1 л/с и подбирали таким образом, чтобы стехиометрический коэффициент избытка кислорода по отношению к топливу менялся от 0.4 до 1.9.

В ходе эксперимента осуществлялась разгрузка остывшего инерта вращающимся колосником из реактора и дозагрузка свежих порций инерта в реактор. Для измерения температуры использовались хромель-алюмелевые термопары, спаи которых находились по центру реактора. Контролировали положение фронта горения в одном сечении путем выгрузки инерта. Анализ газообразных продуктов осуществляли на газовом хроматографе “GC-CRYSTAL 5000” Хроматэк.

На рис. 2 показаны зависимости осевых температур в реакторе от времени эксперимента.

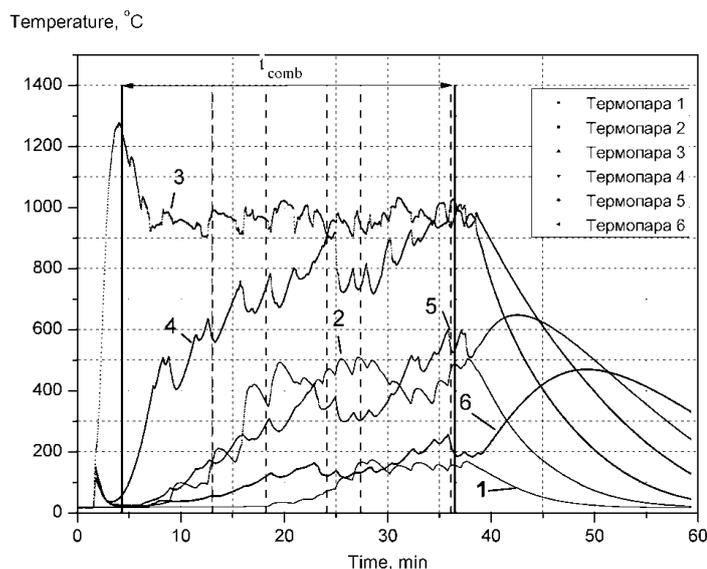


Рис. 2. Типичные температурные профили волны горения изопропилового спирта. Номера кривых соответствуют уровням термопар по длине реактора снизу вверх,  $t_{comb}$  – время горения пропанола-2.

Колебания температуры показывают разгрузку/загрузку инертного материала. Состав получаемого газа изменялся в зависимости от управляющих параметров (соотношение окислитель/топливо, температура горения).

Проведён термодинамический анализ химических равновесий систем  $C_3H_8O + \text{воздух}$  при температурах 600-1000°C. Экспериментально полученные закономерности хорошо согласуются с теоретическими расчетами, хотя несколько отличаются в значениях.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ №18-33-00213 мол\_a.*

# ГОРЕНИЕ ТОРФА ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ ОКИСЛИТЕЛЯ

*Цветков М.В. молодой ученый, Зайченко А.Ю., Подлесный Д.Н.,  
Салганский Е.А., Салганская М.В.*

*Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка,  
[tsvetkov@icp.ac.ru](mailto:tsvetkov@icp.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10055**

В России разведано более 65 тысяч торфяных месторождений общей площадью 80.5 млн. га с запасами около 235 млрд. т. или 47 % от всех мировых запасов торфяного сырья, что делает торф важным и стратегически значимым сырьем. Горение торфяников сопровождается большим выбросом парниковых газов, приводит к локальным разрушениям экосистемы и загрязнению воздуха.

В настоящей работе экспериментально исследовали закономерности горения торфа различной проницаемости в условиях естественной конвекции газообразного окислителя.

Эксперименты проводили в вертикальном цилиндрическом реакторе периодического действия, выполненном из кварцевого стекла, внутреннего диаметра 66 мм и длиной 500 мм (рис. 1). В качестве объекта исследования был выбран экструдированный верховой торф Тверской области.

Образец торфа помещали в реактор с открытыми торцами, что обеспечивало возникновение естественной конвекции газообразного окислителя. Масса торфа во всех экспериментах была постоянной и составляла 191 г., высота засыпки равнялась 100, 120, 130, 140±5 мм для фракций торфа 2-3, 3-5, 5-7 и 7-10 мм, соответственно.

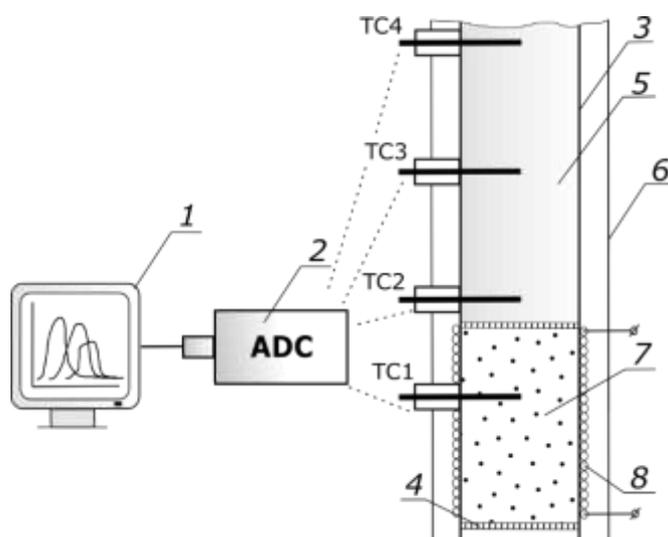


Рис. 1. Принципиальная схема лабораторной установки. 1 – ПК; 2 – АЦП; 3 кварцевый реактор; 4 – металлическая сетка; 5 – засыпка исследуемого горючего материала; 6 – теплоотражающий экран; 7 – инертный негорючий материал (кольца Рашига); 8 – электроспираль; ТП1-ТП4 – хромель-алюмелевые термомпары.

После прогрева электроспиралью инертной засыпки до заданной температуры осуществляли загрузку торфа. Далее происходило распространение фронта горения по длине реактора. Характеристики образцов торфа различных фракций приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики образцов торфа.

Фракция, мм	2-3	3-5	5-7	7-10
Проницаемость, м <sup>2</sup>	1.3*10e-8	2*10e-8	2.6*10e-8	5.3*10e-8
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	560	470	430	400

В таблице 2 представлен состав газообразных продуктов горения различных фракций торфа, а также максимальная температура и средняя скорость горения. С увеличением размера частиц происходит повышение максимальной температуры с примерно 500 до 900°С и скорости горения с 8 до 81 мм/ч. Увеличение размера частиц приводит к уменьшению сопротивления слоя засыпки, вследствие чего увеличивается расход воздуха. Увеличение расхода воздуха, в свою очередь, приводит к увеличению температуры и скорости горения торфа.

Таблица 2. Средние значения концентраций газообразных продуктов, максимальная температура и скорость горения различных фракций торфа.

Фракция, мм	Состав газообразных продуктов, об. %					T <sub>max</sub> , °С	V <sub>comb</sub> , мм/ч
	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>		
2-3	4.1	16.1	7.8	0.1	0.2	509	8
3-5	6.1	13.9	8.6	0.2	0.5	604	18
5-7	8.8	10.1	9.9	0.3	1.0	733	23
7-10	10.4	5.8	14.7	0.5	2.2	886	81

При увеличении проницаемости слоя торфа с 1.3\*10e-8 до 5.3\*10e-8 м<sup>2</sup> содержание CO<sub>2</sub> увеличивается с 4 до 10% об., CO увеличивается с 8 до 15% об., O<sub>2</sub> уменьшается с 16 до 6% об. Содержание метана увеличивается с 0.1 до 0.5% об., а водорода с 0.2 до 2.2% об. Горение торфа при естественной конвекции характеризуется невысокими значениями температуры (менее 900°С), что отражается на неполном расходовании кислорода воздуха.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №17-53-04091 бел\_мол\_а и Государственного задания ФАНО №0089-2014-0031 (государственная регистрация №01201361842).*

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИМЕДИЦИНСКОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МАГНЕТРОННОГО ОСАЖДЕНИЯ

Севостьянова<sup>1</sup> Т.М. школьница, Колмакова<sup>2</sup> А.А.

<sup>1</sup>- *Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение*

*Домодедовский лицей № 3, [tata\\_sev1048@mail.ru](mailto:tata_sev1048@mail.ru)*

<sup>2</sup>- *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской Академии наук, [fairy.anastasiya@mail.ru](mailto:fairy.anastasiya@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10056**

Развитие медицины тесно связано с развитием материаловедения. Создание новых и улучшение уже существующих материалов для изготовления медицинских изделий всегда являлось актуальной и жизненно необходимой задачей. Одним из направлений медицины, где материал играет решающую роль, является имплантология. Непосредственный контакт с организмом человека имплантатов предъявляет высокие требования к материалу его изготовления. Широкое распространение в медицине получил никелид титана для создания изделий типа «стент», служащих для расширения сужившихся полых органов человека. Несмотря на высокие механические свойства, ЭПФ, сверхэластичность, коррозионная стойкость и биосовместимость сплава является недостаточными, т.к. после имплантации в ряде случаев наблюдается выход ионов никеля, возникновение воспалительной реакции и повторного рестеноза [1-4].

В данной работе предлагается комплексный подход к решению этих проблем. Во-первых, это создание покрытия из биосовместимого тантала, препятствующего выходу ионов никеля из никелида титана и исключаяющего, таким образом, канцерогенное воздействие на организм человека. Во-вторых, применение биодеградируемых полимерных покрытий с возможностью контролируемого высвобождения лекарственного препарата, способных снизить или полностью устранить ряд послеоперационных осложнений в зоне имплантации: повторного сужения-рестеноза, возникновение воспалительной реакции и др.

Целью данной работы является создание биомедицинского композиционного материала «никелид титана-тантал-полимерный слой с введенным лекарственным препаратом» и исследование его механических свойств, коррозионной стойкости, скорости биодеградации полимерного слоя и кинетики выхода лекарственного препарата, а также биосовместимости полученного материала.

В качестве основы для композиционного материала использовали проволоку  $d=280$  мкм из никелида титана (никель 55,91 %, титан 44,09 %). Нанесение тантала осуществлялось методом магнетронного осаждения. Для изготовления полимерного покрытия использовали поли-D,L-лактид молекулярной массы 90 кДа. Навески полимера растворяли в хлороформе, вводили лекарственное средство и наносили полученный раствор на проволоку методом окунания. После чего образцы высушивались в течение 48 часов при температуре 37°С.

Исследование механических свойств проводили на универсальной испытательной машине INSTRON 3382 со скоростью 1 мм/мин. Определяли относительное удлинение, предел текучести и прочности при растяжении. Обработка результатов испытаний при определении характеристик механических свойств проводилась с помощью программного обеспечения INSTRON Bluehill 2.0. Погрешность измерений испытательной машины составляет 0,5 %.

Исследование коррозионной стойкости проводилось в растворах, имитирующих физиологические жидкости человека. Анализ проб изучался на последовательном атомно-эмиссионном спектрометре с индукционной плазмой фирмы «HORIBA Jobin Yvon» – модель «ULTIMA 2».

Изучение скорости биodeградации и кинетики высвобождения лекарственного средства проводили методом дифференциальной спектроскопии в видимой и ультрафиолетовой части спектра.

#### Список литературы:

1. Насакина Е.О., Баикин А.С., Сергиенко К.В., Севостьянов М.А., Колмаков А.Г., Гончаренко Б.А., Заболотный В.Т., Фадеев Р.С., Фадеева И.С., Гудков С.В., Солнцев К.А. Биосовместимость наноструктурного нитинола с поверхностными композиционными слоями из титана или тантала, сформированными методом магнетронного напыления // Доклады Академии наук, 2015, том 461, № 1, с. 49–52
2. Колмаков А.Г., Насакина Е.О., Севостьянов М.А., Баикин А.С., Леонова Ю.О., Сергиенко К.В., Заболотный В.Т. Материалы для медицинских изделий, обеспечивающих восстановление работы органов // Проблемы создания в России биосенсорных систем, используемых для лечения и непрерывной диагностики социально-значимых заболеваний / Агафонова Л.Е. [и др.]; под ред. Балякина А.А. – М., Два капитана. 2014. – 123 стр. с илл. – С. 31-35
3. E. O. Nasakina, A. S. Baikin, M. A. Sevost'yanov, A. G. Kolmakov, V. T. Zabolotnyi, K. A. Solntsev. Properties of nanostructured titanium nickelide and composite based on it // Theoretical Foundations of Chemical Engineering, 2014. - Volume 48, Issue 4. – P. 477-486
4. Nasakina E.O., Baikin A.S., Sevost'yanov M.A., Kolmakov A.G., Zabolotnyi V.T., Solntsev K.A. Properties of nanostructured titanium nickelide and composite based on it// Theoretical Foundations of Chemical Engineering, 2014. - V.48. №.4. - P.477–486.

# ПОВЕДЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ СЕРЫ ПРИ СЖИГАНИИ ШИН В РЕЖИМЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ

Цветкова Ю.Ю. молодой ученый, Кислов В.М., Пилипенко Е.В.

Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, [iulya@icp.ac.ru](mailto:iulya@icp.ac.ru)

DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10057

Анализ мирового опыта в отрасли утилизации изношенных автомобильных шин говорит о том, что все существующие на сегодняшний день методы имеют экономические и/или экологические проблемы. Захоронение резины приводит к загрязнению почвы из-за вымывания токсичных полиароматических углеводородов. Отработанная резина обладает высоким энергетическим потенциалом, который даёт возможность использовать её в качестве альтернативного топлива. Высокая токсичность продуктов сжигания шин предопределяет дорогую систему очистки, что снижает экономичность автопокрышки как энергоносителя. При сжигании автомобильных покрышек, в которых массовое содержание серы, как правило, составляет ~1.5-1.7 % основным газообразным серосодержащим продуктом является диоксид серы.

Цель работы заключалась в исследовании распределения соединений серы в продуктах газификации при сжигании автомобильных покрышек в фильтрационном режиме.

Эксперименты проводили в вертикальном цилиндрическом реакторе периодического действия, выполненном из кварцевого стекла, внутреннего диаметра 46 мм и длиной 800 мм (рис. 1).

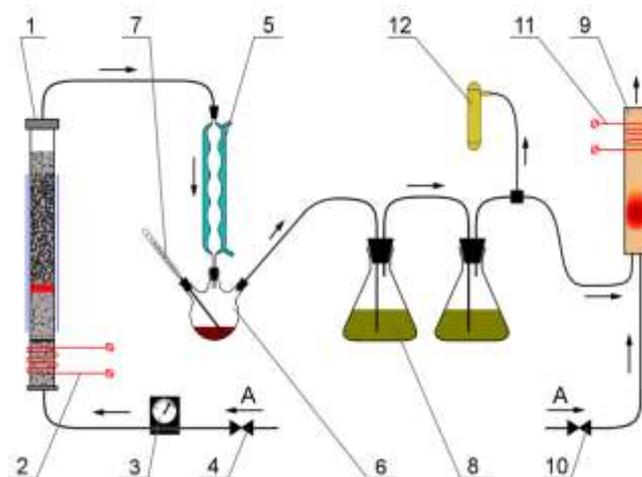


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки.

1 – реактор; 2 – электроспираль; 3 – ротаметр; 4 – вентиль подачи воздуха в реактор; 5 – водяной холодильник; 6 – колба для сбора смол; 7 – термометр; 8 – барботажные колбы; 9 – дожигатель горючих газов; 10 – вентиль подачи воздуха в дожигатель; 11 – электроспираль дожигателя; 12 – отбор проб газа для хроматографического анализа.

Были проведены две серии экспериментов, в которых в качестве горючего использовали частицы резины от автомобильной шины (Nexen Roadian) размером 10 мм. В качестве теплоносителя в одной серии экспериментов добавляли технический сапфир (кусочки размером 7-10 мм), в другой крошку мрамора (размер частиц 3-5 мм), способную химически связывать соединения серы.

После прогрева нижней части реактора подавали в неё воздух, что приводило к формированию волны горения, которая распространялась снизу вверх навстречу потоку твердой фазы.

Продукты газификации, выходящие из верхней части реактора, содержали пиролизные смолы (30-40% от массы резины). Их направляли сначала в водяной холодильник, в котором смолы частично оседали на стенках и стекали в приемную колбу. Далее продукты газификации через две последовательные барботажные колбы с 10% раствором  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (для поглощения кислых газов) направляли в дожигатель, где проводили дожигание оставшихся продуктов в потоке воздуха.

Элементный состав исходных частиц резины и образующихся из неё смол.

Исследуемый материал	Элемент, %				Зольность, %
	C	H	N	S	
резина	83.6	7.5	0.3	1.6	4.9
смола	86.6	11.3	0.2	1.1	-

Состав газообразных продуктов в обеих сериях экспериментов различается незначительно ( $\text{CO}_2$  – 13-15 %,  $\text{CO}$  – 12-14 %,  $\text{O}_2$  – 2-3 %,  $\text{CH}_4$  – 0.2-0.3 %,  $\text{H}_2$  – 1-1.3%). Значения температур у стенок реактора составляли  $\sim 850^\circ\text{C}$ , в центре реактора  $\sim 1050^\circ\text{C}$ . При этих температурах происходит частичное разложение  $\text{CaCO}_3$  до  $\text{CaO}$  с выделением  $\text{CO}_2$ , и поглощение диоксида серы как карбонатом, так и оксидом кальция. Хемосорбция  $\text{SO}_2$  возможна из газовой фазы или через жидкую фазу (при растворении диоксида серы в сконденсированной воде).

Результаты экспериментов показали, что в случае использования мрамора доля серы в зольном остатке составляла 40-45 %, что примерно в 2 раза больше, чем при использовании сапфира (20-25%). Эффективность улавливания соединений серы с помощью барботажных колб составляла 60-75%.

В случае использования в качестве добавки мрамора найдено больше количества серы в зольном остатке в связи с его способностью связывать серу. В сумме всех собранных продуктов газификации обнаружено 90% серы от её первоначального содержания. В случае использования сапфира удалось найти не более 70%.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного задания ФАНО №0089-2014-0031 (государственная регистрация №01201361842).*

# ИЗУЧЕНИЕ ИНЕРЦИИ ЗРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЗООТРОПА

*Лаврова<sup>1</sup> А.Е. школьница, Зарецкая<sup>1</sup> М.С., Львова<sup>2</sup> Г.Л.*

*<sup>1</sup> Муниципальное образовательное учреждение «Средняя образовательная школа № 75», Черногловка, [gale.19vova@mail.ru](mailto:gale.19vova@mail.ru)*

*<sup>2</sup> Институт проблем химической физики РАН, Черногловка*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10058**

Инерция зрения представляет собой неспособность сетчатки отвечать на частые колебания яркости света и сигнализировать о них. Увеличение частоты мелькания света приводит к оптическому обману зрения, при котором мелькание кажется непрерывным.

На феномене инерции зрения основана кинематография и мультипликация. Мы не видим промежутков между отдельными кадрами (24 кадра в 1 с в кино), так как зрительное ощущение от одного кадра длится до появления следующего. Это и обеспечивает иллюзию непрерывности изображения и его движения.

Стимуляция сетчатки яркими вспышками света может вызвать головную боль, тошноту. При частоте вспышек порядка 5-10 в секунду перед глазами могут появиться яркие цветные пятна, движущиеся и неподвижные фигуры, причем эффект может быть исключительно отчетлив. Возбуждение от освещённого объекта локально тормозит (адаптирует) определённые участки сетчатки. Реакция такого рода применяются в диагностических целях для выявления предрасположенности человека к приступам эпилепсии. Мелькание картинок или света с низкой частотой может представлять опасность для людей, склонных к приступам эпилепсии.

Определённые критические условия, при которых возникает феномен «инерции зрения», ухудшают состояние здоровья человека (снижение уровня внимания, головная боль, тошнота, приступы эпилепсии). В ходе нашей работы, для понимания этого явления, была создана действующая модель зоотропа. Было установлено время "инерции зрения", необходимое для возникновения зрительного ощущения, в среднем равное 0,03 - 0,1 с. Следует отметить, что это ощущение также исчезало не сразу после того, как прекращалось раздражение - оно держалось ещё некоторое время. Минимальная частота следования световых стимулов (например, вспышек света), при которой происходило объединение отдельных ощущений, при средних освещённостях, равнялась 10-15 вспышкам в 1 с. С увеличением освещённости, критическая частота слития мельканий уменьшалась. Полученные значения критической частоты слития мельканий и времени «инерции зрения», находятся в хорошем соответствии с литературными данными.

Таким образом, модель зоотропа, с контролируемой частотой вращения и освещённостью, позволила изучить явление «инерции зрения», определить

критическую частоту слипания мельканий, и определить время, в течение которого сохраняются раздражение сетчатки.

## ПОЛУЧЕНИЕ И ПЕРЕХОДЫ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ОКСИДОВ И ГИДРОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ.

*Козерожец И.В. молодой ученый, Семенов Е.А., Панасюк Г.П.*

*Институт общей и неорганической химии ИОНХ РАН, Москва,  
[irina135714@yandex.ru](mailto:irina135714@yandex.ru)*

DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10059

В настоящее время современная промышленность проявляет большой интерес к наноразмерным материалам, в связи с возможностью их широкого применения для увеличения экономической целесообразности производств. Целью данной работы является разработка нового метода получения наноразмерного порошка  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , заключающегося в последовательной термической обработке насыщенного раствора оксихлорида алюминия и сахарозы до температуры  $350^\circ\text{C}$ , с образованием переходной формы и затем до температуры  $800^\circ\text{C}$  с образованием наноразмерного порошка  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Характеристика переходной формы и наноразмерного порошка  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  представлена в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика переходной формы и наноразмерного порошка  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Характеристика	Переходная форма	Наноразмерный порошок $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$
Средний размер частиц	10 – 40 нм	10 – 40 нм
Коэффициент теплопроводности	0.04 Вт/(м·К)	0.02 Вт/(м·К)
Площадь удельной поверхности	<1 м <sup>2</sup> /г	200 м <sup>2</sup> /г
Удельный объем пор	-	0.089 см <sup>3</sup> /г
Насыпная плотность	0.03 г/см <sup>3</sup>	0.015 г/см <sup>3</sup>
Размер пор	-	1.87 нм

Наноразмерный порошок бемита ( $\text{AlOOH}$ ) получают при гидротермальной обработке наноразмерного порошка  $\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$  в 1,5 масс. % растворе  $\text{HCl}$  при разных температурах:  $200^\circ\text{C}$ ,  $170^\circ\text{C}$  и  $150^\circ\text{C}$ . Согласно данным РФА, переход наноразмерного порошка  $\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$  в 1,5 масс. % растворе  $\text{HCl}$  в наноразмерный порошок бемита при  $200^\circ\text{C}$  осуществляется за 2,5 ч.; при  $170^\circ\text{C}$  - за 12 ч.; при  $150^\circ\text{C}$  – за 36 ч. При этом синтезированный наноразмерный порошок бемита, независимо от температуры гидротермальной обработки, имеет идентичные характеристики (табл.2.).

Таким образом, в работе предложен новый метод синтеза наноразмерных порошков оксидов и гидроксида алюминия. Данный метод позволяет получать порошки  $\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{AlOOH}$  обладающие заданными свойствами.

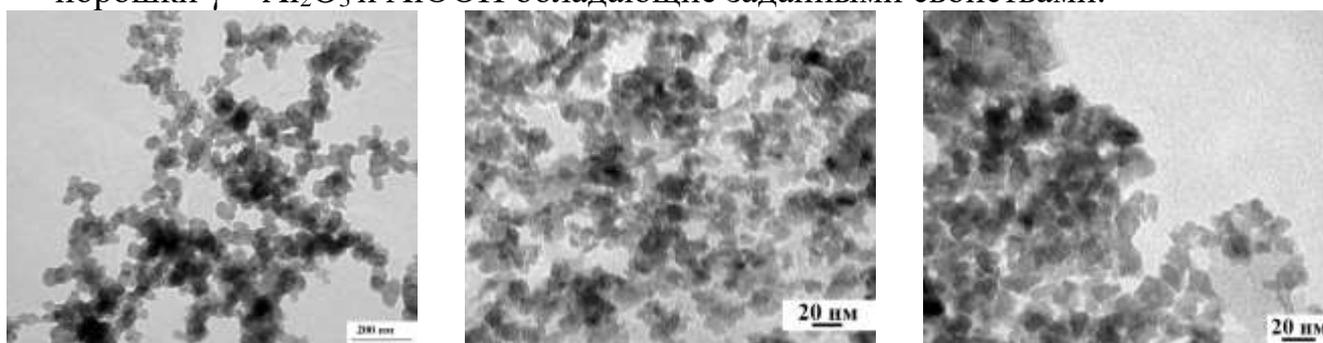


Рис. 1. ПЭМ–изображения бемита, полученного при гидротермальной обработке наноразмерного порошка  $\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$  при  $200^\circ\text{C}$  в 1,5% растворе  $\text{HCl}$  в течение 6 ч. (А); при  $170^\circ\text{C}$  в 1,5% растворе  $\text{HCl}$  в течение 24 ч. (В) и при  $150^\circ\text{C}$  в 1,5% растворе  $\text{HCl}$  в течение 72 ч (С).

Таблица 2. Свойства наноразмерного порошка бемита ( $\text{AlOOH}$ ).

	Бемит, полученный при гидротермальной обработке $\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$ в 1,5 масс. % растворе $\text{HCl}$ при		
	$200^\circ\text{C}$	$170^\circ\text{C}$	$150^\circ\text{C}$
Средний размер частиц	10-40 нм	10-40 нм	10-40 нм
Теплопроводность	0,02 Вт/(м·К)	0,02 Вт/(м·К)	0,02 Вт/(м·К)
Площадь удельной поверхности	65,32 м <sup>2</sup> /г	67,45 м <sup>2</sup> /г	66,34 м <sup>2</sup> /г
Размер пор	1,89 нм	1,89 нм	1,89 нм
Удельный объем пор	0,031 см <sup>3</sup> /г	0,033 см <sup>3</sup> /г	0,030 см <sup>3</sup> /г
Время полного превращения	2,5 ч.	12 ч.	36 ч.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТУХАНИЯ ВОЗДУШНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН, РАЗРУШАЮЩИХ ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

*Барсук Н.Д. молодой ученый, Головнева Е.Е., Калякин С.А.*

*Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет», Донецк, ДНР*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10060**

Воздушные ударные волны (ВУВ), образуются в подземных горных выработках в процессе производства взрывных работ или в аварийных ситуациях при взрывах взрывоопасной среды в угольных шахтах, опасных по газу и взрывам угольной пыли. Характерным действием ВУВ является их разрушающее действие на крепь подземных сооружений, горное оборудование и поражение людей. В угольных шахтах опасных по газу и пыли воспламенение пылевоздушных и метано-воздушных смесей может происходить как под действием прямых, так и отраженных ударных волн. Разрушение вентиляционных сооружений, перемычек ударными волнами приводит к нарушению вентиляционного режима выемочного участка шахты и может привести к недостатку воздуха и гибели шахтеров. Это требует срочного проведения ремонтно-восстановительных работ после взрывных работ и приводит к дополнительным материально-финансовым затратам.

Исследование и изучение затухания ударных волн в горных выработках, а также защита от их поражающего действия имеет важное научное и практическое значение. Это необходимо для определения опасных зон в горных выработках и разработки способов и средств защиты и гашения, сильных УВ, возникающих в горных выработках при взрывных работах. Особое значение имеет взрывозащита горных выработок при аварийных ситуациях, возникающих в результате взрыва газа метана и угольной пыли. Разработка способов и средств защиты горных выработок от разрушающего действия УВ значительно повысит устойчивость и сохранность горных выработок, а в аварийных ситуациях защитит шахтеров от поражающего действия УВ.

Для изучения процесса затухания ударной волны в горной выработке были проведены исследования, в основе которых положено физическое моделирование распространения УВ в каналах переменного сечения. В опытах использовали пластиковые ПВХ трубы различной длины (от 50 до 1400 мм) диаметром от 45 мм до 160 мм. Образование ВУВ в каналах труб осуществлялось взрыванием зарядов аммонита БЖВ различной массы от 50 г. до 100 г. В качестве забойки труб использовалась гипсопесчанная смесь длиной 10 см. Трубы подвешивались в горизонтальном положении к металлической балке под куполом взрывной камеры, так чтобы свободный от забойки конец трубы

упирался в тело баллистического маятника. Это позволяло определять полный импульс ударной волны. Скорость затухания скорости ударной волны в канале трубы на базах измерения определялась через временные интервалы, фиксируемые датчиками с помощью прибора измерения интервалов времени.

Были выбраны факторы определяющие параметры затухания ударной волны в каналах труб, которые кодировались в безразмерном виде. Определение функции затухания ударных волн в трубах от энергии взрыва аммонита и параметров каналов труб было осуществлено путем реализации полного факторного эксперимента (ПФЭ). Целью проведенного эксперимента являлось получение адекватного описания функции отклика ( $M$  - скорости ударной волны через числа Маха) в заданной части факторного пространства ( $R$  - относительное расстояние и  $Q$  - относительная энергия взрыва).

В ходе реализации плана лабораторных экспериментов были получены данные по скоростям ударных волн, а также зависимости скорости распространения ударной волны от относительного расстояния и относительной энергии взрыва

По итогам испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Затухание ударных волн зависит от относительного расстояния и относительной энергии взрыва и определяется функцией в виде неполных квадратных уравнений:

$$M = 3,32731 \ln Q \ln R - 2,65374 \ln Q - 10,0247 \ln R + 13,1024$$

2. Создание перемычек в каналах труб эффективно до определенного предела, если их число по длине канала трубы более четырех, то происходит полное гашение УВ.

3. Создание полостей расширений в каналах труб является более эффективным, чем сооружение передвижных перемычек по длине канала трубы.

## **ПРЕДЕЛЫ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ШАХТНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ**

**Глебо В.В. аспирант, Калякин С.А.**

*Донецкий национальный технический университет, Донецк, ДНР,  
[viktorglebko@gmail.com](mailto:viktorglebko@gmail.com)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10061**

Повышение интенсивности работы глубоких угольных шахт Донбасса связано с увеличением добычи угля и объема проводимых горных выработок. Это приводит к резкому увеличению выделений горючих газов из разрушаемого угля и образованию большого количества мелкой угольной пыли в призабойной

части горных выработок. В результате растут концентрации горючей метанопылевоздушной смеси в рабочей зоне проходческого оборудования, что повышает взрывоопасность горного производства и поэтому необходимо учитывать для разработки эффективных способов и средств взрывозащиты горных выработок.

На шахтах применяются различные способы и средства снижения интенсивности метановыделения и образования пыли. Однако, несмотря на все прилагаемые усилия, взрывы, связанные с воспламенением метана и угольной пыли, на шахтах продолжают происходить. Наиболее опасными являются тупиковые подготовительные выработки, проводимые по выбросопасным угольным пластам, в которых произошло наибольшее число взрывов, более 74 % от всех взрывов в шахтах.

Цель работы является исследование взрывоопасности многокомпонентных смесей из воздуха, горючих газов и угольной пыли, в виде шахтного аэрозоля для установления пределов воспламенения и разработки способа взрывозащиты во время проходческого цикла.

Анализ аварий, связанных с взрывами на угольных шахтах показал, что большое количество взрывов метана на шахтах Донбасса, России и за рубежом в забоях подготовительных горных выработках происходит вследствие опасных шахтных аэрозолей, состоящих не только из метана, угольной пыли и воздуха, но и тяжелых углеводородов, водорода и ацетилена. Взрывоопасность таких сложных многокомпонентных смесей изучена крайне недостаточно. Известно, что взрывоопасная смесь горючих с воздухом образуется в двух случаях:

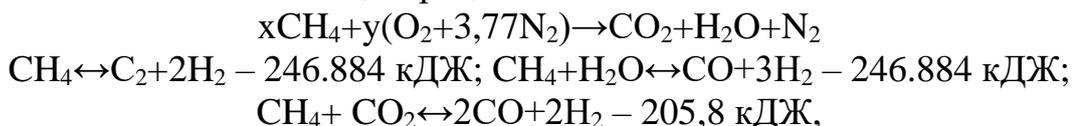
- при недостаточной вентиляции забоев свежим воздухом во время разрушения горного массива;
- при чрезмерном неуправляемом процессе выделения горючих газов и угольной пыли в выработку, например, при внезапном выбросе угля и газа.

Чтобы предотвратить подобные взрывы необходим действенный безинерционный мониторинг газовой атмосферы в горных выработках и быстродействующие системы взрывозащиты. Для этого необходимо знать пределы воспламенения шахтных аэрозолей в зависимости от их состава газов и концентрации не только горючих газов, но и угольной пыли.

В соответствии с этим была поставлена задача по исследованию изменений концентрационных пределов воспламенения многокомпонентных шахтных аэрозолей в зависимости от содержания в них угольной пыли, метана, кислорода, азота и других горючих газов, составляющих шахтную атмосферу рабочей зоны, в которой происходит разрушение горного массива.

На первом этапе решаемой задачи, были рассчитаны критические адиабатические температуры воспламенения взрывоопасной среды. По известным данным, для нижнего и верхнего концентрационных пределов воспламенения горючего газа и угольной пыли, была рассчитана критическая температура воспламенения для многокомпонентного шахтного аэрозоля. Установить зависимость изменения концентрационных пределов шахтного аэрозоля от содержания в атмосфере горной выработки кислорода и азота,

предполагается решить, используя известные уравнения реакций горения метана в воздухе, в зависимости от концентрации метана:



в дальнейшем подобные задачи необходимо решить для каждого горючего газа и угольной пыли в отдельности. В конечном виде решение задачи видится в определении интегральной критической температуры для сложной смеси, которая представляет собой шахтный аэрозоль. По этой температуре можно будет установить пределы воспламеняемости шахтного аэрозоля и таким образом контролировать состав атмосферы в рабочей зоне горной выработки.

Следовательно, решаемая задача для дальнейших исследований позволит сформулировать принципы взрывозащиты в горной выработке, основанные на взрывопредупреждении, то есть управлении составом атмосферы в пределах невозможности шахтного аэрозоля воспламениться и взрываться.

На основании полученных результатов, разработана математическая модель расчета адиабатической температуры горения сложного шахтного аэрозоля в воздухе.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ ПРОТИВ ВРЕДНЫХ САРАНЧОВЫХ ВРЕДИТЕЛЕЙ В КАЗАХСТАНЕ**

*Канаев А.Т., Акмуллаева А.С. молодой ученый*

*Жетысуский государственный университет им. И. Жансугурова, научно-исследовательский институт проблем биотехнологии, Казахстан, Талдыкорган, [meirhan2009@mail.ru](mailto:meirhan2009@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10062**

В последние годы, на территории Республики Казахстан проводились небывалые по своим масштабам химические обработки против саранчовых вредителей, что, несомненно, оказало негативное воздействие на окружающую среду. В связи с этим, на сегодняшний день, возникает необходимость защиты сельскохозяйственных культур от вредных саранчовых методами, позволяющими ограничить объемы применения химических инсектицидов. Особенно, необходимо такое ограничение в очагах саранчовых, связанных с озерами, водоемами, плавнями рек, пастбищами и т.д., так как сохранение их экологически чистыми приобретает первоочередной характер.

Одним из путей снижения объема обработок химическими препаратами может быть введение в комплекс защитных мероприятий биологических средств

защиты, в первую очередь микробных биоагентов. Биологический метод борьбы против вредных саранчовых в республике не применялся. Чтобы восполнить этот пробел, с 2010 года нами начаты испытания биопрепаратов против азиатской саранчи и итальянского пруса и нестадных видов саранчовых на юго-востоке и севере Казахстана.

В 2016-2017 гг. в Алматинской, Западно-Казахстанской, Акмолинской и Павлодарской областях Казахстана проводились полевые испытания биопрепаратов Nolo (производство КНР) против азиатской саранчи, итальянского пруса и нестадных видов саранчовых. Следует отметить, что в 2017 году биопрепарат Nolo испытывался второй год.

Норма расхода Nolo – 0,001 л/га, расход рабочей жидкости 12,0 л/га. Кроме того, в рабочий раствор добавлялся сахар из расчета 0,36 кг/га. Норма расхода Green Muscle® составила 2,0 л/га, способ применения – УМО. Учеты биологической эффективности проводились на 14 и 24 сутки – для Nolo, и на 7.

В качестве эталонов использовались две формуляции димилина – 48% с.к., 0,02 л/га и ОФ-6, 6% м.с., 0,15 л/га.

Полевые испытания Nolo против азиатской саранчи, итальянского пруса и нестадных видов саранчовых показали положительные результаты. Так, оба препарата на 14 и 24 сутки после обработки вызывали пораженность и гибель азиатской саранчи на 33,7 – 36,2 и 41,2 – 51,5% соответственно.

На вариантах опыта, где применялся Nolo, проведены наблюдения за поведением личинок и взрослых особей азиатской саранчи. Наблюдениями установлено, что 32,0 – 45,0% зараженных Nolo взрослых особей азиатской саранчи перестали употреблять кормовые растения. В период миграции зараженные особи за световой день (примерно с 10<sup>00</sup> до 20<sup>00</sup> часов) перелетали расстояние всего на 600-800 м, в то же время здоровые особи мигрировали на расстояние более 10 км.

В 2017 году на побережьях оз. Балхаш вблизи аула Куйган (Балхашский район Алматинская область), где в прошлом году проводилась обработка Nolo, отмечено, что у зараженных особей яйцекладка снижалась на 40,0-64,0%, а выход личинок из яиц составлял менее 35,0%.

Наблюдения и учеты, проведенные на опытах, где препарат Nolo применялся против итальянского пруса показывают, что примерно на 10-12 день началось снижение активности питания саранчовых, и уже появились погибшие особи. Учет, проведенный на 14 сутки, свидетельствует о том, что 21% личинок погибли. В дальнейшем эффективность препарата увеличивалась и на 24 сутки составила 34,5%. Однако, также как и в 2016 году, испытание препарата проводилось при неблагоприятных погодных условиях. В летний период были частые дожди с резким перепадом температуры днем (23-25<sup>0</sup>С) и ночью (до 7-9<sup>0</sup>С). В таких условиях саранчовые были малоподвижными и активность питания у них значительно снижалась.

# ИССЛЕДОВАНО ВЛИЯНИЕ ЗВУКОВ ШУМОВОГО ПОТОКА НА ЛЮДЕЙ В НЕКОТОРЫХ РАЙОНАХ г. ТАЛДЫКОРГАНА (КАЗАХСТАН)

*Канаев А.Т., Аскарбекова К.Б. молодой ученый, Абдилдаулы А., Сердалин А.*

*Жетысуский государственный университет им. И. Жансугурова, научно-исследовательский институт проблем биотехнологии, Казахстан,  
Талдыкорган, [kenzhegul.askarbekova@mail.ru](mailto:kenzhegul.askarbekova@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10063**

В наше время человек подвержен такому количеству опасных воздействий, что порой не замечает, как они становятся обычными делом в окружающем его мире. Однако степень вредного воздействия неблагоприятных факторов на нас не становится меньшей от того, насколько мы к ним привыкли.

С позиции физики, шум представляет собой случайный набор частотных колебаний. Если быть абсолютно точным, то шум может быть не только звуковым, однако, поскольку в данном случае мы говорим о звуковом воздействии, будем рассматривать шум, как набор звуковых колебаний, причем, не обязательно находящихся в пределах воспринимаемого человеческим ухом диапазоне.

Над нами возник вопрос: как звуки влияют на людей и как сохранить слух надолго?

Мы поставили перед собой цель: изучить вопрос о том, как звуки влияют на нашу жизнь. В том числе определения уровень шума областного центра Алматинской области г.Талдыкоргана.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

Изучить причину возникновения звуков в окружающей среде.

Выяснить причины ухудшения самочувствия людей при повышенных звуковых колебаниях.

Узнать, как сохранить хороший слух и хорошее самочувствие.

Методы исследования: анализ, наблюдение, сравнение, обобщение, практические опыты, эксперименты, изучение литературы.

Предмет исследования: для измерения уровень шума использовали «Шумомер testo 815».

Объектом исследования являлись территория аккумуляторного завода «Кайнар-АКБ», а также промышленная зона второго аккумуляторного завода «ZHERSU-Power». В районе центрального парка, которая расположено в центре города, а также из трех точек микрорайона «Каратал», которое расположено на восточной стороне города Талдыкорган вдоль реки Каратал. Объектом для исследования южной стороны города являлись точки которые находились во втором и седьмом микрорайонах. В период с 20 октября по 13 декабря 2017 года уровень шума города Талдыкоргана измеряли два раза в сутки.

Уровень шума измеряют в децибелах – это величина, показывающая во сколько раз один параметр, превышает другой, в нашем случае — шумомеры показывают во сколько раз уровень шума больше нулевого уровня, т.е., полной тишины.

Экспериментные методы основаны на принятии эвристических решений, базой для которых служат знания и опыт, накопленные экспертами в конкретной области. Эти эвристические методы отличаются от расчетных методов, основанных на решении формализованных задач. Достоинством этих методов является то, что они позволяют принимать решения, когда более объективные методы неприемлемы. К другим достоинствам относится их воспроизводимость.

Исходя из проведенных исследований в городе Талдыкорган, путем измерения ежедневно 2 раза в день уровень шума, можно сделать вывод что уровень шума изменяется в диапазоне от 38 мин/с до 98 мин/с. По результатам исследования можно сказать, что все показатели в норме и соответствуют стандартам микроклимата. Но для уменьшения шумового потока на улицах необходимо разрабатывать санитарные нормы и правила, а также государственные стандарты, такие как ГОСТ 19358-85 внешний и внутренний шум автотранспортных средств. Допустимые уровни и методы измерений, в котором установлены предельно допустимые уровни шумов, издаваемых автотранспортными средствами, способы их снижения. Так же необходима разработка системы штрафов. А также для нормирования шума в помещениях разработаны санитарные нормы допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки. Настоящие санитарные нормы устанавливают допустимые уровни шума, проникающего в помещения жилых и общественных зданий от внешних и внутренних источников, и допустимые уровни шума на территории жилой застройки.

# РОЛЬ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА УКОРЕНЕНИЕ ЗЕЛЕННЫХ ЧЕРЕНКОВ КОМНАТНЫХ РАСТЕНИЙ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ

Канаев А.Т., Жакупжанова М.Ф. молодой ученый, Камбарова А.

Научно-исследовательский институт проблем биотехнологии  
Жетысуского государственного университета им. И. Жансугурова,  
Талдыкорган, Казахстан, [madina.zhakupzhanova@gmail.com](mailto:madina.zhakupzhanova@gmail.com),  
[kambarova.aigerim.zh@gmail.com](mailto:kambarova.aigerim.zh@gmail.com)

DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10064

Зеленое черенкование, как один из эффективных способов размножения растений, основан на способности зеленых черенков формировать придаточные корни. Применение регуляторов роста с оптимальным периодом заготовки зеленых черенков способствует значительному повышению укореняемости растений [1]. Рост обусловлен наследственностью и управляется с помощью специфических физиологически активных веществ – фитогормонов и ингибиторов. Большую роль в регуляции роста растений с помощью фитогормонов играет их концентрация [2].

Целью исследования служило изучение влияния регуляторов роста на корнеобразовательную способность зеленых черенков комнатных растений.

*Объекты и методы исследований.* Экспериментальные исследования были выполнены в научно-исследовательском институте проблем биотехнологии Жетысуского государственного университета им. И. Жансугурова.

Маточными растениями служили многолетние комнатные особи из коллекции декоративных насаждений лаборатории агrobiотехнологии относящиеся к разным группам по степени укореняемости зеленых черенков (таблица 1).

Таблица 1. Степень укореняемости исследуемых растений зелеными черенками (по данным Тарасенко М.Т., 1991, Поликарповой Ф.Я., Пилюгиной В.В., 1991, Комиссарова Д.А., 1964)

№	Степень укореняемости растений	Процент укореняемости	Исследуемые виды растений
1	Легкоукореняемые	0-30 %	Citrus limon (L.) Burm.f. Euonymus japonicus Thunb.
2	Среднеукореняемые	40-60 %	Clerodendrum thomsoniae Balf. Citrus Limon Genoa (L.) Burm.f. Citrus meyeri (Lorange)
3	Трудноукореняемые	70-100 %	Ficus benjamina L. Citrus reticulata Blanco.

Технологию зеленого черенкования проводили по общепринятой методике [3]. Опыт был проведен в нескольких вариантах с применением различных регуляторов роста. В качестве контрольного варианта служили черенки без обработки ростовыми веществами. Подробная характеристика регуляторов роста и их применение изложены в таблице 2.

Таблица 2. Обработка исследуемых растений регуляторами роста

№	Варианты опыта	Действующее вещество	Концентрация	Время выдержки в растворе
1	Контрольный	Без обработки регуляторами роста	-	-
2	Обработка гетероауксином	Индолилуксусная кислота (ИУК)	500мл / 0,20 гр	16-18 часов
3	Обработка корневином	Индолилмасляная кислота (ИМК)	500 мл / 1 гр	12-15 часов
4	Обработка цирконом	Смесь гидроксикоричных кислот	1 л / 1 мл	18-20 часов

Высаженные черенки после опрыскивания были помещены в климатическую камеру (КК-350, POL-EKO-APARATURA, Польша). В климатической камере была установлена программа автоматического полива для создания искусственного тумана, которая поддерживала необходимую влажность (80-90 %) и оптимальную температуру (23-25 градусов) для укоренения декоративных растений. Процесс укоренения черенков в камере составил 3 недели.

Полученные результаты исследований были обработаны общепринятыми в биологии статистическими методами с определением средней арифметической и ее ошибки [4]. Опыт проведен в трехкратной повторности.

*Обсуждение результатов.* На всех исследуемых растениях обработка регуляторами роста способствовала повышению корнеобразовательной способности зеленых черенков, при этом положительное влияние ростовых веществ наблюдалось на легко-, средне- и трудноукореняемых видах.

Наиболее эффективным действием на корнеобразовательную способность зеленых черенков легкоукореняемого вида *Euonymus japonicus Thunb.* обладал циркон, действующим веществом которого является смесь гидроксикоричных кислот. Для группы трудноукореняемых видов декоративных растений стимулирующее действие на образование придаточных корней оказали корневин и гетероауксин. Для вида *Ficus benjamina L.* наиболее эффективным был корневин, содержащий индолилмасляную кислоту, а для вида *Clerodendrum thomsoniae Balf.* высокую эффективность показал регулятор роста гетероауксин с действующим веществом в форме индолилуксусной кислоты. При обработке регулятором роста гетероауксином с действующим веществом в форме индолилуксусной кислоты все зеленые черенки вида *Citrus limon (L.) Burm.f.*

образовали жизнеспособные корни (100 %). На укореняемость зеленых черенков вида *Citrus reticulata* Blanco. Наибольший эффект оказала обработка гетероауксином (50 %). А на вид *Citrus meyeri* (Lorange) все регуляторы роста повысили укореняемость зеленых черенков (гетероауксин – 80 %, корневин – 60 %, циркон – 40 %) по сравнению с контролем. Для вида *Citrus Limon Genoa* (L.) *Vurm.f.* наиболее эффективное воздействие оказал циркон (66,7 %) с действующим веществом в форме смеси гидроксикоричных кислот.

*Выводы.* При размножении растений путем зеленого черенкования различные виды регуляторов роста, имеющие разные действующие вещества, оказывают разное влияние на корнеобразовательную способность декоративных растений. Для конкретных видов декоративных растений необходимо проводить подбор регуляторов роста. При проведении опытов были использованы регуляторы роста, известные и имеющиеся в торговой сети, поэтому их применение будет актуальным не только для специалистов в области озеленения, и, но и широкого круга цветоводов-любителей.

Список литературы:

1. Тарасенко, М. Т. Зеленое черенкование садовых и лесных культур / М. Т. Тарасенко. – М.: Изд-во МСХА, 1991. – С. 272.
2. Фаустов, В. В. Биологические основы технологии зеленого черенкования садовых культур. Автореф. докт. дис. / В. В. Фаустов. – М., 1991. – С. 196.
3. Поликарпова, Ф. Я., Пилюгина В.В. Выращивание посадочного материала зеленым черенкованием / Ф. Я. Поликарпова, В. В. Пилюгина. – М.: Росагропромиздат, 1991. – 94 с.
4. Зайцев, Г. Н. Математика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев; отв. ред. В. Н. Былов; АН СССР. Гл. бот.сад. – М.: Наука, 1990. – С. 305.

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

*Канаев А.Т., Спабекова А.С. молодой ученый, Турганов З.Т.*

*Научно-исследовательский институт проблем биотехнологии  
Жетысуского государственного университета им. И. Жансугурова,  
Талдыкорган, Казахстан, [adispa@mail.ru](mailto:adispa@mail.ru), [zangar.turganov@mail.ru](mailto:zangar.turganov@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10065**

Одним из перспективных направлений разработки новых керамических материалов, включая огнеупорные, является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Металлотермические окислительно-

восстановительные реакции, протекающие в волне горения, характеризуются высокими температурами и тепловыми эффектами. Температуры синтеза достигают 1600–3000 °С. При таких температурах происходит образование тугоплавких оксидных соединений и солей, представляющих практический интерес как огнеупорные материалы. Систематические исследования твердофазного металлотермического горения оксидных систем с целью разработки новой технологии производства огнеупоров выполнены в Институте проблем горения под руководством Г.И.Ксандопуло и М.Б.Исмаилова. Результатом этих исследований явилось создание СВС-технологии огнеупоров «ФУРНОН», которая получила в настоящее время достаточно широкое практическое применение при ремонте футеровки высокотемпературных тепловых агрегатов – печей обжига известняка и цемента, печей прокалики кокса и анодной массы.

В работе проведены испытания на огнеупорность, прочность на сжатие и на термостойкость синтезированных образцов на основе карбидкремниевых огнеупорных масс, применяемых на различных тепловых агрегатах черной металлургии.

Для исследования возможности синтеза и условий самоспекания были отобраны четыре образца огнеупорных смесей. Для увеличения внутренней энергии при спекании, были приготовлены образцы огнеупорных смесей с добавками алюминиевого порошка ПА-4, связующего раствора сульфата магния, и иницирующей добавки фторида кальция.

Для выполнения экспериментальных работ использовались следующие компоненты: сухие огнеупорные смеси на основе карбидкремниевых масс, применяемых на различных тепловых агрегатах черной металлургии, порошок алюминия марки ПА-4, сульфат магния семиводный, флюорит ( $\text{CaF}_2$ ). Дисперсность компонентов составляла менее 90 мкм.

Качественный и количественный состав синтезированных продуктов исследовали методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОН-4М. На рисунке 1 представлена характерная рентгенограмма одного из образцов. Все образцы близки по составу, содержат оксиды алюминия и кремния, карбид кремния, а также некоторые образцы элементарный углерод и кремний.

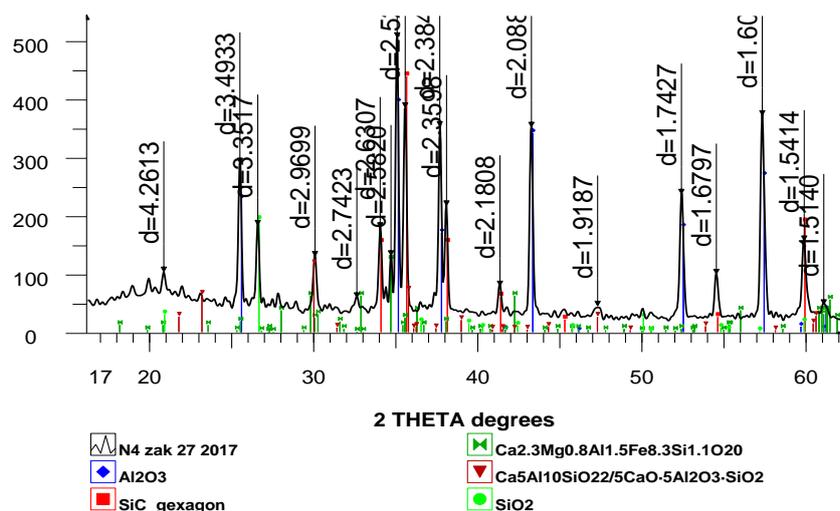


Рис. 1. Рентгенограмма образца ДП2 ТОРКРЕТ масса VН72НО.

Проведенные исследование показали, что почти все образцы хорошо спекаются при температурном воздействии, значительно увеличивают прочностные характеристики. Оптимальное количество алюминиевого порошка составляет 8%. Дальнейшее увеличение алюминия приводит к ухудшению прочностных свойств. Также при добавлении  $Al_{пa4}$  на огнеупорные материалы не повлияло прочность при сжатии, но значительно повлияло на термостойкость образцов. Также можно сказать, что есть определенное количество добавки, который влияет на свойство огнеупорного материала скажем больше 10%  $Al_{пa4}$  уменьшает свойству выдержки на термостойкость. При исследовании на огнеупорность все образцы показали хороший результат более 1800° С. То есть, максимальные значения получены для образца № 7 ДПЗ набивная масса DR 30 «Везуви»  $Al_{пa4}$ - 8%,  $MgSO_4$ -6%,  $CaF_2$ - 2%: прочность при сжатии 27 МПа, термостойкость 20 теплосмен, огнеупорность более 1800°. Проведенные исследование показали, что почти все образцы хорошо спекаются при температурном воздействии, значительно увеличивают прочностные характеристики.

# СВС-ЭКСТРУЗИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОДОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ, УПРОЧНЕННОЙ КАРБИДАМИ И БОРИДАМИ

*Чижигов А.П. молодой ученый, Бажин П.М., Столин А.М.,  
Константинов А.С.*

*Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения  
им. А.Г. Мерджанова Российской академии наук, [chij@ism.ac.ru](mailto:chij@ism.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10066**

Оксид алюминия на сегодняшний день является одним из самых распространенных материалов для производства технической керамики благодаря своей высокой прочности, твердости, коррозионной стойкости и высокой рабочей температуре. Однако из-за хрупкости и низкой трещиностойкости применение оксида алюминия в промышленности ограничено. Улучшить эксплуатационные свойства керамики на основе  $Al_2O_3$  можно за счет введения различных упрочняющих фаз и создания керамических композиционных материалов.

Одним из таких композиционных материалов является  $Al_2O_3$ -SiC, который сочетает в себе полезные свойства как оксида алюминия, так и карбида кремния, а именно высокий предел прочности на изгиб, высокую твердость, отличную коррозионную стойкость и тд. Карбид кремния благодаря своей высокой теплопроводности в сочетании с низким коэффициентом линейного расширения и высокой прочностью обладает отличной способностью сопротивляться термоудару, что позволяет скомпенсировать низкую термостойкость оксида алюминия. Однако, с другой стороны, карбид кремния не отличается высокой вязкостью разрушения, что делает его чувствительным к наличию дефектов. Повысить вязкость разрушения карбида кремния можно за счет введения боридов и карбидов переходных металлов, например, TiC, TiB<sub>2</sub>. Диборид титана обладает такими свойствами, как высокая твердость, температура плавления и теплопроводность, а также хорошая способность сопротивляться воздействию расплавленных металлов, необходимыми для высокотемпературной технической керамики. Введение частиц TiB<sub>2</sub> в матрицу SiC позволяет улучшить механические свойства карбида, а также конечную структуру синтезируемого композита. Введение частиц диборида титана положительно сказывается как на свойствах карбида кремния, так и матрицы из оксида алюминия.

На сегодняшний день композиционные материалы  $Al_2O_3$ -SiC, TiB<sub>2</sub>-SiC были получены различными методами, однако наиболее широко используется высокотемпературное спекание с порошками  $Al_2O_3$ , SiC и TiB<sub>2</sub> в качестве исходных материалов. Однако данный метод имеет ряд недостатков, таких как высокая трудоемкость, энергозатратность и неоднородность распределения структурных составляющих.

Данная работа направлена на получение керамических электродных материалов на основе системы  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiB}_2\text{-SiC}$  в результате сочетания процессов горения в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и последующего пластического деформирования, реализованного в методе СВС – экструзии. В работе проведены измерения характеристик горения исследуемого материала, изучен фазовый состав и микроструктура полученных материалов, а также физико-механические свойства.

## **ВЛИЯНИЕ МАССОВЫХ СООТНОШЕНИЙ КОМПОНЕНТ НА РЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ШИХТОВОЙ СМЕСИ Ti-B**

*Константинов А.С. аспирант, Бажин П.М., Столин А.М., Боков А.В.*

*Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения  
РАН, Черноголовка, [konstanta@ism.ac.ru](mailto:konstanta@ism.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10067**

Композиционные материалы с титановой матрицей обладают высокой прочностью при комнатной и умеренно повышенной температурах. Одним из перспективных способов получения металлокерамического композита на основе системы Ti-B является метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). СВС характеризуется большой энергетической эффективностью, высокой чистотой продуктов синтеза и высокой скоростью производства. Однако высокая пористость композитов после СВС (до 50%) требует дополнительного высокотемпературного прессования, при котором композит может разрушаться.

В ИСМАНе, в лаборатории пластического деформирования, разработан технологический процесс СВС-экструзии, сочетающий горение в режиме СВС со сдвиговым деформированием. Этот метод обеспечивает синтез материала и получение изделия в одной установке и соединяет в себе достоинства как экструзии (возможность получения изделий нужного профиля с минимальной последующей обработкой), так и других СВС-технологий (экономичность, простота оборудования, малое время процесса, отсутствие необходимости высоких усилий при деформировании, отсутствие энергозатрат на внешний нагрев заготовки). Как и в классической порошковой металлургии, так и в технологии СВС, применяется предварительное холодное прессование шихтовых порошковых смесей. Плотность шихтовой пеллеты оказывает сильное влияние на скорость и температуру горения. А их повышение позволяет расширить интервал пластичности, столь необходимый для получения качественного бездефектного изделия. При низких значениях плотностей

реакционная поверхность контакта между частицами порошка мала, а, следовательно, малы скорость и температура горения. При больших значениях плотностей увеличение кондуктивного теплоотвода из зоны реакции также приводит к снижению характеристик процесса горения. Таким образом, из условия полноты реакции при горении и синтеза материала предварительное прессование заготовок должно обеспечивать оптимальное значение плотности шихтовой заготовки.

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

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

## **ФЕРРИОКСАЛАТ КАЛИЯ – РЕАГЕНТ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА УФ И ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА**

***Тихонова<sup>1</sup> В.И. школьница, Ли<sup>2</sup> В.М.***

*<sup>1</sup>- Школа № 82, Черноголовка*

*<sup>2</sup>- ИПХФ РАН, Черноголовка, [leevit@icp.ac.ru](mailto:leevit@icp.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10068**

В связи с распространенностью фотохимических процессов в природе (фотосинтез, фотоизомеризация родопсина, образование озонового слоя

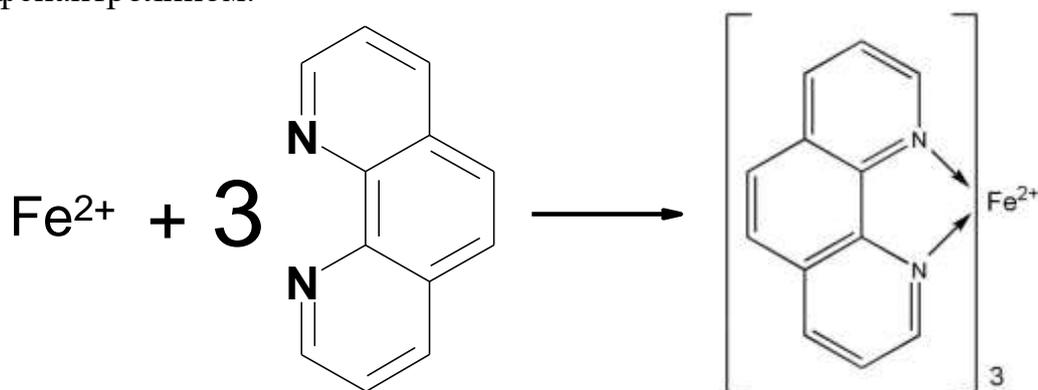
атмосферы Земли) и их высокой практической значимостью актуальной задачей является измерение интенсивности света УФ и видимого диапазона, что позволяет измерять квантовые выходы исследуемых фотопревращений. Чаще всего измерение абсолютной интенсивности света производится с помощью химических актинометров – соединений, для которых квантовый выход реакции достоверно известен в широком диапазоне длин волн и не зависит от интенсивности света и температуры.

Наилучшим и наиболее часто используемым химическим актинометром является триоксалатоферрат(III) калия (ферриоксалат калия, ФОК), так как он поглощает свет в широком диапазоне длин волн (250 – 580 нм) и имеет высокие квантовые выходы. Ферриоксалатный актинометр представляет собой раствор тригидрата соли  $K_3Fe(C_2O_4)_3 \cdot 3H_2O$  в 0.05 М серной кислоте. Под действием света в нем происходит фотовосстановление трехвалентного железа до двухвалентного состояния, а оксалат-ион при этом окисляется до  $CO_2$ .

Целью данной работы является синтез ФОК и измерение с его помощью интенсивностей света ртутной лампы на разных длинах волн (365 и 405 нм).

Синтез тригидрата ФОК осуществляли смешиванием трех объемов 1.5 М раствора  $K_2C_2O_4$  и одного объема 1.5 М раствора  $FeCl_3$ , полученный светло-зеленый осадок отфильтровывали и три раза перекристаллизовывали из теплой воды и высушивали при 45 °С. Целевой продукт был получен с выходом 26 % в виде светло-зеленых кристаллов, его состав был подтвержден данными элементного анализа.

Далее, синтезированное соединение было использовано для определения интенсивности источников света УФ (365 нм) и видимого (405 нм) диапазона. Метод определения основан на линейной зависимости концентрации образовавшегося комплекса железа (II), которая измерялась спектрофотометрическим методом, от времени облучения исследуемого раствора при малых временах облучения. Двухвалентное железо, которое образуется при фотолизе, дает окрашенный комплекс  $Fe(phen)_3$  с 1,10-фенантролином.



Интенсивность окраски раствора  $Fe(phen)_3$  прямо пропорциональна концентрации  $Fe(II)$  и не зависит от величины pH в интервале от 2 до 9. Измеряя интенсивность окраски этого комплекса в зависимости от времени облучения реакционной смеси, можно определить количество образовавшихся в результате фотохимической реакции ионов  $Fe^{2+}$ .

Количество образовавшегося двухвалентного железа в молях определяли по формуле:

$$N_{Fe^{2+}} = 10^{-3} \cdot \frac{V_1 \cdot V_3 \cdot A}{V_2 \cdot l \cdot \varepsilon} \quad (1),$$

где  $A$  – оптическая плотность раствора комплекса при 510 нм;  $\varepsilon$  – молярный коэффициент поглощения фенантролинового комплекса Fe(II) при 510 нм, равный  $1.1 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ;  $l$  – длина оптического пути в см,  $V_1$  – объем облученного раствора актинометра в мл,  $V_3/V_2$  – коэффициент разбавления.

Интенсивность света (количество квантов в единицу времени, отнесенное к единичной площади) с помощью химического актинометра определялась по количеству продукта фотохимической реакции с заранее известным квантовым выходом:

$$I = \frac{N_{Fe^{2+}}}{\Phi \cdot t \cdot s \cdot \alpha} \quad (\text{Эйнштейн} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}) \quad (2),$$

где  $\Phi$  – квантовый выход распада ферриоксалата калия на длине волны облучения,  $s$  – площадь облучаемого раствора в  $\text{см}^2$ ,  $\alpha$  – доля поглощенного света. В результате проведенных экспериментов по облучению растворов актинометра светом с  $\lambda = 365$  и 405 нм были получены следующие значения интенсивностей  $I_{365} = 1.95 \cdot 10^{-9}$  Эйнштейн  $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  и  $I_{405} = 8.4 \cdot 10^{-10}$  Эйнштейн  $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Таким образом, в настоящей работе нами был синтезирован ферриоксалат калия и с помощью этого соединения были определены интенсивности источников УФ и видимого света.

## ГОРУБСО ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

*Ковальский В.А. школьник*

*МОУ СОШ №82, Черноголовка, [tatiana76@iem.ac.ru](mailto:tatiana76@iem.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10069**

Много путешествуя по Болгарии, я часто видел разные здания, на которых встречалась эмблема в виде двух скрещенных молотков и буквами ГОРУБСО. Мой научный руководитель работает с учеными из Болгарии, в том числе в последнее время с людьми из ГОРУБСО, привезено большое количество образцов. В своем проекте я хочу показать, что представляет ГОРУБСО, его историю, развитие и минеральное разнообразие.

Что же такое ГОРУБСО? Это аббревиатура, которая расшифровывается так: горно-рудное болгаро-советское общество. К Западно-Балканской и Восточно-

Балканской зонам приурочены месторождения руд железа, меди, свинца, цинка, залегающие среди карбонатных пород триаса, а также месторождения кам. угля верхнемелового возраста. Родопский срединный массив занимает юго-вост. часть Балканского п-ова и представляет собой древний консолидированный участок земной коры, сложенный докембрийскими породами. В палеозое - мезозое массив претерпел поднятие, сменившееся в верх. эоцене опусканием, во время к-рого во впадинах накопилось до 2000 м осадков. На С. Родопский массив обрывается крутым высоким уступом по Марицкому глубинному разлому. С Родопским срединным массивом связаны свинцово-цинковые месторождения Маданского рудного района, флюорита и др. К Крайштинской зоне приурочены свинцово-цинковые месторождения, залегающие в породах палеозоя.

К началу 60-х годов XX века в окрестностях Мадана насчитывалось более 60 шахт и карьеров по добыче полиметаллической руды (Pb, Zn, Cu с сопутствующим Au). На данный момент, после вступления Болгарии в Евросоюз, в Маданском рудном поле работают несколько шахт: Бориева река (она же Петровица), Крушев дол, Ерма река, Батанци, Рудозем, Чала, Страшимир и др. Само ГОРУБСО сейчас разделено на три самостоятельных горнодобывающие организации: ГОРУБСО- Мадан, ГОРУБСО- Кърджали и ГОРУБСО-Златоград. С точки зрения коллекционеров-минералогов шахты ГОРУБСО полны разнообразных редких минералов. Йохансенит - минерал, силикат Ca и Mn из группы клинопироксенов. Образует серию твёрдых растворов с диопсидом и геденбергитом. Кристаллы призматические, до 10 см. Агрегаты шестоватые, столбчатые, радиально-лучистые, сферолитовые, волокнистые. Йохансенит (англ. JOHANNSENITE) -  $\text{CaMn}_2 + [\text{Si}_2\text{O}_6]$ . Отличительной чертой йохансенита является наличие в нем Mn<sup>+2</sup> – более стабильной в природе формой нахождения марганца является Mn<sup>+4</sup>. Свежий скол йохансенита имеет зеленовато-голубую окраску. Однако через несколько минут он становится бурым – кислород воздуха окисляет Mn<sup>+2</sup> в Mn<sup>+4</sup>.

Графит - минерал, гексагональная кристаллическая полиморфная (аллотропная) модификация чистого углерода, наиболее устойчивая в условиях земной коры. Образуется при высокой температуре в вулканических и магматических горных породах, в пегматитах и скарнах. Встречается в кварцевых жилах с вольфрамитом и др. минералами в среднетемпературных гидротермальных полиметаллических месторождениях. Широко распространён в метаморфических породах - кристаллических сланцах, гнейсах, мраморах.

Этот минерал также присутствует в заметных количествах в шахте Бориева река. Его наличие также свидетельствует о низкой активности кислорода при формировании Маданского рудного поля. Родохрозит, представляет собой минеральный вид переменного состава (Mn, Fe)[CO<sub>3</sub>], изменяющегося от крайнего марганцевого члена собственно родохрозита - MnCO<sub>3</sub> до крайнего железистого члена сидерита - FeCO<sub>3</sub>. Встречается в средне- и низкотемпературных гидротермальных жилах, в месторождениях свинца, цинка, серебра и меди, в парагенезисе с сидеритом, гётитом, кварцем, флюоритом,

баритом и др. В зоне гипергенеза в корках выветривания марганцевых и железомарганцевых месторождений.

Апофиллит - состава  $KCa_4[Si_4O_{10}](F)_2 \times 8H_2O$ , типичный позднегидротермальный минерал, встречающийся в тесной ассоциации с цеолитами, пренитом, кальцитом, датолитом, пектолитом, анальцимом и др. минералами в полостях эффузивных и интрузивных пород. Характерный минерал миндалины и друз в базальтах; в полостях в граните; в трещинах метаморфических пород, окружающих гранит; в известняках или кальциево-силикатных породах

Лабрадор - минерал подгруппы плагиоклазов группы полевых шпатов, промежуточный член изоморфного ряда альбит-анортит, содержащий 50-70% анортитовой составляющей. Состав:  $(Na,Ca)(Al,Si)_3O_8$ .

Галенит - минерал, сульфид свинца с формулой  $PbS$ . Син.: "свинцовый блеск". Часто содержит примеси  $Ag$ ,  $Cd$ ,  $Se$  и др. Месторождения гидротермальные (преимущественно средне- и низкотемпературные) и метасоматические. Один из наиболее распространённых гидротермальных сульфидов, в ассоциации со сфалеритом и халькопиритом входит в состав т.наз. полиметаллических руд. Гидротермальные свинцово-цинковые месторождения образуются либо в виде типичных жил, либо в виде неправильных метасоматических залежей в известняках, либо в виде вкрапленников. Основная руда для получения свинца. Попутно из него извлекаются всегда содержащиеся в нём ценные примеси. Из некоторых серебросодержащих галенитов извлекают серебро как побочный продукт. Основная доля добычи серебра и кадмия приходится именно на долю полиметаллических руд.

Сфалерит  $ZnS$ . Встречается преимущественно в гидротермальных среднетемпературных м-ниях; известен в скарнах, а также в различных осадочных и вулканогенно-осадочных месторождениях. Вместе с галенитом и халькопиритом образует полиметаллические руды.

Пирит - широко распространённый минерал из класса сульфидов с формулой  $FeS_2$ . Пирит распространён очень широко, встречается в гидротермальных месторождениях. Происхождение гидротермальное. Самые большие его залежи сосредоточены в месторождениях гидротермального происхождения, колчеданных залежах.

Халькопирит - минерал, химическая формула  $CuFeS_2$ . Встречается главным образом в гидротермальных жилах, в ассоциации с галенитом и сфалеритом образует значительные скопления полиметаллических руд. Образуется также при метаморфических процессах. Известен в осадочных фациях, в зонах вторичного сульфидного обогащения.

В ходе работы над проектом и изучении минералов Маданского рудного поля можно выделить 2 стадии формирования: 1 – образование рудоносных скарнов при внедрении Родопского массива и последующее (2ая стадия) их окисление при гипергенезе (образование церусита, ковеллина и пр.). Полиметаллические руды. Они весьма разнообразны по своему внешнему виду и минеральному составу, содержат сульфиды свинца, железа, меди и др.

После работы над проектом и изучения минералов Маданского рудного поля можно выделить 2 стадии формирования: 1 – образование рудоносных скарнов при внедрении Родопского массива и последующее (2 стадия) их окисление при гипергенезе (образование церуссита, ковеллина и пр.).

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПАКТНЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ ГИДРИДНО-КАЛЬЦИЕВОГО ПОРОШКА Ti-Nb-Ta

*Бодык Н.Т. магистрант*

*Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС», Москва, [nurgul\\_260696@mail.ru](mailto:nurgul_260696@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2018-10070**

Титановые сплавы находят широкое применение в медицине благодаря сочетанию высокой коррозионной стойкости и удельной прочности. В то же время идет постоянное ужесточение требований к материалам, из которых изготавливают имплантаты – это увеличение биохимической и биомеханической совместимости с живым организмом, улучшение их функциональных свойств. Это значит, что они должны содержать исключительно безопасные компоненты, обеспечивать высокую стойкость к коррозии в средах организма, а механические свойства материала должны быть схожи со свойствами костной ткани (обладать модулем упругости 10-40 ГПа). Однако модуль Юнга титана выше 100 ГПа. Следствием этого является снижение механической биосовместимости традиционных титановых имплантатов и снижение срока службы.

Особое место занимают низкомолекулярные сплавы на основе Ti(Zr)-Nb(Ta) со структурой метастабильной бета-фазы, испытывающих при деформации и нагреве мартенситное превращение [1,2]. Они перспективны для применения в медицине для изготовления имплантатов [3], поскольку образующие металлы, а также их оксиды не оказывают негативное влияние на живой организм, что позволяет повысить срок службы.

Однако высокие температуры плавления Ta (2996 °C) и Nb (2468 °C), значительно превосходят  $T_{пл}$  титана, что затрудняет технологию выплавки однородных слитков Ti(Zr)-Nb(Ta). Поэтому, актуальной является разработка альтернативной технологии получения таких материалов методом порошковой металлургии.

Целью работы являлось подбор режимов прессования и спекания гидридно-кальциевого порошка Ti-Nb-Ta и изучение структуры и свойств, спеченных

штабиков. Химический состав исходного гидридно-кальциевого порошка производства ООО «Метсинтез» приведен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав гидридно-кальциевого порошка Ti-Nb-Ta, масс. %.

Ti	Nb	Ta	O <sub>2</sub>	Ca	N <sub>2</sub>	Ni	Al	S	C	Fe	Cr	Zr
56,3	24,2	18,3	0,4	0,24	0,12	0,02	0,01	0,001	0,07	0,04	<0,01	<0,01

Холодное прессование проводили в прессформе прямоугольного сечения при давлениях в диапазоне от 516 МПа до 992 МПа. При наибольшем давлении плотность прессовки составила 4,55 г/см<sup>3</sup>, а при наименьшем - 3,83 г/см<sup>3</sup>.

Вакуумное спекание проводили при температуре 1200 °С. При спекании плотность спрессованного штабика при наибольшем давлении увеличилась до значения 5,13 г/см<sup>3</sup>, а плотность спрессованного штабика при наименьшем давлении – до значения 4,47 г/см<sup>3</sup>. Затем образцы отжигали 20 минут при температуре 700 °С и закаливали в воду. Методом энергодисперсионного анализа был определен химический состав спеченных образцов. Анализ показал, что состав спеченных заготовок не полностью совпадает с составом исходного металлического порошка, массовая доля титана в среднем уменьшилась на 7 % по сравнению с исходным содержанием, а также имеются области, обогащенные ниобием и танталом. Это может быть связано с недостаточно высокой температурой спекания для гомогенизации прессовки.

По результатам наноиндентирования (рис.1) было установлено, что при увеличении давления прессования значения модуля упругости уменьшались до 82 ГПа, что подтверждает получение сплава Ti-Nb-Ta со свойствами, приближающимися к значениям модуля упругости костной ткани человека. Для более низких значений модуля упругости необходимо дальнейшее изучение режимов спекания, обеспечивающих получение однородного твердого раствора.

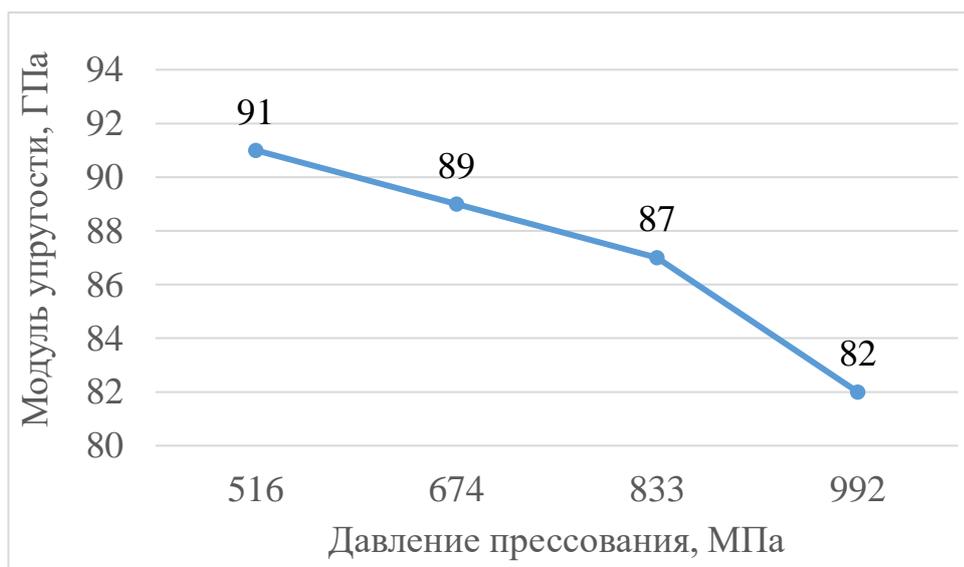


Рис.1. Зависимость модуля упругости образцов от давления прессования по данным индентирования Nano-Hardness Tester (CSM Instr., Швейцария)

Список литературы:

1. Petrzik M. Dynamics of martensitic structure at TiNb-based quenched alloys under heating and loading // Journal of Physics: Conference Series. 2013. V. 438. №1 P. 0102020-012023.
2. Bulk and porous metastable beta Ti-Nb-Zr(Ta) alloys for biomedical applications / Brailovski V., Inaekyan K., Dubinskiy S., Prokoshkin S., Petrzik M., Filonov M., Gauthier M. // Materials Science and Engineering: C. 2011. V. 31. № 3. P. 643-657.
3. Шереметьев В.А., Дубинский С.М., Жукова Ю.С., Петржик М.И., Прокошкин С.Д., Пустов Ю.А., Филонов М.Р., Браиловский В. Механические и электрохимические характеристики термомеханически обработанных сверхупругих Ti-Nb-(Ta,Zr) сплавов // Металловедение и термическая обработка. 2013. № 2 (692). С. 43-52.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Ф.И.О. участника	Номер страницы	Ф.И.О. участника	Номер страницы
Акмуллаева А.С.	120	Лоскутова А.Д.	82, 84
Азарцова В.В.	24	Лутовинова Т.А.	78
Аскарбекова К.Б.	122	Малахов А.Ю.	51
Барсук Н.Д.	117	Михайлов Б.П.	13
Бикбердина Н.Я.	34	Мордасов М.Д.	56
Боброва Д.О.	31	Ноняк Д.В.	38
Богданова Е.С.	36	Панкратова Д.С.	67
Болоцкая А.В.	104	Петржик М.И.	19
Буренина А.И.	85, 87	Прилипко С.Ю.	54
Бурова Д.Н.	95	Прокопец А.Д.	44
Бодык Н.Т.	136	Регер А.А.	22
Варпетян А.М.	91	Салганская Я.Е.	92
Вельковская И.И.	105	Санин В.В.	64
Винокуров С.А.	94	Сайков И.В.	17
Галлямова Р.Ф.	29	Севостьянова Т.М.	110
Глебок В.В.	118	Серопян С.А.	28
Гомзин А.И.	40	Собачкин А.В.	59
Гончарук С.Ю.	42	Спабекова А.С.	126
Гончаров Е.А.	48	Танкова К.И.	62
Дворцевая Н.А.	93	Таранова А.И.	68
Есболов Н.Б.	99	Терещенко А.Н.	80
Жакупжанова М.Ф.	124	Титов Н.В.	72
Измалков А.А.	74	Тихонова В.И.	131
Калугина А.В.	69	Усенко А.А.	21
Капустин Р.Д.	53	Хамитова Р.В.	26
Классен Н.В.	15	Храмцов М.А.	70
Ковальский В.А.	133	Цветков М.В.	108
Козерожец И.В.	115	Цветкова Ю.Ю.	112
Коломиец А.А.	97	Чеклов С.А.	33
Королева И.Л.	88	Чижиков А.П.	129
Константинов А.С.	130	Шехтман С.Р.	18
Кузнецов И.С.	76	Щербаков А.В.	46
Кузнецов Д.В.	74	Щербакова В.Б.	98
Лаврова А.Е.	114	Яновский Л.С.	14