

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)  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТАМБОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ТАМБОВ)  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ «МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ СТАЛИ И СПЛАВОВ» (МОСКВА)



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

**Сборник научных материалов**

**16-18 октября 2019 г.**

**Черноголовка – 2019**





\*\*\*\*\*

XVII Всероссийская с международным участием школа – семинар по структурной макрокинетике для молодых ученых имени академика А.Г. Мержанова. Черногоровка. 16-18 октября 2019 г. / Сборник материалов. - Черногоровка, ИСМАН. – 2019. – 215 с.

ISBN 978-5-9907575-2-3

*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 XVII 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, 2019

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения

им. А.Г. Мержанова Российской академии наук, 2019

ISBN 978-5-9907575-2-3





\*\*\*\*\*

## 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:

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

С.М. Алдошин - академик, научный руководитель ИПХФ РАН (Черноголовка)  
Е.А. Артмиич - заместитель главы администрации по развитию наукограда г.о. 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»  
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)  
В.Н. Санин - д.т.н., зам. директора ИСМАН (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)  
М.А. Севостьянов - к.т.н., в.н.с. ИМЕТ РАН (Москва)  
Е.В. Костицына - к.т.н., н.с. НИТУ «МИСиС» (Москва)  
О.О. Лиханова - 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 - н.с. (Черноголовка, ИСМАН)  
О.А. Аверичев - н.с. (Черноголовка, ИСМАН)  
А.П. Чижиков - м.н.с. (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 - аспирант (Черноголовка, ИСМАН)



\*\*\*\*\*

## Программа

Среда, 16 октября 2019 г.

**9:30** Регистрация участников

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

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

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

**Приветственные слова гостей Школы**

**Утреннее заседание**

**10:30** **Первухина Ольга Леонидовна**, к.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории Ударно-волновых процессов (ИСМАН, Черноголовка). Сварка взрывом: теория и практика (приглашенная лекция).

**11:10** **Дьяченко Александр Николаевич**, д.т.н., генеральный директор Института легких материалов и сплавов (ИЛМиТ, Москва). Новые вызовы в материаловедении алюминия (приглашенная лекция).

**12:00** Кофе-брейк

**12:30** 1. **Прилипко С.Ю.** молодой ученый, Беличко Д.Р., Кудрявцев Ю.А., Головань Г.Н., Глазунова В.А., Брюханова И.И., Герасименко В.М., Бурховецкий В.В. (ДонФТИ, Донецк). Формирование из нанопорошков  $Al_2O_3$  пористой керамической структуры и перспективы её применения в качестве фильтрующего материала.

2. Борисов В.Н., Зайковская О.Н., **Зюбанова В.И.** молодой ученый, Киселёв С.Н., Седов Е.В., Титова О.В. (РФЯЦ – ВНИИТФ, Снежинск) Влияние титана на скорость протекания самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в системе бор-титан.

3. **Щербакова В.Б.** студентка, Садовская Л.Ю., Свиридова Т.В., Свиридов Д.В. (БГУ, Минск, Беларусь). Механохимический синтез гетероструктурных фотокатализаторов  $TiO_2/MoO_3(V_2O_5, WO_3)$  в условиях высоких контактных давлений.

4. Канаев А.Т., Баймырзаев К.М., **Камбарова А.** молодой ученый, Жакупжанова М., Сатымбеков Р. (НИИ ПБТ, Талдыкорган, Казахстан).



\*\*\*\*\*

Эффективное применение водорастворимых пленкообразующих химических полимеров для разработки метода предпосевной обработки семян сахарной свеклы.

**5. Абзалов Н.И.** аспирант, Сеплярский Б.С., Кочетков Р.А., Лисина Т.Г. (ИСМАН, Черногловка). СВС двойного карбида титана-хрома (Ti, Cr)C с металлической связкой из гранулированной шихты.

**6. Болоцкая А.В.** аспирант, Михеев М.В., Бажин П.М., Столин А.М. (ИСМАН, Черногловка). СВС-экструзия компактных материалов на основе системы Ti–V–Fe модифицированных нанопорошком AlN.

**7. Балачков М.М., Кузнецов М.С., Пермикин А.А.** аспирант (НИ ТПУ, Томск). Получение борсодержащих композитов для защиты от смешанного ионизирующего излучения в режиме СВ-синтеза.

**8. Цветкова<sup>1</sup> Ю.Ю.** молодой учёный, Кислов<sup>1</sup> В.М., Цветков<sup>1</sup> М.В., Пилипенко<sup>1</sup> Е.Н., Салганская<sup>1,2</sup> М.В. (<sup>1</sup>- ИПХФ РАН, Черногловка; <sup>2</sup>- МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва). Влияние добавки твердых кальцийсодержащих материалов на поглощение соединений серы при фильтрационном горении сернистых углей.

**9. Лутовинова Т.А.** студент, Чуприкова А.А. (ФГБОУ ВО "ТГТУ", Тамбов). Физико-механические свойства наномодифицированного ПСФ, полученного твердофазной экструзией.

**14:00 Обед**

**Вечернее заседание**

**14:30 1. Липунов<sup>1</sup> В.Н.** аспирант, Маркидонов<sup>2</sup> А.В., Лубяной<sup>3</sup> Д.А. (<sup>1</sup>- АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул; <sup>2</sup>- НФИ КемГУ, Новокузнецк; <sup>3</sup>- Филиал КузГТУ, Прокопьевск). Компьютерное моделирование структурных изменений пор под воздействием ударных волн.

**2. Переверзева<sup>1,2</sup> С.Ю.** аспирант, Лебедев<sup>1</sup> Е.А., Громов<sup>1</sup> Д.Г., Гаврилов<sup>1</sup> С.А., Сыса<sup>2</sup> А.В., Шаман<sup>2</sup> Ю.П., Рязанов<sup>2</sup> Р.М. (<sup>1</sup>- Институт перспективных материалов и технологий НИУ МИЭТ, Зеленоград; <sup>2</sup>- НПК «Технологический центр», Москва, Зеленоград). Применение термитных смесей состава Al-Ni-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> в термоэлектрических преобразователях энергии.

**3. Прокопец А.Д.** аспирант, Бажин П.М., Столин А.М., Аверичев О.А., Столин П.А., Семичев С.В. (ИСМАН, Черногловка) Получение слоистых керамических материалов на основе Ti/Ti-Al-C методом свободного СВС-сжатия.

**4. A. Spabekova, A. Kanaev, A. Kambarova, M. Zhakupzhanova, R. Satimbekov** (НИИ РВТ, Taldykorgan, Kazakhstan). Determination of the effect of common bunt infection on the stability of winter wheat lines for use in



\*\*\*\*\*

breeding programs.

**5. Остроухов Д.В.** магистрант, Титова Ю.В. (СамГТУ, Самара). СВС VN нанопорошка из бора и азида натрия.

**6. Чижиков А.П.** молодой ученый, Бажин П.М., Столин А.М. (ИСМАН, Черноголовка). Структура и свойства керамических пластин из материалов на основе  $Al_2O_3-CrB_2$ , полученных методом свободного СВС-сжатия.

**7. Чижиков А.П.** молодой ученый, Бажин П.М., Столин А.М. (ИСМАН, Черноголовка). Получение композиционного материала на основе оксида алюминия в условиях сочетания процессов СВС и сдвигового деформирования.

**8. Лебедев<sup>1</sup> Е.А.** молодой ученый, Сорокина<sup>1</sup> Л.И., Рязанов<sup>2</sup> Р.М., Громов<sup>1</sup> Д.Г., Сыса<sup>2</sup> А.В. (<sup>1</sup>- Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, Зеленоград; <sup>2</sup>- Научно-производственный комплекс «Технологический центр», Москва, Зеленоград). Исследование энергетических характеристик термитных материалов Al-CuOx, полученные методом электрофоретического осаждения.

**9. Тагиров М.И.** аспирант, Лейбо Д.В., Кузнецов Д.В. (НИТУ «МИСиС», Москва). Влияние исходного солевого состава на физико-химические и структурные характеристики нуль-валентных нанопорошков железа, полученных боргидридным восстановлением.

**10. Махонина Ю.В.** студент, Луц А.Р. (СамГТУ, Самара). Термодинамика процессов получения дискретно-упрочненных сплавов системы Al-Cu-Ni-TiC с добавлением галоидных солей  $Na_2TiF_6$  и  $Na_3AlF_6$ .

**11. Петренко В.И.** студент, Земцова Я.С. студент, Мордасов М.Д. студент (ФГБОУ ВО "ТГТУ", Тамбов). Определение толщины оксидного слоя на поверхности латуни.

**12. Рожин П.И.** молодой ученый, Чупрунов К.О., Юдин А.Г. (НИТУ «МИСиС», Москва). Влияние параметров исходной суспензии и распылительной сушилки на размер и форму гранул.

**13. Королева И.Л., Лоскутова А.Д.** аспирант (ФГБОУ ВО "ТГТУ", Тамбов). Исследование квантования в полевых твердотельных структурах.

**14. Макарчук А.П.** студент, Королева И.Л., Лоскутова А.Д. аспирант (ФГБОУ ВО "ТГТУ", Тамбов). Термочувствительный элемент на монокристаллическом кремнии.

**15. Измалков А.А.** аспирант, Коломейченко А.В., Логачев В.Н. (Орловский ГАУ им. Н.В. Парахина). Анализ факторов, влияющих на адгезионную прочность электрометаллизационных покрытий.

**16. Захаров К.В.** аспирант, Андреев Д.Е., Юхвид В.И., Хоменко Н.Ю., Сачкова Н.В. (ИСМАН, Черноголовка). Центробежная СВС-металлургия композиционных материалов на основе кобальта.



\*\*\*\*\*

**Четверг, 17 октября 2019 г.**

**Утреннее заседание**

**10:30 Падерин Сергей Никитович**, д.т.н., помощник директора (АО «Металлургический завод «Электросталь», Электросталь). Термодинамические закономерности растворимости кислорода в жидких металлах Ni, Co, Fe, Mn для технологии окислительных процессов при производстве легированной стали (приглашенная лекция).

**11:20 Карпов Сергей Владимирович**, к.т.н., начальник отдела научно-технической информации (ФГБОУ ВО "ТГТУ", Тамбов). Современные инструменты публикационной деятельности и развития международной научной коммуникации (приглашенная лекция).

**12:00 Кофе-брейк**

**12:00 1. Терещенко А.Н.** (ИФТТ РАН, Черноголовка). Новые подходы к созданию высокоэффективных светоизлучающих структур на основе кремния для оптических межсоединений на чипе.

**2. Минеханова А.Ф.** магистрант, Титова Ю.В. (СамГТУ, Самара). Получение титаносодержащих МАХ-фаз в режиме СВС.

**3. Михеев М.В.** молодой ученый, Болоцкая А.В., Столин А.М., Бажин П.М. (ИСМАН, Черноголовка). Получение ферро - абразивных порошковых материалов на основе TiC методом СВС – измельчения.

**4. Цветков<sup>1</sup> М.В.** молодой ученый, Салганский<sup>1</sup> Е.А., Зайченко<sup>1</sup> А.Ю., Подлесный<sup>1</sup> Д.Н., Салганская<sup>1,2</sup> М.В. (<sup>1</sup>- ИПХФ РАН, Черноголовка; <sup>2</sup>- МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва). Газификация сланцевой пыли в реакторе с подвижным слоем теплоносителя.

**5. Ноняк Д.В.** аспирант, Первухина О.Л. (ИСМАН, Черноголовка). Влияния ударно-волновых нагрузок и технологических переделов на распределение потенциальноопасных зон концентрации напряжений для крупногабаритных листов биметалла.

**6. Саркисов В.В.** студент, Логвинович А.С. аспирант, Свиридова Т.В., Свиридов Д.В. (БГУ, Минск, Беларусь). Дисперсные оксидные фазы с регулируемой редокс-активностью для получения металл-матричных композитов.

**7. Фрейман<sup>1,2</sup> В.М.** студент, Цветкова<sup>2</sup> Ю.Ю., Зюкин<sup>1</sup> И.В., Цветков<sup>2</sup> М.В. (<sup>1</sup>- МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва; <sup>2</sup>- ИПХФ РАН, Черноголовка). Влияние Na<sub>2</sub>O на минеральные преобразования золы бытовых отходов в условиях высокотемпературной газификации.

**8. Галиев<sup>1</sup> Ф.Ф.** аспирант, Сайков<sup>1</sup> И.В., Алымов<sup>1</sup> М.И., Бербенцев<sup>2</sup> В.Д., Гултин<sup>2</sup> А.В., Бугаков<sup>2</sup> В.И., Сачкова<sup>1</sup> Н.В., Коновалихин<sup>1</sup> С.В. (<sup>1</sup>-



\*\*\*\*\*

ИСМАН, Черноголовка; <sup>2</sup> ИФВД РАН, Троицк). Высокотемпературная газовая экструзия реакционных порошков.

**9. Николаев А.А.** аспирант, Хусаинов Ю.Г. (УГАТУ, Уфа). Низкотемпературное ионное азотирование титановых сплавов с УМЗ структурой.

**10. Маматказин Т.Р.** студент, Мордасов М.Д. студент, Мордасов Д.М. (ФГБОУ ВО "ТГТУ", Тамбов). Измерение микротвердости структурных составляющих сплава Ni-Ti.

**11. Мордасов М.Д.** студент, Никитин А.В. студент, Полушкин Д.Л. (ФГБОУ ВО "ТГТУ", Тамбов). Особенности структурных изменений трепела при его термической обработке.

**12. Ахметова Э.З.** аспирант (УГАТУ, Уфа). Получение вакуумно-плазменных покрытий в среде реакционного газа.

**13. Икорников Д.М.** молодой ученый, Санин В.Н., Андреев Д.Е., Юхвид В.И. (ИСМАН, Черноголовка). Химико-технологические основы получения литых ферросплавов при переработке техногенных отходов методами СВС-металлургии.

**14:00 Обед**

**Вечернее заседание**

**14:30 1. Зюкин<sup>1</sup> И.В.** студент, Цветкова<sup>2</sup> Ю.Ю., Фрейман<sup>1,2</sup> В.М., Цветков<sup>2</sup> М.В. (<sup>1</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва; <sup>2</sup> ИПХФ РАН, Черноголовка). Поведение золы осадка сточных вод при высокотемпературной газификации.

**2. Аверичев О.А.** молодой ученый, Бажин П.М., Столин П.А., Прокопец А.Д., Столин А.М., Сачкова Н.В. (ИСМАН, Черноголовка). Изучение переходных зон в слоистом композиционном материале на основе МАХ-фазы системы Ti/Ti-Al-C.

**3. Малахов<sup>1</sup> А.Ю.** молодой ученый, Сайков<sup>1</sup> И.В., Денисов<sup>1</sup> И.В., Романцев<sup>2</sup> Б.А., Гамин<sup>2</sup> Ю.В. (<sup>1</sup> ИСМАН, Черноголовка; <sup>2</sup> НИТУ «МИСиС», Москва). Исследование влияния сварки взрывом и последующей горячей деформации на структуру и свойства зоны соединения в биметаллических трубах и стержнях.

**4. Малахов А.Ю.** молодой ученый, Сайков И.В., Саламатов В.Г., Серопян С.А. (ИСМАН, Черноголовка). Особенности получения композиционных материалов с применением ударно-волновой обработки и СВС.

**5. Покидов А.П.** молодой ученый, Цебрук И.С, магистрант, Кедров В.В., Классен Н.В. (ИФТТ РАН, Черноголовка). Особенности наноструктуры, оптических и радиационных свойств композитных





\*\*\*\*\*

микроволокон.

**6. Моисеев Н.В.** аспирант, Новиков В.А., Амосов А.П. (СамГТУ, Самара). Влияние содержания горючего в исходной реакционной смеси на структуру порошков катализатора на основе оксида цинка ZnO, полученного методом растворного СВС.

**7. Серопян С.А.** аспирант, Сайков И.В., Алымов М.И. (ИСМАН, Черноглавка). Влияние активных и инертных добавок на параметры СВС для реакционных порошковых компактов.

**8. Волонова А.Е.** бакалавр, Тихонова А.Ю., Кузина А.А. (Самарский университет, Самара). Применение нанопорошковых лигатур Ni-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> для модифицирования алюминиевых сплавов.

**9. Жидович А.О.** аспирант, Бажин П.М., Константинов А.С., Столин А.М. (ИСМАН, Черноглавка). Структура и свойства электродуговых покрытий, полученных с использованием СВС-электродов на основе TiB-Ti.

**10. Канаев А.Т.,** Токпаев К.М. Диппель Т.А. (ЖГУ им. И. Жансугурова, Галдыкорган, Казахстан). Применение железобактерий при выщелачивании урана с месторождения шантобе.

**11. Турганов З.Т.** аспирант, Столин А.М., Бажин П.М. (ИСМАН, Черноглавка). Влияние сдвиговой высокотемпературной деформации на свойства и структуру твердосплавных СВС-материалов (TiC, TiB<sub>2</sub>).

**12. Мордасова<sup>1</sup> Н.А.** студент, Завражин<sup>2</sup> Д.О., Мордасов<sup>2</sup> Д.М. (ФГБОУ ВО "ТГТУ", Тамбов). Изучение микроструктуры трепела краснослободского месторождения тамбовской области.

**13. Лоскутова А.Д.** аспирант, Никитин А.В. студент, Верченев В.С. студент (ФГБОУ ВО "ТГТУ", Тамбов). Использование порошковых композитов для производства приборов теплофизических измерений.

**14. Нагимов Р.Ш.** магистрант, Варданян Э.Л. (УГАТУ, Уфа). Упрочнение металлорежущих инструментов комплексной обработкой в низкотемпературной плазме повышенной плотности.

**15. Кузнецов И.С.** молодой ученый (Орловский ГАУ им. Н.В. Парахина). Исследование физико-механических свойств электроискровых покрытий, полученных с использованием нанокристаллического сплава 5БДСР.

**16. Титов<sup>1</sup> Н.В.** молодой ученый, Бажин<sup>2</sup> П.М., Столин<sup>2</sup> А.М. (<sup>1</sup>- Орловский ГАУ им. Н.В. Парахина; <sup>2</sup>- ИСМАН, Черноглавка). Особенности микроструктуры композиционных металлокерамических покрытий, полученных при карбовибродуговом упрочнении с использованием угольного электрода.

**17. Санин<sup>1</sup> В.В.** молодой ученый, Филонов<sup>1</sup> М.Р., Аникин<sup>1</sup> Ю.А., Икорников<sup>2</sup> Д.М., Юхвид<sup>2</sup> В.И. (<sup>1</sup>- НИТУ «МИСиС», Москва; <sup>2</sup>- ИСМАН,



\*\*\*\*\*

Черноголовка). Введение в расплав борсодержащих СВС-лигатур и исследование влияния на свойства получаемых алюминиево-матричных композитов.

**18.** Акмуллаева А.С., Канаев А.Т., **Баймырзаев К.М.**, Ринар А.Р. (ЖГУ им. И. Жансугурова, Талдыкорган, Казахстан). Методы химического исследования особенностей продуктивности сортов сои

**15:30 Кофе-брейк**

**16:00** Спорт. Командный розыгрыш кубка имени академика А.Г. Мержанова по настольному теннису.

**Пятница, 18 октября 2019 г.**

**Утреннее заседание**

**10:30** **Киселева Надежда Николаевна**, д.х.н., заведующая Лабораторией полупроводниковых материалов (ИМЕТ РАН, Москва). Информационная структура современного неорганического материаловедения (приглашенная лекция).

**11:20** **Дударев Виктор Анатольевич**, к.т.н., доцент (ИМЕТ РАН, НИУ ВШЭ, Москва). Интегрированная система баз данных по свойствам неорганических веществ и материалов (приглашенная лекция).

**12:00 Кофе-брейк**

**12:40** **1.** **Уварова И.А.** магистрант, **Титова Ю.В.** (СамГТУ, Самара). Получение литых алюмоматричных композитов с использованием нитрида алюминия марки СВС-Аз.

**2.** **Беличко Д.Р.** аспирант, **Константинова Т.Е.**, **Носолев И.К.**, **Волкова Г.К.** (ДонФТИ им. А.А. Галкина, Донецк). Влияние легирования малыми добавками  $Al_2O_3$  на структуру и свойства нанопорошков диоксида циркония и керамики на их основе.

**3.** **Константинов А.С.** аспирант, **Чижиков А.П.**, **Прокопец А.Д.**, **Столин А.М.** (ИСМАН, Черноголовка). Получение слоистых композиционных материалов системы Ti-B методом свободного СВС-сжатия.

**4.** **Балусов<sup>1,2</sup> И.С.** школьник, **Мельников<sup>1,2</sup> С.Б.** школьник, **Богданов<sup>1</sup> С.В.** (<sup>1</sup>- Дом Юных Техников, Королев; <sup>2</sup>- МОУ СОШ 82,



\*\*\*\*\*

Черноголовка). Универсальная система бортовых огней, управления и поддержания курсовой устойчивости моделей.

**5. Бурова<sup>1</sup> Д.Н.** школьница, Цебрук<sup>2</sup> И.С., Классен<sup>2</sup> Н.В. (<sup>1</sup>- Физико-математический лицей, Сергиев Посад; <sup>2</sup>- ИФТТ РАН, Черноголовка). Исследования и применения влияния магнитного поля на систему «железо-медь-вода».

**6. Иванов<sup>1</sup> И.М.** школьник, Иванов<sup>1</sup> Е.А. школьник, Цебрук<sup>2</sup> И.С., Классен<sup>2</sup> Н.В. (<sup>1</sup>- Физико-математический лицей, Сергиев Посад; <sup>2</sup>- ИФТТ РАН, Черноголовка). Растения как эффективные преобразователи шума в электричество.

**7. Винокуров<sup>1</sup> С.А.,** Коломиец<sup>2</sup> А.А. школьник, Классен<sup>1</sup> Н.В. (<sup>1</sup>- ИФТТ РАН, Черноголовка; <sup>2</sup>- Средняя школа № 45, Ямкино). Лазерное формирование солнечных батарей и светоизлучателей самоорганизацией наносуперструктур.

**8. Коломиец<sup>1</sup> А.А.** школьник, Винокуров<sup>2</sup> С.А., Цебрук<sup>2</sup> И.С., Классен<sup>2</sup> Н.В. (<sup>1</sup>- Средняя школа №45, Ямкино; <sup>2</sup>- ИФТТ РАН, Черноголовка). Электрохимия растений для альтернативной энергетики и информационных технологий.

**9. Щербинин<sup>1</sup> Ф.С.** школьник, Цебрук<sup>2</sup> И.С., Классен<sup>2</sup> Н.В. (<sup>1</sup>- Физико-математический лицей, Сергиев Посад; <sup>2</sup>- ИФТТ РАН, Черноголовка). Исследования электрохимии и электромеханики паутины.

**10. Классен Е.Н.,** Цебрук И.С., Классен Н.В. (ИФТТ РАН, Черноголовка). Деформационные приемы регулирования приповерхностных свойств материалов.

**11. Пермин<sup>1</sup> Д.А.,** Беляев<sup>1</sup> А.В., Балабанов<sup>1</sup> С.С., Кошкин<sup>1</sup> В.А. студент, Болдин<sup>2</sup> М.С., Попов<sup>2</sup> А.А., Мурашов<sup>1,2</sup> А.А. (<sup>1</sup>- ИХВВ РАН, Нижний Новгород; <sup>2</sup>- ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород). Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нанопорошков  $Y_2O_3$ -MgO для ИК-прозрачной керамики.

**12. Бетенина<sup>1</sup> А.А.** школьница, Классен<sup>2</sup> Н.В. (<sup>1</sup>- Средняя школа № 3, Красноармейск; <sup>2</sup>- ИФТТ РАН, Черноголовка). Применение солнечной энергии для утилизации пластиковых отходов и экологичного сепарирования целлюлозы.

**13. Богданова<sup>1</sup> Е.С.** студент, Никитин<sup>2</sup> Р.А., студент (<sup>1</sup>- НИТУ «МИСиС», Москва; <sup>2</sup>- ВШЭ, Москва). Прибор для диагностики и реабилитации больных после инсульта.

**14. Бетенина<sup>1</sup> Т.Д.** школьница, Классен<sup>2</sup> Н.В. (<sup>1</sup>- Средняя школа № 3, Красноармейск; <sup>2</sup>- ИФТТ РАН, Черноголовка). Применение солнечной энергии для утилизации пластиковых отходов и экологичного сепарирования целлюлозы.



\*\*\*\*\*

**15. Akmullaeva A.S., Kanaev A.T., Baimyrzaev K.M., Askarbekova K.B.** (НИИ РВТ, Taldykorgan, Kazakhstan). Chemicals and the study of morphology - biology of seed germination hiems triticum.

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



*Приглашенная лекция*

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА СОВРЕМЕННОГО НЕОРГАНИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ**

**Киселева Надежда Николаевна**

***Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской  
академии наук, Москва***

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10001**

Ускорение поиска, исследования и внедрения новых материалов с заданными функциональными свойствами является критически важной задачей развития промышленности и всей экономики стран в целом. Одним из путей решения этой задачи является создание развитой инфраструктуры информационного обеспечения специалистов, в первую очередь, распределенной виртуально интегрированной сети баз данных, содержащих информацию о свойствах веществ и материалов и технологиях их получения и обработки, а также систем компьютерного конструирования и моделирования материалов, доступных из Интернет специалистам самого разного профиля: научным работникам, инженерам, технологам, бизнесменам, госслужащим, студентам и т.д. В последние годы в развитых странах были выдвинуты и поддержаны правительствами инициативы, направленные на организацию инфраструктуры доступа к экспериментальным и расчетным данным о материалах.

В 2011 г в США была начата разработка проекта, названного Инициативой Геном Материалов (Materials Genome Initiative (MGI)) [1]. Цель MGI - ускоренное создание новых материалов, обладающих заданными свойствами. Особое внимание уделяется поддержке прорывных исследований в теории, моделировании свойств материалов и data mining как средств достижения существенного прогресса в материаловедении. Учитывая важность материалов для достижения высокого уровня конкурентоспособности промышленности США, в июне 2014 г. национальный Консорциум сервисов данных (National Data Service (NDS)) объявил о пилотном проекте разработки средств для организации данных о материалах: The Materials Data Facility (MDF) [2]. MDF обеспечит материаловедов хранилищем экспериментальных и расчетных данных, в том числе и до их публикации, снабженных ссылками на соответствующие библиографические источники.

Программа Поиска Новых Материалов (Novel Materials Discovery Laboratory (NoMaD)) [3] была ответом Евросоюза на американскую стратегическую инициативу MGI. Проект стартовал в 2015 г. и направлен на



\*\*\*\*\*

создание Европейских центров превосходства (European Centres of Excellence) и предполагает разработку сети баз данных (БД) (Materials Encyclopedia) по свойствам веществ и материалов (в первую очередь, содержащих результаты расчетов), а также средств анализа этих данных и расчета веществ.

В рамках программы ЕС «HORIZON2020» реализуются проекты EOSC-hub и OpenAIRE-Advance, начавшихся в январе 2018 года, которые будут способствовать реализации Европейского облака открытой науки.

Проект EOSC-Hub [4] позволит исследователям в Европе получить доступ к широкому спектру совместимых данных, вычислительных и сетевых ресурсов, открытых на национальном, региональном и европейском уровнях. Проект объединяет более 300 центров данных по всему миру и 18 панъевропейских инфраструктур, и в конечном итоге будет обслуживать 1,7 млн. европейских исследователей и 70 млн. специалистов в области науки и техники. Основные данные пока прямо не относятся к тематике неорганического материаловедения. Основной упор делается на информацию в области наук о жизни, о Земле, астрономию, энергетику, физику, социальные науки.

Второй проект OpenAIRE-Advance [5] объединяет более 50 партнеров и направлен на создание и консолидацию социально-технических сетей и инфраструктуры, поддерживающих открытое научное общение.

Инициатива исследования материалов путем интеграции информации («Materials research by Information Integration Initiative») (MI<sup>2</sup>I) была предложена в 2015 г. японским правительством, которое создало на базе Национального института материаловедения (National Institute for Materials Science (NIMS)) Center for Materials Research by Information Integration [6]. Созданный центр ставит своей задачей не только широкое использование квантовомеханических расчетов, но и поддержку и развитие имеющихся в Японии БД по свойствам веществ и материалов, их интеграцию с зарубежными информационными системами и применение методов искусственного интеллекта для прогноза новых веществ.

В Китае при поддержке Министерства науки и технологий стартовал свой пятилетний проект MGI (2016-2020 г.г.) [7]. В Индии также начаты исследования в этом направлении [8].

На выполнение вышеуказанных проектов выделены сотни миллионов долларов. Однако ожидаемый экономический эффект от использования разрабатываемых информационных систем намного превысит вложенные средства за счет уменьшения дублирования исследований и предоставления химикам и материаловедам оперативной и достоверной информации о свойствах веществ и использования современных расчетных методов, которые дают возможность еще до экспериментов оценить параметры веществ, указать перспективные для применений составы и разработать технологию получения и обработки материалов. По мнению американских экономистов, проводивших анализ деятельности программы MGI [9], каждый доллар, вложенный в ее



\*\*\*\*\*

выполнение приносит 4 доллара прибыли. По ряду причин (санкции против РФ, предполагаемая высокая цена доступа к разрабатываемым информационным системам, наличие в них информации о материалах и технологиях двойного назначения и т.д.) доступ российских специалистов к этим информационным ресурсам будет крайне ограничен. Это может иметь следствием серьезное отставание в темпах разработки и внедрения новых материалов, что приведет к резкому уменьшению конкурентоспособности российской продукции, особенно в наукоемких отраслях. Единственный путь решения этой проблемы – это создание собственной информационной инфраструктуры для материаловедения. Предпосылкой для успешного выполнения такого инфраструктурного проекта в России является опыт ИМЕТ РАН в разработке и интеграции БД по свойствам неорганических веществ и материалов, доступных из сети Интернет, также методов и программных средств для компьютерного конструирования новых веществ, и материалов, основанных на использовании технологий data mining, и, в первую очередь, методов обучения ЭВМ [10-12]. С помощью последних, проанализировав имеющуюся информацию об уже известных веществах, хранящуюся в БД, можно прогнозировать еще не синтезированные соединения и оценивать некоторые их свойства, зная только хорошо известные параметры компонентов (химических элементов или более простых соединений). Для решения задач конструирования новых неорганических соединений нами разработана специальная информационно-аналитическая система (ИАС) [11], включающая интегрированную систему БД по свойствам неорганических веществ и материалов (содержащую более 42 Гбайт информации о более 86 тыс. неорганических соединений (данные извлечены из 46 тыс. публикаций)) [12], подсистемы поиска закономерностей в данных, прогнозирования новых соединений и оценки их свойств, базу знаний, базу прогнозов и другие подсистемы. С использованием ИАС были получены прогнозы возможности образования тысяч новых неорганических соединений в двойных, тройных, четверных и более сложных химических системах и оценены некоторые их свойства (например, тип кристаллической структуры при нормальных условиях, критическая температура перехода в сверхпроводящее состояние, температура плавления, ширина запрещенной зоны, параметры кристаллической решетки и т.д.). Сотни предсказанных соединений были синтезированы, и сравнение прогнозов с экспериментальными данными, полученными позже, показали, что средняя достоверность прогнозирования выше 80 %.

ИАС является, своего рода, пилотным проектом информационной инфраструктуры для неорганического материаловедения, развитие которого подразумевает создание информационного центра, обеспечивающего специалистов информацией о свойствах веществ и материалов (например, БД ИМЕТ РАН, ОИВТ РАН, МГУ, NIMS, NIST, STN, Springer Materials, Materials Science International), технологиях их производства, а также расчетными данными (БД сети NoMaD, SGTE и т.д.), патентной информацией (БД



\*\*\*\*\*

Роспатента, Questel, USPTO и т.д.), полными текстами публикаций (БД ведущих издательских корпораций - Наука, Elsevier, Springer, Wiley, American Chemical Society, American Institute of Physics, Science и т.д.), информацией о еще не опубликованных в открытой печати сообщениях (например, БД ВИНТИ, ЦИТИС) и т.д. В связи со спецификой предметной области основу такого информационного центра коллективного пользования должна составлять распределенная виртуально интегрированная сеть отечественных и зарубежных баз данных и баз знаний по веществам и материалам. Создание центра будет способствовать резкому ускорению поиска, разработки и внедрения новых материалов, в сочетании со значительным сокращением затрат за счет уменьшения дублирования исследований и предоставления химикам и материаловедам оперативной и достоверной экспериментальной и расчетной информации о веществах и материалах.

#### Список литературы:

1. Materials Genome Initiative. <https://www.mgi.gov/> - (visited on 19.09.2019).
2. The Materials Data Facility. <https://materialsdatafacility.org/> - (visited on 19.09.2019).
3. The Novel Materials Discovery (NOMAD) Laboratory. <http://nomad-lab.eu/> - (visited on 19.09.2019).
4. EOSC-Hub. <https://www.eosc-hub.eu> - (visited on 19.09.2019).
5. OpenAIRE-Advance. <https://www.openaire.eu/advance/> - (visited on 19.09.2019).
6. Center for Materials Research by Information Integration. <http://www.nims.go.jp/eng/research/MII-I/index.html> - (visited on 19.09.2019).
7. Lu X.-G. // Sci. Bull. 2015. V. 60. N. 22. P.1966.
8. First National Conference on Mapping the Materials Genome. Ed. V. Kumar, G. Roy, V.K. Jayaraman, S. Sukumar and N. Sukumar. New Delhi: Group Excel India, 2013. 68 p.
9. Economic Analysis of National Needs for Technology Infrastructure to Support the Materials Genome Initiative. <https://www.nist.gov/mgi/mgi-reports> - (visited on 19.09.2019).
10. Киселева Н.Н., Дударев В.А., Земсков В.С. // Успехи химии. 2010. Т.79. N.2. С. 162.
11. Киселева Н.Н., Дударев В.А., Столяренко А.В. // Теплофизика высоких температур. 2016. Т.54. N.2. С. 228.
12. Базы данных ИМЕТ РАН. <http://www.imet-db.ru/> - (visited on 19.09.2019).

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проекты 17–07–01362, 18–07–00080. Работа выполнялась по государственному заданию № 075-00746-19-00.*





*Приглашенная лекция*

## **ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА БАЗ ДАННЫХ ПО СВОЙСТВАМ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ**

*Дударев Виктор Анатольевич*

*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской  
академии наук, Москва*

*Национальный исследовательский университет "Высшая школа  
экономики", Москва, [vdudarev@hse.ru](mailto:vdudarev@hse.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10002**

Значительные объемы информации, накапливаемые человечеством во многих отраслях, делают неизбежным использование баз данных (БД) для сбора, систематизации и дальнейшей обработки информации, включая ее использование для получения новых сведений. В неорганической химии и материаловедении за последние годы количество БД многократно возросло. Подробный обзор БД по свойствам неорганических веществ и материалов (БД СНВМ) дан в нашей статье [1] и справочной информационной системе *IRIC* (Information Resources of Inorganic Chemistry) [2]. Поскольку ни одна из БД не содержит исчерпывающих сведений, нами была предпринята попытка консолидации информационных ресурсов, чтобы обеспечить пользователей наиболее полной информацией. Разработанная нами интегрированная система (ИС) баз данных по свойствам неорганических веществ и материалов, доступная из сети Интернет [3], объединяет БД ИМЕТ РАН:

БД по свойствам неорганических соединений «Фазы» [1] в настоящее время содержит информацию о параметрах около 53 тыс. тройных соединений (т.е. соединений, образованных тремя химическими элементами) и около 34 тыс. четверных соединений, почерпнутую из более 35 тыс. литературных источников. Она включает краткую информацию о наиболее распространенных свойствах неорганических соединений: кристаллохимических (типы кристаллической структуры, сингония, пространственная группа, число формульных единиц в элементарной ячейке, параметры кристаллической решетки) и теплофизических (тип и температура плавления, температура распада соединения в твердой или газообразной фазах и температура кипения при атмосферном давлении), а также о сверхпроводящих свойствах соединений. Объем БД «Фазы» более 37 Гбайт.

БД «Elements» [1] включает информацию о 90 свойствах химических элементов: теплофизических (температура плавления и кипения при 1 атм, стандартные теплопроводность, молярная теплоемкость, энтальпия атомизации,



\*\*\*\*\*

энтропия и т.д.), размерных (ионные, ковалентные, металлические, псевдопотенциальные радиусы, объем атома и т.д.), других физических свойствах (магнитной восприимчивости, электропроводности, твердости, плотности и т.д.) и т.д.

БД «Диаграмма» [1, 4, 5] содержит информацию, собранную и оцененную высококвалифицированными экспертами, о десятках фазовых Р-Т-х-диаграммах полупроводниковых систем и о физико-химических свойствах, образующихся в них фаз.

БД «Bandgap» [6] включает информацию о ширине запрещенной зоны более 4 тыс. неорганических веществ.

БД «Кристалл» [1, 5] включает информацию о свойствах (пьезоэлектрических (пьезоэлектрические коэффициенты, упругие постоянные и т.д.), нелинейно-оптических (нелинейно-оптические коэффициенты, компоненты тензора Миллера и т.д.), кристаллохимических (тип кристаллической структуры, сингония, пространственная и точечная группа, число формульных единиц в элементарной ячейке, параметры кристаллической решетки), оптических (показатели преломления, область прозрачности и т.д.), теплофизических (температура плавления, теплоемкость, теплопроводность и т.д.) и т.д.), более 140 акустооптических, электрооптических и нелинейнооптических веществ, собранную и оцененную высококвалифицированными экспертами в данной предметной области.

Все БД ИМЕТ РАН включают подсистему полных текстов публикаций (более 46 тыс.), из которых извлечены материаловедческие данные.

ИС также объединяет БД, разработанные в других организациях:

БД «AtomWork» (National Institute for Materials Science Technology, Япония) [7, 8] содержит информацию о более 82 тыс. кристаллических структур, 55 тыс. значений свойств материалов и 15 тыс. фазовых диаграмм.

БД по термическим константам веществ «ТКВ» (ОИВТ РАН и МГУ) [9] содержит информацию об около 27 тыс. веществ, образованных практически всеми химическими элементами.

БД СНВМ широко используются в фундаментальных и прикладных исследованиях и промышленности, однако ни одна из разработанных информационных систем не может дать исчерпывающие сведения обо всей совокупности свойств конкретного вещества или материала. Часто специалисты вынуждены просматривать десятки БД, чтобы найти необходимые им значения параметров заданного вещества. Для обеспечения релевантного и быстрого поиска данных о конкретном веществе из разных информационных систем нами предложено [1, 10] использовать виртуальную интеграцию БД СНВМ. Термин «виртуальная» означает, что данные не переносятся в одно хранилище данных, а находятся в исходных информационных системах, функционирующих в организациях-разработчиках. Интегрированная ИС позволяет специалисту получить сразу всю информацию о конкретном веществе из различных БД,



\*\*\*\*\*

находящихся в разных организациях и странах, созданных с использованием разных программных и аппаратных средств.

Для интеграции БД по свойствам неорганических веществ и материалов была использована SOA (сервисно-ориентированная архитектура), базирующаяся на применении Web-сервисов для обеспечения взаимодействия между гетерогенными информационными системами. Для поиска релевантной информации в контексте информационных систем используется специально разработанная метабаза [10], описывающая содержимое интегрируемых БД в терминах формализованной иерархии понятий, присущих неорганической химии и материаловедению.

При работе с интегрированной системой зарегистрированный пользователь входит в одну из БД, доступных по адресу [3]. Например, при работе с БД «Vandgar» пользователь, выбрав вещество из списка, получает на экране меню, содержащее ссылки на другие БД с релевантной информацией. При «щелчке» по этой ссылке пользователь автоматически переходит, например, в БД «Диаграмма» на полупроводниковую систему или в БД «Кристалл» на вещество, содержащие тот же набор химических элементов, которые образуют выбранное в БД «Vandgar» соединение.

Очень часто при поиске данных по свойству того или иного вещества пользователь не знает к какой БД СНВМ стоит обратиться для поиска информации. Поэтому нами разработана информационная система, доступная по адресу <http://meta.imet-db.ru>, названная “единой точкой входа” [10] (дополнительно модуль поиска размещен по адресу <http://www.imet-db.ru>). С ее помощью любой пользователь по заданному набору химических элементов может получить релевантную информацию, содержащуюся во всех БД СНВМ, консолидированных в рамках ИС ИМЕТ РАН.

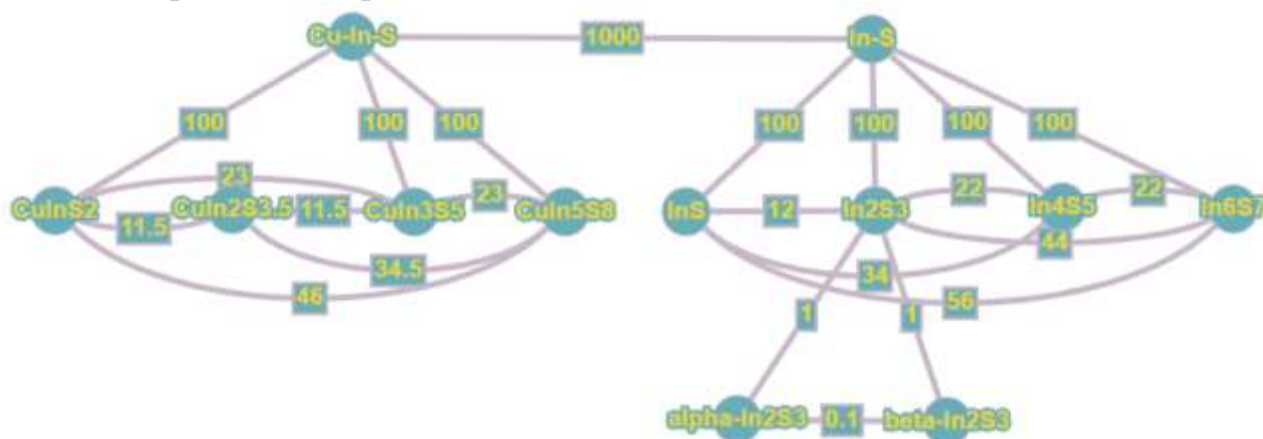


Рис. 1. Фрагмент графа релевантности для Cu-In-S и In-S.

Для поиска релевантной информации и получения количественной меры оценки релевантности в рамках интегрированной ИС СНВМ предложено использовать графовую модель, в основе которой лежит взвешенный граф  $G=(V,E)$ , построенный на химических объектах, описываемых в рамках



\*\*\*\*\*

интегрированной ИС СНВМ. Множество вершин  $V = \{S, C, M\}$  графа  $G$ , состоит из трех непересекающихся подмножеств:  $S$  – множество химических систем,  $C$  – множество химических веществ и  $M$  – множество кристаллических модификаций конкретных веществ. Определение взвешенного множества ребер графа, позволяющее найти для каждой вершины связный подграф, задает релевантную информацию, а длина пути между вершинами – меру релевантности.

В качестве примера рассмотрим фрагмент графа релевантности для химических систем Cu-In-S и In-S (рис. 1). Граф релевантности разбивается на подграфы, построенные на базе вершин из множества химических систем  $S$ , т.е. не существует пути в графе между веществами из разных химических систем в обход вершин химических систем. Вершины систем связаны ребром только в случае, если множество элементов одной из систем является собственным подмножеством другой системы и их мощности отличаются на единицу. По близости количественного состава связываются вершины подграфа веществ химической системы и подграфы модификаций. По сути, предложенная графовая модель является попыткой отразить степень похожести химических сущностей. В этом смысле, стоимость пути является мерой различия между соответствующими химическими объектами, являющимися вершинами графа.

Консолидация информации позволяет использовать средства анализа данных: от простейших способов агрегации информации, обработки сложных многокритериальных запросов, программ статистического анализа и визуализации результатов до сложных систем искусственного интеллекта. Разработанная нами специальная информационно-аналитическая система (ИАС) [11], помимо информационного обслуживания специалистов, предназначена для поиска закономерностей в больших массивах химических данных и компьютерного конструирования неорганических соединений [1]. Для поиска закономерностей используются программы распознавания образов по прецедентам [12, 13]. Помимо этого, ИАС расширяет возможности традиционных БД по свойствам веществ и материалов, предоставляя пользователю не только информацию об уже исследованных веществах, но и прогнозы для еще не изученных соединений и оценку их свойств.

#### Список литературы:

1. Киселева Н.Н., Дударев В.А., Земсков В.С. Успехи химии. 2010. Т.79. N.2. С. 162.
2. БД IRIC. <http://iric.imet-db.ru>. - (дата обращения: 01.09.2019).
3. Базы данных ИМЕТ РАН. <http://www.imet-db.ru/> - (дата обращения: 02.04.2018).
4. Земсков В.С., Киселева Н.Н., Петухов В.В. и др. // Изв. ВУЗов. Материалы электронной техники. 1998. N.3, С. 17.



\*\*\*\*\*

5. Киселева Н.Н., Прокошев И.В., Дударев В.А. и др. // Неорган. материалы. 2004. Т.42. N. 3. С.380.
6. Киселева Н.Н., Дударев В.А., Коржуев М.А. // Материаловедение. 2015. N. 7. С.3.
7. Xu Y., Yamazaki M., Villars P. // Jap. J. Appl. Phys. 2011. V. 50. N. 11. P. 11RH021.
8. БД “AtomWork”. [https://crystdb.nims.go.jp/index\\_en.html](https://crystdb.nims.go.jp/index_en.html). - (visited on 01.09.2019).
9. БД “ТКВ”. <http://www.chem.msu.su/cgi-bin/tkv.pl?show=welcome.html/welcome.html>. - (дата обращения: 01.09.2019).
10. Дударев В.А. Интеграция информационных систем в области неорганической химии и материаловедения. М.: URSS, 2016. 314 с.
11. Kiselyova N.N., Stolyarenko A.V., Ryazanov V.V. et al. // Pattern Recognition and Image Analysis. 2011. V.21. N.1. P. 88.
12. Журавлев Ю.И., Рязанов В.В., Сенько О.В. «РАСПОЗНАВАНИЕ». Математические методы. Программная система. Практические применения. М.: ФАЗИС, 2006. 176 с.
13. Гладун В.П. Процессы формирования новых знаний. София: СД "Педагог-6", 1995. 192 с.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект 18-07-00080. Работа выполнялась по государственному заданию № 075-00746-19-00.*



*Приглашенная лекция*

## **СВАРКА ВЗРЫВОМ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

*Первухина Ольга Леонидовна*

*Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения  
РАН, Черноголовка, [pol@ism.ac.ru](mailto:pol@ism.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10003**

В конструкции современного оборудования для атомного, нефтехимического, судостроительного машиностроения используются двухслойные крупногабаритные листы (биметаллы), которые объединяют в себе полезные свойства составляющих. Биметаллы обладают комплексом ценных свойств: конструкционная прочность и коррозионная и эрозионная стойкость, жаропрочность и другие сочетания свойств. Применение биметаллов позволяет не только повысить надёжность и долговечность большого класса деталей и оборудования, но и значительно экономить дорогостоящие цветные металлы и сплавы. Основными задачами в технологии производства биметаллов является создание прочного соединения составляющих слоев по всей поверхности контакта при заданном соотношении их толщины, формировании требуемой структуры, свойств каждого из слоев и биметалла в целом.

Относительная простота процесса, возможность соединять с высокой прочностью практически любые металлы и сплавы и возможность проводить работы без значительных капитальных затрат с использованием простейшего оборудования определили быстрое развитие метода сварки взрывом. Гибкость процесса, то есть переход от производства одного типа биметалла к другому не требует для большинства пар металлов кардинального изменения технологии.

Сварка взрывом сегодня из экзотического процесса стала обычным процессом промышленного производства биметалла, создавая конкуренцию традиционным методам металлургического производства: пакетной прокатки, электрошлаковой и электродуговой наплавки. Основные преимущества сварки взрывом универсальность и низкая энергоёмкость. Равнопрочное соединение слоёв образуется в твёрдой фазе, поэтому исходные материалы не изменяют своих свойств.

Основными недостатками метода сварки взрывом при производстве крупногабаритных листов с плакирующим слоем из коррозионностойкой стали, титана, медных и др. сплавов является возможное появление локальных дефектов сплошности соединения, участков пониженной прочности соединения и других дефектов. Отсутствие качественной связи между слоями по всей поверхности соединения может вызвать расслоения в процессе изготовления и



\*\*\*\*\*

эксплуатации оборудования из двухслойного листа, в частности, при выполнении операций гибки, резки, правки, холодной и горячей деформации, а также сварки. Это делает двухслойный лист непригодным для изготовления оборудования. Наличие локальных несплошностей требует проведения дорогостоящего и трудоемкого ремонта, в случае биметалла сталь-титан, ремонт практически не возможен. Помимо перечисленных требований биметаллы, полученные сваркой взрывом должны отвечать и всем традиционным требованиям к биметаллической металлопродукции.

В опубликованных исследованиях основное внимание уделяется вопросам волнообразования, деформации в зоне соединения, структуре соединения, процессам диффузии, образованию вихревых зон и т.п. В тоже время мало уделяется внимания процессам, идущим впереди точки контакта в сварочном зазоре. При соударении в режиме сварки взрывом в сварочном зазоре впереди точки контакта образуется ударно-сжатый газ, создаются высокие температуры и давление, происходят сложные физико-химические процессы, прямое наблюдение за которыми затруднено из-за наличия воздушной ударной волны и продуктов детонации.

При образовании соединения можно выделить три характерные зоны: точка контакта (I), зона впереди точки контакта (II) и зона формирования соединения (III).

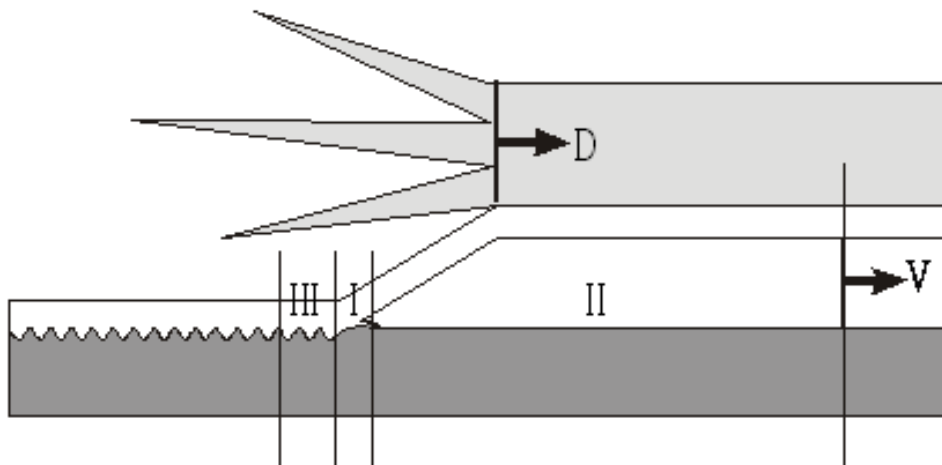


Рис.1. Зоны, выделяемые при образовании соединения в процессе сварки взрывом: I- зона точки контакта, II – зона впереди точки контакта, III- зона формирования соединения. D – скорость детонации, V- скорость движения ударно-сжатого газа.

В работе процесс образования соединения рассмотрен по классической теории сварки давлением, предусматривающей необходимость создания активных центров на свариваемых поверхностях. Эта теория распространяется на сварку давлением в твёрдой фазе любых кристаллических тел. При наличии



\*\*\*\*\*

активных центров на металле время их непосредственного химического взаимодействия (образования связи) мало или практического значения не имеет. Если атомы уже сближены до расстояния, равного периоду решётки, то образование связей между ними произойдёт мгновенно и с выделением энергии (рис.1, зона I). Образование активных центров обусловлено разрывом хотя бы части связей поверхностных атомов с их соседями, нарушающими стабильные электронные конфигурации этих атомов. Образованию активных центров мешают, имеющиеся на поверхности металла в зоне II (рис.1) хемосорбированный слой, плёнка окислов, слой адсорбированных газов и влаги и слой органических загрязнений (масляная плёнка). Состав и толщина окисной плёнки зависит от состава металла или сплава, от давления, температуры газовой фазы и продолжительности взаимодействия с ней металла. Возможность разрушения и удаления окисных плёнок при сварке зависит от ряда факторов: прочности связи окисла с металлом, твёрдости окисла, температуры плавления окисла. На поверхности самих окисных плёнок возможно наличие адсорбированных газов, влаги и органических веществ. Органические загрязнения особенно затрудняют сварку давлением. Тонкий граничный слой масел, жирных кислот, парафинов, находящихся на металлической поверхности, удерживаются на ней адсорбционными силами и достигается прочная связь между молекулами органического вещества и поверхностными атомами металла, а также вследствие их отвердения в граничном слое. Многие органические вещества способны легко проникать в несплошности на поверхности металла и могут существенно влиять на условия сварки давлением. Для образования соединения при сварке взрывом необходимо перед вступлением свариваемых поверхностей в контакт произвести их очистку и активацию тогда соединение в точке контакта произойдёт мгновенно с дальнейшим формированием соединения (рис.1, зона III).

В работе рассмотрены применительно к сварке взрывом механизмы активации свариваемых поверхностей и способы очистки их от органических загрязнений до образования физического контакта в точке соударения:

- возможность термической активации за счёт тепла, выделяющегося при ударном сжатии газа (УСГ) в сварочном зазоре впереди точки контакта. Расчёты по различным методикам показали, что, нагрев свариваемых поверхностей за счёт УСГ не превышает 300-400 °С и зависит от режима сварки и теплофизических свойств свариваемых материалов, что недостаточно для заметной активации свариваемых поверхностей и удаления окисных плёнок и органических загрязнений.

- возможность образования активных центров и очистки поверхностей за счёт бомбардировки поверхностей ионами или быстро движущимися частицами с достаточно высокой энергией. В сварочном зазоре впереди точки контакта УСГ движется с гиперзвуковой скоростью (5-6 махов). При обтекании им свариваемых поверхностей на границе раздела происходит термическая





\*\*\*\*\*

ионизация газа с образованием тонких слоев ударной плазмы. Расчёты степени ионизации по формулам Саха и Саха-Легмюра показали, что в пограничном слое между УСГ и поверхностью свариваемых металлов степень ионизации будет близка к единице. Под воздействием УСГ происходит нагрев поверхностных слоёв, а под воздействием термической ионизации очистка от окислов и загрязнений и активация поверхности. Время воздействия  $10^{-6}$ - $10^{-5}$  сек. Чистые и активные поверхности вступают в контакт в точке соударения и образуют соединение, формирование которого продолжается за точкой контакта и сопровождается интенсивной пластической деформацией.

Таким образом, при образовании соединения при сварке взрывом одновременно действуют два механизма активации свариваемых поверхностей перед вступлением их в контакт: воздействие ударно-сжатого газа и плазменных потоков на границе УСГ–поверхность металла и поверхностная пластическая деформация. Если сварка проводится в глубоком вакууме, то очистка происходит за счёт воздействия вакуума и преобладает второй механизм активации, при сварке на режимах с получением безволновых соединений – первый (поверхностная пластическая деформация).

На основании расчетов истечения газа из сварочного зазора в процессе сварки взрывом установлено, что размер области УСГ ограничен и зависит от ширины, длины листов и скорости точки контакта. Анализ исследования структуры соединения длинномерных образцов и результатов расчетов показывает, что по мере удаления точки контакта от начала процесса увеличивается время воздействия ударно-сжатого газа на свариваемые поверхности. Это приводит с начала к оплавлению микронеровностей, а затем появлению сплошных расплавов. Этот факт устанавливает границы предельных размеров листов, свариваемых методом сварки взрывом.



\*\*\*\*\*

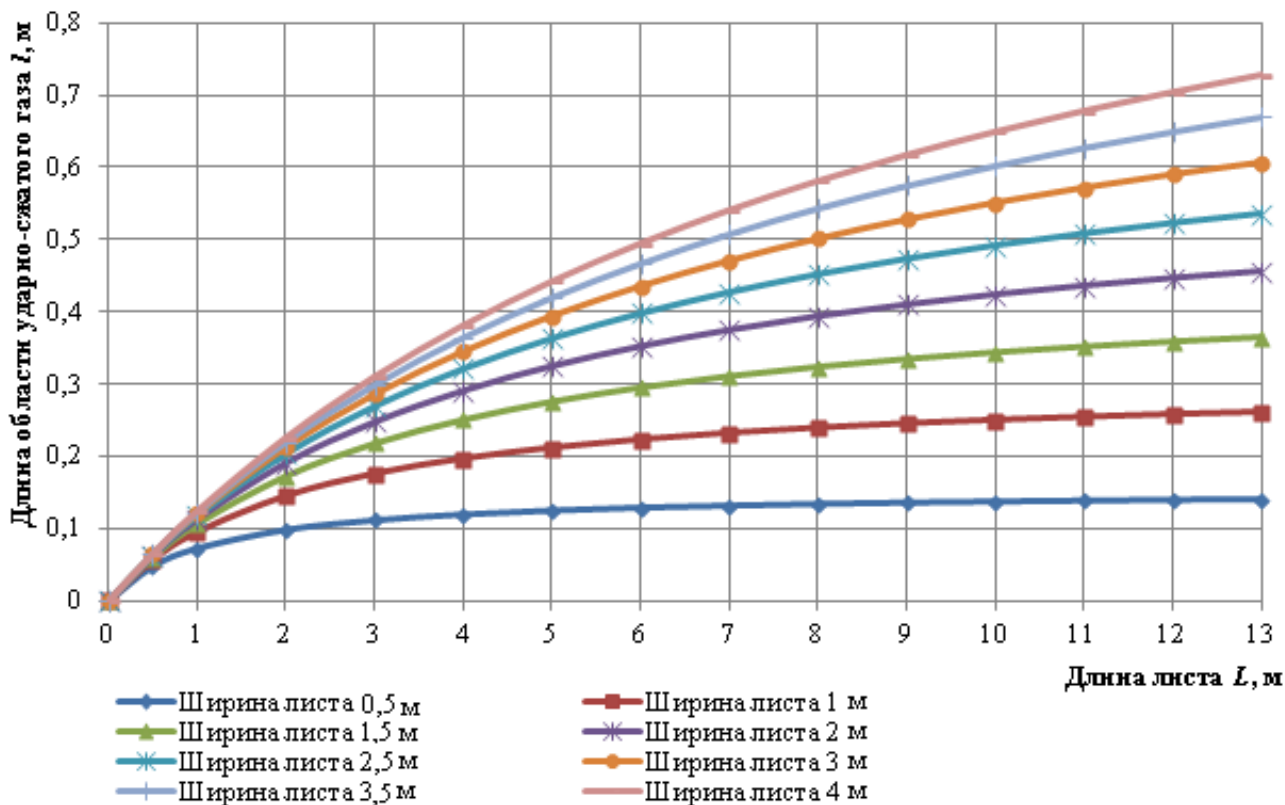


Рис. 2. Зависимость длины области ударно-сжатого газа от длины листа в среде воздуха при скорости точки контакта  $V_k = 2200$  м/с и различной ширине листа.

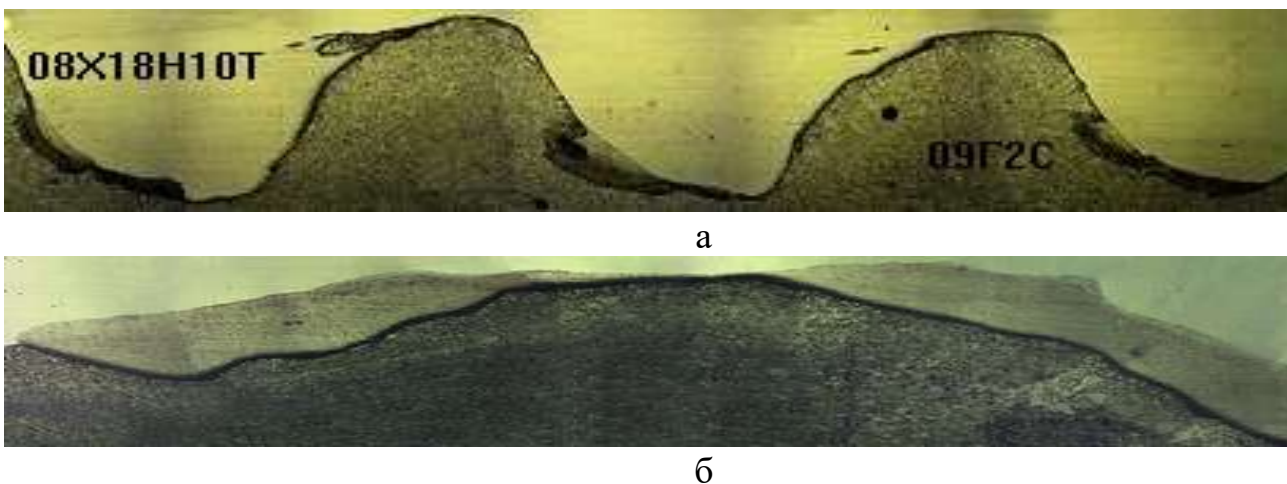


Рис.3. Структура границы соединения биметалла 09Г2С+08Х18Н10Т на различных расстояниях от начала сварки: 1 м (а) и 9 м (б).

На основании рассмотренных представлений проведен комплекс экспериментальных исследований процесса сварки взрывом на крупногабаритных листах. На парах титан+титан и титан+сталь выявлено, что атмосфера в сварочном зазоре при сварке взрывом оказывает ключевое влияние



\*\*\*\*\*

на структуру зоны соединения слоев. Исследованы особенности сварки взрывом в среде защитных газов металлов, образующих интерметаллидные соединения, и выявлены причины образования характерных дефектов в различных зонах крупногабаритного листа. Экспериментально исследованы закономерности пластической деформации основного и плакирующего слоев крупногабаритных листов вне зоны их соединения, влияние на эти процессы окружающей среды и установлена их связь с образованием дефектов.

В результате исследований разработаны и внедрены (рис. 4) современные технологии промышленного производства крупногабаритного биметалла, позволяющие получать двухслойные листы с равнопрочным соединением без указанных выше дефектов.



Рис. 4. Листы биметалла: сталь+коррозионностойкая сталь, размером 2х13 м, после сварки взрывом (а) и сталь+титан, размером 2х2 м после правки.



*Приглашенная лекция*

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
РАСТВОРИМОСТИ КИСЛОРОДА В ЖИДКИХ МЕТАЛЛАХ Ni,  
Co, Fe, Mn ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ  
ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЛЕГИРОВАННОЙ  
СТАЛИ**

*Шильников Е.В., Падерин Сергей Никитович*

*АО «Металлургический завод «Электросталь», Электросталь*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10004**

Термодинамические расчеты окислительных реакций показали, что с увеличением температуры от 1600°C до 2050°C константа равновесий реакции окисления углерода уменьшается в 4 раза и остается на уровне  $10^7$ , а реакции окисления хрома уменьшается на 2 порядка (в 100 раз) с  $1,1 \cdot 10^6$  до  $1,4 \cdot 10^4$ . Этот анализ стал основанием для разработки и внедрения высокотемпературного варианта технологии окислительного процесса при производстве легированной стали марок 08X18H10, 04X19H9 и им подобным.

Установлены линейные статистические зависимости функций растворимости кислорода  $RT \ln X_{O_{max}}$  в жидких металлах Ni, Co, Fe, Mn от стандартных энергий Гиббса  $AG^{\circ}_{MeO}$  реакций окисления этих жидких металлов вида  $RT \ln X_{O_{max}} = a \cdot \Delta G^{\circ}_{MeO} - b$ , где  $a = 0,0004 \cdot T - 0,478$ ,  $r = 1,00$  и  $b = 0,659 \cdot T - 158,05$ ,  $r = 0,9985$ .

Относительный химический потенциал кислорода равен  $RT \ln a_{O_{max}} = AG^{\circ}_{MeO}$

Избыточный химический потенциал кислорода  $RT \ln \gamma_{O_{max}}$

$$RT \ln \gamma_{O_{max}} = RT \ln a_{O_{max}} - RT \ln X_{O_{max}} = (1-a) \cdot G^{\circ}_{MeO} + b = (1-X_{O_{max}})^2 \cdot Q_{Me-O}$$

Это дало возможность получить температурные зависимости энергий смешения жидких металлов с кислородом

$$Q_{Ni-O} = -79,440 + 0,0344 \cdot T, r = 0,9942; Q_{Co-O} = -60,124 + 0,0117 \cdot T, r = 0,9949$$

$$Q_{Fe-O} = -109,055 + 0,0193 \cdot T, r = 0,9985; Q_{Mn-O} = -245,352 + 0,0579 \cdot T, r = 1,0000$$

Полученные уравнения использованы в расчетах активности и концентрации кислорода при фактических температурах расплавов в конце окислительных процессов при выплавке легированной стали.



*Приглашенная лекция*

## **СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ПУБЛИКАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И РАЗВИТИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОММУНИКАЦИИ**

*Карнов Сергей Владимирович*

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов,*

[karnov.sv@mail.tstu.ru](mailto:karnov.sv@mail.tstu.ru)

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10005**

Публикация результатов научной деятельности является неотъемлемой и наиболее ответственной частью проведенных исследований, занимающей значительное время. Для оценки публикации используются критерии новизны и оригинальности темы, целесообразностью и мощностью методологического аппарата, качества написания текста, структурирования и форматирования каждого раздела рукописи, а также профессионализмом в анализе научных фактов и выводов. В докладе рассмотрены современные инструменты и сервисы информационного сопровождения деятельности учёного на каждом этапе научно-исследовательской работы.

Для подготовки научной статьи и подбора журнала для её публикации целесообразно использовать сервисы Scopus и ScienceDirect международного издательства Elsevier. Особое внимание уделяется анализу критериев отбора журналов в Scopus и механизму экспертной оценки журналов.

Для поиска научной информации и проведения патентных обзоров инструмент Google Scholar (Академия Гугл). Рассмотрены механизмы расширенного поиска научной информации, сохранение результатов, создание собственных библиотек научных статей, автоматическое формирование библиографических ссылок на научные работы, создание профиля автора научных работ для отслеживания личных наукометрических показателей, настройка автоматического оповещения о цитировании научных работ.

Заслуживает особого внимания сервис хранения научной информации и библиографических ссылок Mendeley. Рассмотрены основные принципы работы по хранению и аннотированию научных статей, формирование списка цитируемой литературы, а также использование сервиса для поиска информации и учёта наукометрических показателей.

Эффективным инструментом повышения публикационной активности является крупнейшая социальная сеть учёных ResearchGate. Использование этого сервиса позволяет иметь свободный доступ к полнотекстовым версиям статей; осуществлять поиск необходимой научной информации; просматривать



XVII Всероссийская с международным участием школа – семинар по структурной макрокинетике для молодых ученых имени академика А.Г. Мержанова

\*\*\*\*\*

статьи выбранных авторов и коллективов; рассчитывать персональный научный индекс учёного, основанный на анализе цитирований, скачиваний статей и количества подписчиков; публиковать собственные материалы для общего доступа научным сообществом.



\*\*\*\*\*

## ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В УСЛОВИЯХ СОЧЕТАНИЯ ПРОЦЕССОВ СВС И СДВИГОВОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

*Чижиков А.П. молодой ученый, 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, [chij@ism.ac.ru](mailto:chij@ism.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10006**

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.

На сегодняшний день композиционные материалы  $Al_2O_3$ -SiC,  $TiB_2$ -SiC были получены различными методами, однако наиболее широко используется высокотемпературное спекание с порошками  $Al_2O_3$ , SiC и  $TiB_2$  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  $Al_2O_3$ - $TiB_2$ -SiC в результате сочетания процессов горения в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и последующего пластического деформирования, реализованного в методе СВС-экструзии. Синтез материала происходит в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с последующим пластическим деформированием. В работе были получены стержни длиной до 465 мм и диаметром 5 мм. Согласно результатам РФА и СЭМ, полученные стержни имеют композиционную структуру, а именно матрицу  $Al_2O_3$  с распределенными в ней частицами диборида титана и карбида кремния, а также равномерное распределение фаз по всей длине стержня. Микротвердость матрицы составила 2500-2600 кг/мм<sup>2</sup>, дисперсно-упрочняющих фаз - 3200-3400 кг/мм<sup>2</sup>. Испытания на жаростойкость показали, что в ходе термообработки в течении 21 часа при температуре 1000 °С удельный прирост и истинная скорость прироста массы образцов составили 8,3 г/м<sup>2</sup> и 1 г/(м<sup>2</sup>\*час) соответственно.



\*\*\*\*\*

## ПОЛУЧЕНИЕ СЛОИСТЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ Ti/Ti-Al-C МЕТОДОМ СВОБОДНОГО СВС- СЖАТИЯ

*Прокопец А.Д. аспирант, Бажин П.М., Столин А.М., Аверичев О.А.,  
Столин П.А., Семичев С.В.*

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

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10007**

Наиболее перспективным классом композиционных материалов является слоистые композиционные материалы на основе МАХ-фазы. Данные материалы сочетают в себе свойства металлов (высокая тепло- и электропроводимость, стойкость к тепловым ударам) и керамики (низкий удельный вес, высокий модуль упругости, низкий тепловой коэффициент расширения, высокая тепло- и жаростойкость) [1].

В настоящей работе получение слоистых керамических материалов (СКМ) осуществлялось методом свободного СВС-сжатия. Сущность этого метода заключается в уплотнении и формовании материала под действием постоянного невысокого давления (~10-100 МПа). К преимуществам этого метода можно отнести использование наиболее благоприятной схемы напряженного состояния и сдвигового пластического деформирования материала, способствующие к “залечиванию” макротрещин и пор в деформированном материале. Следует отметить также еще одно преимущество метода СВС-сжатия. Обычно, при СВС-компактировании используются специальные пресс-формы, которые должны выдерживать достаточно высокие давления (~1000 МПа) и высокие тепловые нагрузки (Т~2000 К). Метод СВС-сжатия предусматривает возможность уплотнения без применения специальных пресс-форм [2].

В настоящей работе получен СКМ на основе МАХ-фазы исходного состава 2Ti-1,5Al-1C на титановой подложке методом свободного СВС-сжатия. Выбранные компоненты обеспечивают хорошую химическую совместимость за счет расплавления поверхности подложки в ходе синтеза и взаимодействия ее с продуктами синтеза. В работе проведено изучение формирования границы раздела между слоями, поскольку влияние на свойства всего композиционного материала оказывает стабильность химического состава и структура границы раздела при условиях эксплуатации: температура, давление и внешняя нагрузка.





\*\*\*\*\*

Получение слоистого композиционного материала исходного состава  $2\text{Ti}-1,5\text{Al}-1\text{C}$  методом СВС-сжатия осуществлялось при следующих технологических параметрах: время задержки 1 с, давление 10 МПа, температура нагрева заготовки  $500\text{ }^\circ\text{C}$ , температура нагрева подложки  $500\text{ }^\circ\text{C}$ .

На рисунке 1 представлен общий вид структуры полученного слоистого керамического материала.

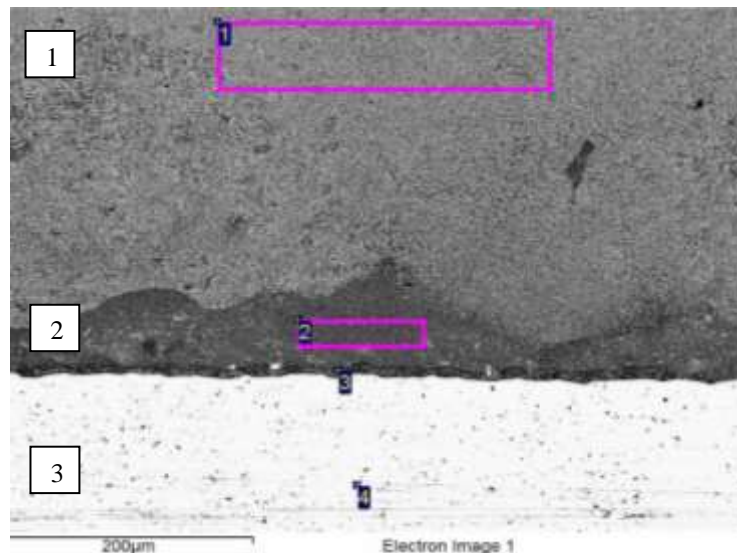


Рис. 1. Микроструктура слоистого керамического материала на основе  $\text{Ti}/\text{Ti}-\text{Al}-\text{C}$ .

Установлено, что данный СКМ состоит из трех основных макрослоев, соответствующих различным фазовым и структурным составляющим.

Первый слой (область 1, рисунок 1) представляет собой материал, содержащий включения характерной пластинчатой формы для МАХ-фаз состава  $\text{Ti}-\text{Al}-\text{C}$ .

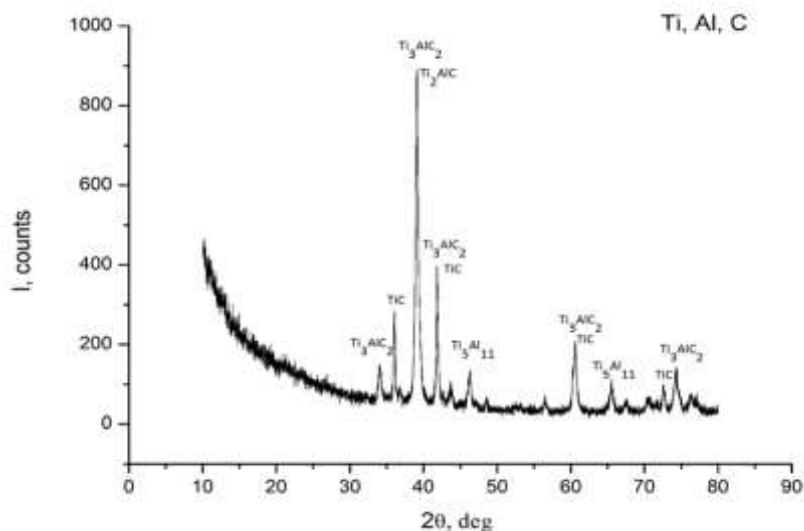


Рис. 2. Результаты рентгенофазового анализа верхней части синтезированного материала.



\*\*\*\*\*

Согласно рентгенофазовому анализу (РФА) (рисунок 2) в результате синтеза образуется два стехиометрических состава МАХ-фазы:  $Ti_3AlC_2$  (60 масс. %) и  $Ti_2AlC$  (10 масс.%). Помимо МАХ-фазы обнаружены округлые зерна  $TiC$  (20 масс. %) и интерметаллидные фазы алюминиды титана  $Ti_5Al_{11}$  и  $TiAl_3$  (10 масс.%).

Второй слой (область 2, рисунок 1) представляет собой переходную зону между синтезированным материалом и титановой подложкой, включает в себя матрицу из алюминиды титана с распределением в ней зерен МАХ-фазы.

Третий слой (область 3, рисунок 1) представляет собой титановую подложку.

Исследование структуры состава  $2Ti-1,5Al-C$ , проведенное с помощью сканирующей электронной микроскопии, показало слоистый характер материала, состоящий из трех основных слоев, имеющих различный состав. В верхних частях материала наблюдается преобладание карбидных зерен за счет контакта верхней части исходной заготовки с плунжером пресса, в следствие этого увеличиваются теплотери при сжатии, и уменьшается время нахождения синтезированного материала при температуре образования МАХ-фаз, которая составляет 1350...1500 °С. Для ниже расположенных слоев теплотери снижаются, что приводит к увеличению времени нахождения синтезированного материала при температуре образования МАХ-фазы, в результате увеличивается доля МАХ-фазы в материале и снижаются карбидные и интерметаллидные включения.

#### Список литературы:

1. Прихна Т.А., Дуб С.Н., Старостина А.В., Карпец М.В., Кабъеш Т., Шартъе П. Механические свойства материалов на основе МАХ-фаз системы  $Ti-Al-C$ . Сверхтвердые материалы, 2012. № 2. 38–48 с.
2. Столин А.М., Бажин П.М., Константинов А.С., Столин П.А., Прокопец А.Д., Ковалев И.Д. Метод свободного СВС-сжатия для получения крупногабаритных плит из керамических материалов. Новые огнеупоры, 2019, №. 5. С. 100-103.



\*\*\*\*\*

## **СВС-ЭКСТРУЗИЯ КОМПАКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Ti–V–Fe МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОПОРОШКОМ AlN**

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

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

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10008**

На сегодняшней день, одной из актуальных задач машиностроения является повышение работоспособности, износостойкости и надежности рабочих частей деталей и механизмов, подверженных интенсивному износу [1]. Для этих целей хорошо себя зарекомендовал метод электроискрового легирования (ЭИЛ). Этот метод позволяет проводить локальное упрочнение и восстановление деталей, являясь простым и экономичным в технологическом плане. При проведении электроискрового легирования, для повышения эффективности процесса, важен подбор электродных материалов. Такие материалы должны отвечать требованиям высокого уровня физико-механических и эксплуатационных свойств [2,3].

Бориды титана (TiB, TiB<sub>2</sub>) обладают высокими физико-механическими характеристиками такими как износостойкость, сверхтвёрдость и низкий коэффициент термического расширения, что делает их наиболее перспективными материалами, для применения в качестве износостойкой составляющей электродов. Однако применение боридов титана ограничено из-за их высокой эрозионной стойкости. Эту проблему можно решить путем добавления металлической связки, которая приведет к смачиванию твердой износостойкой фазы. Для боридов титана наиболее подходящей металлической связкой является железо, т.к. обладает хорошей химической устойчивостью и высокой смачиваемостью. Введение металлической связки приводит к повышению пластичности материала. Для повышения дисперсионного упрочнения использовался метод модифицирования. Известно, что применение нанопорошков в различных отраслях промышленности приводит к значительному увеличению физико-механических свойств модифицированных материалов и изделий.

Металлокерамические композиционные материалы (МКМ) получают, как правило, методами порошковой металлургии. Однако данные технологии имеют ряд недостатков, связанных с длительностью технологического процесса и наличием высокой остаточной пористости в конечном продукте [4,5].



\*\*\*\*\*

Проблему остаточной пористости можно решить с помощью технологии СВС–экструзии, данная технология позволяет получать компактные МКМ с пористостью не более 5% [6-8].

Данная работа посвящена изучению влияния наноразмерных порошков нитрида алюминия (AlN) на структуру и физико-механические свойства компактных МКМ на основе системы Ti-B-Fe, полученных методом СВС–экструзии. Наноразмерный порошок AlN получали в СамГТУ по азидной технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [9].

В данной работе исследовалось влияние нанопорошка AlN на структуру и физико-механические характеристики получаемых электродов. Методом СВС–экструзии были получены компактные МКМ на основе системы Ti-B-Fe без добавления нанопорошка AlN и с 3 и 5 масс % AlN. Синтезированные компактные стержни исследовались методами рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопии. Результаты СЭМ полученных образцов показали равномерное распределение основной фазы TiB<sub>2</sub> по сечению шлифа образца. С увеличением содержания AlN в материале образуются новые фазы: интерметаллиды AlFe<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>Ti, твердые растворы Fe<sub>3</sub>Ti<sub>3</sub>B, Fe<sub>2</sub>V и TiN

#### Список литературы:

1. Серебровская Л. Н., Алехин Ю. Г., Щенников Д. А. Использование электроискрового легирования в ремонтном производстве автомобильного транспорта // Агропромышленный комплекс: контуры будущего. – 2018. – С. 308-310.
2. Иванов В. И. и др. Основы универсальности и эффективности электроискрового легирования и перспективы его развития // Труды Кольского научного центра РАН. – 2018. – Т. 9. – №. 2-2.
3. Верхотуров А. Д., Николенко С. В. Классификации. Разработка и создание электродных материалов для электроискрового легирования // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – №. 2. – С. 13-22.
4. Колесникова К.А. Композиционные износостойкие покрытия системы Ti-B-Fe, полученные методом электронно-лучевой наплавки в вакууме // Томск: Автореферат диссертации, 2008. – С. 18.
5. Тенденция развития и современное состояние исследований в области титановых сплавов / Н.А. Ночовная, В.Г. Анташев // Все материалы. Энциклопедический справочник, № 1, 2009. – 412 с.
6. 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.
7. Константинов А.С., Болоцкая А.В., Бажин П.М., Столин А.М., СВС–экструзия длинномерных стержней на основе TiB/Ti // Вестник СамГТУ, серия «Технические науки», 2017, № 4. С. 160-165.



\*\*\*\*\*

8. Болоцкая А.В., Михеев М.В., Бажин П.М., Столин А.М., Титова Ю.В., Влияние наночастиц нитрида алюминия на структуру, фазовый состав и свойства материалов на основе TiV/Ti, полученных методом СВС-экструзии // Перспективные материалы, 2019, №. 1. – С. 73-80.
9. Амосов, А. П. Азидная технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза микро- и нанопорошков нитридов. [Текст] / А. П. Амосов, Г. В. Бичуров // М.: Машиностроение – 1, 2007. – 526 с.



\*\*\*\*\*

## **ПОЛУЧЕНИЕ ФЕРРО - АБРАЗИВНЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ TiC МЕТОДОМ СВС – ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ**

***Михеев М.В. молодой ученый, Болоцкая А.В., Столин А.М., Бажин П.М.***

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки **Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук, Черногловка, [mixeev777@rambler.ru](mailto:mixeev777@rambler.ru)***

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10009**

На сегодняшний день на предприятиях машиностроительной и авиационной промышленности широкое распространение получил метод магнитно – абразивной полировки. Данный метод обработки поверхности используется на финишных этапах производства сложнопрофильных деталей, которые другими методами обрабатываются с большим трудом [1,2]. В качестве материалов, применяемых в методе магнитно – абразивной полировки, широко используются магнитно - абразивные порошки, относящиеся к классу композитных материалов. В состав данных порошковых материалов входит композиция из ферро- магнитной и абразивной составляющих. В качестве первой компоненты, наибольшее применение получило железо, обладающее высокой индукцией насыщения и сравнительно небольшой стоимостью. Вторым компонентом являются твердые, износостойкие соединения на основе карбидов, боридов, силицидов и нитридов [3].

Эффективность применения порошковых магнитно – абразивных материалов зависит от формы частиц, их гранулометрического состава, твердости абразивной составляющей, отсутствия химической активности к обрабатываемому материалу, хорошей адгезионной способности между составляющими, а также от технологичности и стоимости производства. В настоящее время существуют несколько методов получения данных материалов: традиционные методы порошковой металлургии, псевдоплавление и распыление из расплава газом, прокатка смеси железного порошка и абразива [4,5]. Все перечисленные методы обладают рядом существенных недостатков: необходимость в сложном и дорогостоящем оборудовании, множество проводимых операций и значительные энергозатраты, что в свою очередь влияет на эффективность получаемых порошков.

Альтернативным способом получения ферро – абразивных порошков является метод СВС-измельчения [6,7], который совмещает процессы синтеза и последующего измельчения продуктов синтеза в одной установке и в одном технологическом цикле. Преимущества выбранного способа при синтезе



\*\*\*\*\*

порошковых материалов заключаются в возможности варьировать деформационные параметры (скорость деформирования, времена задержки и воздействия, тип деформирующего устройства) и таким образом оказывать влияние на структурообразование материала, гранулометрический состав и морфологию. В ходе проведенных экспериментов были получены опытные образцы порошковых материалов на основе TiC, с содержанием 20 и 30 масс. % Fe, на рисунке 1 показаны микрофотографии полученных порошков.

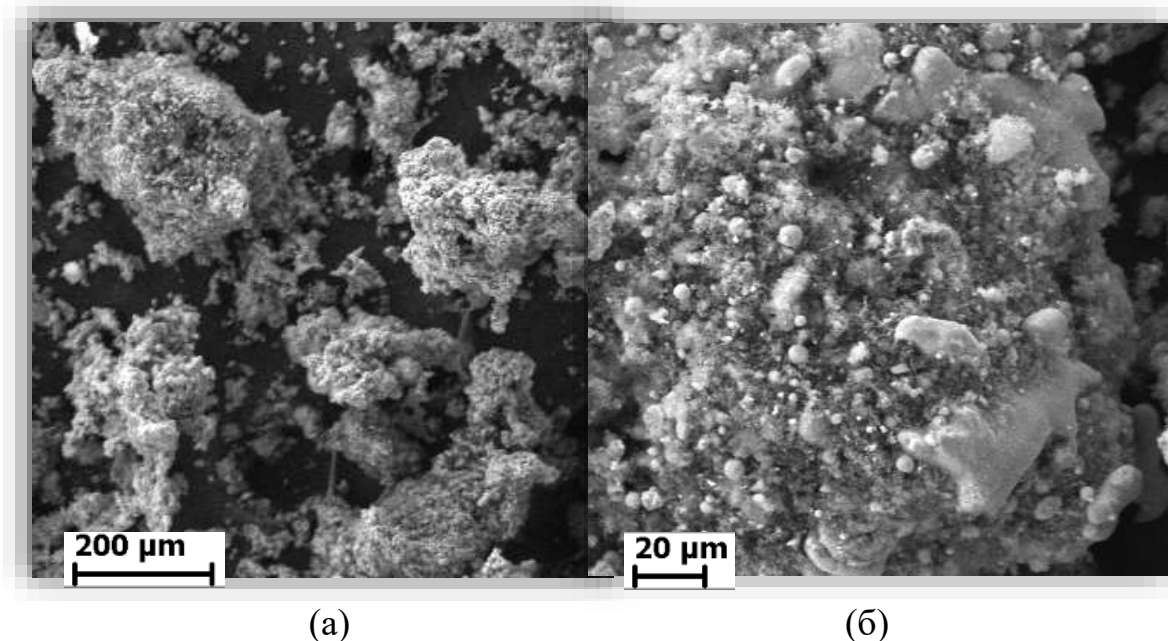


Рис. 1. Микроструктура полученного порошкового материала TiC - 30 масс. % Fe: (а) увеличение x200; (б) увеличение x 1000.

Анализ микроструктуры показал, что в ходе проведения СВС - измельчения образуется карбид титана, а железо расплавляется и смачивает поверхность образовавшихся частиц. Полученные порошковые материалы обладают магнитными свойствами, что свидетельствует о перспективности применения метода СВС-измельчения для получения магнитно – абразивных материалов.

#### Список литературы:

1. Майборода В. С., Слободянюк И. В., Джулий Д. Ю. Магнитно-абразивная обработка деталей сложной формы. – 2017.
2. Барон Ю. М. Физические основы работы магнитно - абразивных материалов // Магнитно-абразивные материалы и методы их испытания. –Киев: ИПМ АН УССР. – 1980. – С. 10-17.
3. Оликер В.Е. Порошки для магнитно – абразивной обработки и износостойких покрытий / Москва: Металлургия, 1990. – 176 с.
4. Акулович Л. М., Сергеев Л. Е., Сенчуров Е. В. Ферроабразивные порошки для магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей. – 2019.



\*\*\*\*\*

5. Акулович Л. М., Сергеев Л. Е., Сенчуров Е. В. Исследование ферромагнитного абразивного материала на основе боридов железа: – 2019.
6. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез материалов на основе дисилицида молибдена в условиях давления со сдвигом: дисс. канд. техн. наук: 01.04.17 / Михеев Максим Валерьевич. – Черногловка, 2018. – 141
7. Stolin A. M. et al. Self-Propagating High-Temperature Synthesis of Titanium Carbide Powder under Pressure–Shear Conditions //Inorganic Materials. – 2018. – Т. 54. – №. 6. – С. 521-527.





\*\*\*\*\*

## **СВС ДВОЙНОГО КАРБИДА ТИТАНА-ХРОМА (Ti, Cr)C С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКОЙ ИЗ ГРАНУЛИРОВАННОЙ ШИХТЫ**

***Абзалов Н.И.** аспирант, **Сеплярский Б.С.**, **Кочетков Р.А.**, **Лусина Т.Г.***

*Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения  
им. А.Г. Мержанова РАН, Черногловка, [abzalov396@mail.ru](mailto:abzalov396@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10010**

Двойной карбид титана-хрома (Ti,Cr)C, сохраняя основные свойства карбида титана, обладает более высокой стойкостью к окислению за счет образования защитного слоя из оксида хрома Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Для уменьшения хрупкости и повышения адгезии при напылении защитных покрытий в порошки на основе двойных карбидов титана-хрома вводится металлическая связка – Ni, Mo, NiCr, Cu и др.

Композиты на основе двойных карбидов могут быть получены методами порошковой металлургии, горячего изостатического прессования, искрового плазменного спекания, самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Среди этих методов СВС отличается сочетанием низкого энергопотребления, высокой скорости процесса, чистоте и однородности продукта, получаемого за один технологический цикл. Эти особенности СВС обусловлены плавлением отдельных компонентов исходной смеси в процессе синтеза, что приводит к самодиспергированию реагентов и повышению однородности продуктов синтеза.

В настоящей работе исследовали процесс СВС гранулированной смеси Ti-Cr-C с никельсодержащей связкой при различном соотношении компонентов и фазовый состав полученного продукта.

В данной работе для получения порошка двойного карбида титана-хрома с металлической связкой предлагается использовать вместо порошковой гранулированную шихту. Можно предположить, что использование гранулированной шихты позволит получить продукт в виде хрупкого спека, легко разделяемого на отдельные гранулы, размол которых до порошкообразного состояния будет менее энергозатратным. Это предположение основано на наших результатах, согласно которым при горении гранулированных составов Ti-C даже при наличии металлической связки гранулы сохраняют свои размеры и не спекаются друг с другом. Грануляция исходной смеси позволяет также нивелировать влияние разного содержания примесных газов и влаги в шихте и обеспечить стабильность свойств получаемых продуктов.



\*\*\*\*\*

Гранулирование составов проводилось следующим образом. Предварительно исходная порошковая смесь перемешивалась в течение 4 ч в смесителе типа “пьяная бочка”. Затем к полученной смеси добавляли четырехпроцентный (масс.) раствор поливинилбутираля в этиловом спирте. Полученная после смешения пастообразная масса протиралась через сито с размером ячейки 1,25 мм. Для придания полученным частицам сферической формы они окатывались на вращающейся горизонтальной поверхности. Затем частицы высушивались на воздухе в течение 10 ч и рассеивались на вибросите. В данной работе использовались гранулы с размерами 0.63-1.6 мм.

Состав исходных смесей, не содержащих связку, рассчитывался на получение конечного продукта 70%TiC/30%Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (масс.). Также использовались смеси, содержащие 20% (масс.) никеля или нихрома-80% (70% TiC/30% Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>)+20% Ni; 80% (70% TiC/30% Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>)+20% Ni80Cr20; 80% (70% TiC/30% Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>)+20% Ni60Cr40.

Рассмотрим влияние содержания металлической связки на фазовый состав продуктов синтеза для гранулированных смесей. Фазовый состав конечного продукта изучали с помощью дифрактометра ДРОН-3 с использованием монохроматического CuK $\alpha$ -излучения. Съемку дифрактограмм проводили в режиме шагового сканирования в интервале углов  $2\theta = 20 \div 80^\circ$  с шагом съемки  $0.2^\circ$ . Полученные дифрактограммы анализировали с использованием базы данных PDF-2. РФА продуктов горения смеси 70%TiC/30%Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> показал, что продукт представляет собой двойной карбид титана-хрома (Ti,Cr)C с небольшой долей TiC (рис.1).

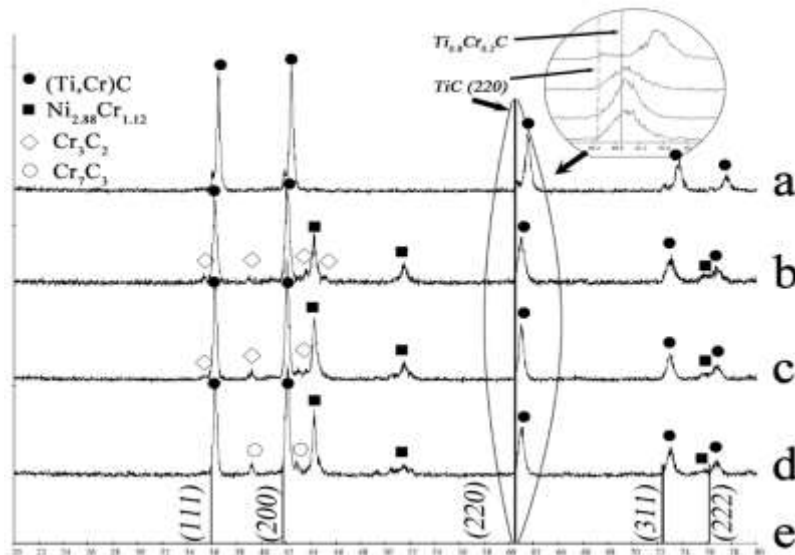


Рис. 1. Результаты РФА продуктов синтеза гранулированных смесей на основе состава 70%(Ti+C)/30%(3Cr+2C): a – 70%(Ti+C)/30%(3Cr+2C), b – 80%(70% TiC/30% Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>)+20% Ni, c – 80%(70% TiC/30% Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>)+20% Ni80Cr20, d – 80%(70% TiC/30% Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>)+20% Ni60Cr40.



\*\*\*\*\*

На рис. 1е указано положение фазы TiC. В увеличенном масштабе смещение одного из пиков фазы (Ti,Cr)C (сверху вниз a,b,c,d) показано в круге вверху. При добавлении 20% (масс.) Ni (смесь 80%(70%TiC/30%Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>)+20% Ni) фазовый состав изменяется (рис. 1,b): появляются фазы карбидов хрома и никрома. Пики основной фазы (Ti,Cr)C смещаются в сторону меньших углов, что, в соответствии с литературными данными, говорит об уменьшении содержания хрома в двойном карбиде (Ti,Cr)C. В увеличенном масштабе смещение одного из пиков фазы (Ti,Cr)C при различном составе связки (сверху вниз a,b,c,d) показано на том же рисунке вверху. Присутствие фазы никрома показывает, что часть хрома оказалась связана с никелем.

Образец с металлической связкой, синтезированный из гранулированной шихты, можно было измельчить до порошкообразного состояния как вручную (в ступке), так и с помощью пресса при давлении  $\sim 25$  кгс/см<sup>2</sup> (рис. 2b). Продукты горения порошковых смесей дробились без использования пресса только в тех случаях, когда смесь не содержала связку. Образцы, содержащие металлическую связку, представляли собой прочный спек (рис. 2c), который удалось раздробить на куски размером  $\sim 5 \div 10$  мм только при помощи пресса (давление  $\sim 25$  кгс/см<sup>2</sup>) (рис. 2d). Дальнейшее дробление до частиц размером 1-2 мм потребовало давления  $\sim 125$  кгс/см<sup>2</sup> (рис. 2e).

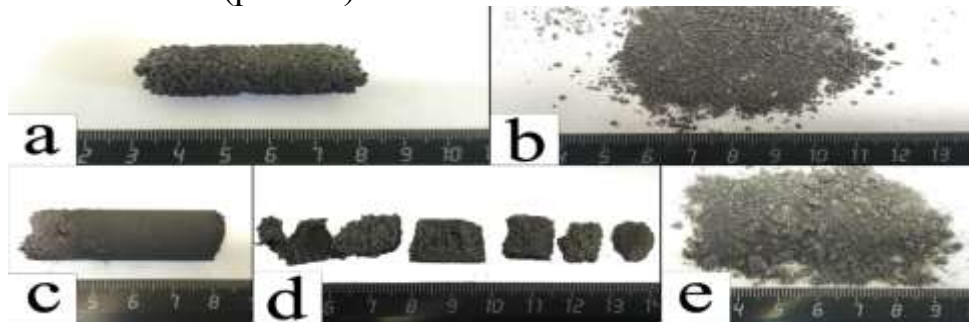


Рис. 2. Внешний вид продуктов горения гранулированной и порошковой смесей. а – образец после синтеза из гранулированной смеси, б – результат разрушения образца (а) с усилием 700 кгс ( $\sim 25$  кгс/см<sup>2</sup>), с - образец после синтеза из порошковой смеси, d – результат разрушения образца (с) с усилием 700 кгс ( $\sim 25$  кгс/см<sup>2</sup>), е – результат разрушения образца (с) с усилием 3532 кгс ( $\sim 125$  кгс/см<sup>2</sup>).

Показано, что продукты синтеза гранулированных составов 70%(Ti+C)/30%(3Cr+2C) как без связки, так и с никельсодержащей связкой, в отличие от порошковых смесей, представляют собой хрупкий спек из гранул исходного размера.

Установлено, что при введении никелевой связки уменьшается содержание хрома в двойном карбиде (Ti,Cr)C, что является следствием взаимодействия никеля с хромом с образованием никрома.

*Работа выполнена при участии РЦКП ИСМАН.*



\*\*\*\*\*

## ВЛИЯНИЕ ТИТАНА НА СКОРОСТЬ ПРОТЕКАНИЯ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА В СИСТЕМЕ БОР-ТИТАН

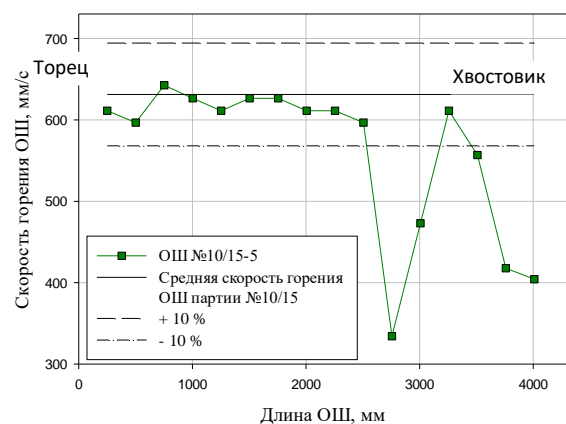
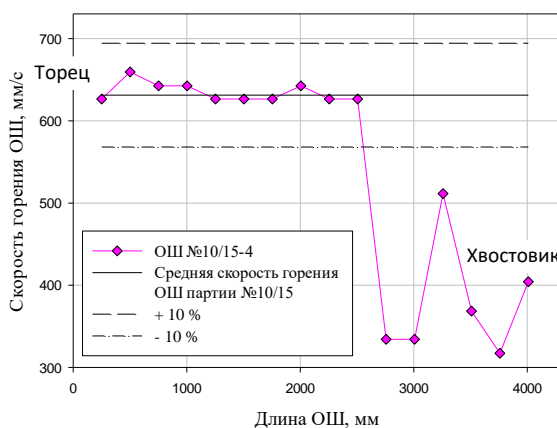
*Борисов В.Н., Зайковская О.Н., Зюбанова В.И. молодой ученый, Киселёв С.Н., Седов Е.В., Титова О.В.*

*ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина», Снежинск, [bvn@ted.ch70.chel.su](mailto:bvn@ted.ch70.chel.su)*

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10011

Безгазовый состав бор-титан представляет собой механическую смесь порошков бора аморфного и титана. Взаимодействие титана с бором происходит по типу самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Состав бор-титан применяется в качестве сердцевины огнепроводного шнура (ОШ), заключённой в тонкостенную медную оболочку, при этом скорость горения каждого ОШ, изготовленного из одной партии состава бор-титан не должна отличаться более чем на 10 % от средней скорости в партии.

В настоящее время периодически наблюдаются случаи неравномерного горения ОШ, как внутри партии, так и разных участков в пределах одного ОШ (рис.1). Проведённый нами анализ показал, что неравномерность распространения фронта горения ОШ может зависеть от природы порошкообразного титана, входящего в состав бор-титан.



а) скорость горения ОШ № 10/15-4

б) скорость горения ОШ № 10/15-5

Рис. 1. Изменение скорости горения состава бор-титан по длине ОШ.

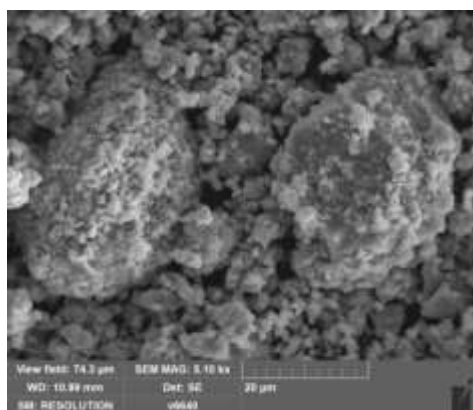


\*\*\*\*\*

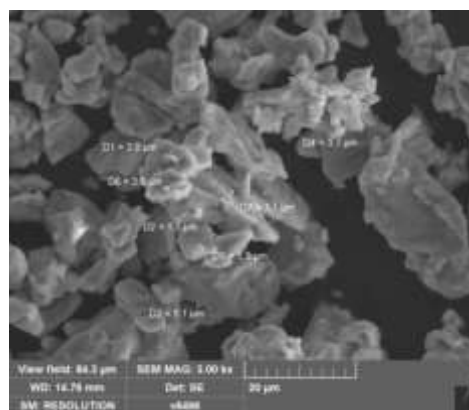
В составе бор-титан используется порошок титановый, полученный из магнийтермической титановой губки. Данный порошок представляет собой агломераты размером порядка 10 мкм, состоящие из более мелких частиц, что обуславливает очень развитую поверхность порошка и, как следствие, высокую химическую активность.

Цель работы – поиск новых марок порошка титанового для замены магнийтермического порошка и исследование влияния титана на скорость горения состава бор-титан в ОШ.

В результате анализа рынка были выбраны порошки титановые следующих марок: ПТС-1, ПТОМ-1 и ПТМ-1 ТУ 14-22-57-92, полученные гидриднокальциевым методом. Средний размер частиц порошка титанового выбранных марок составляет 33, 29 и 29 мкм соответственно, что более чем в 3 раза крупнее применяемого в настоящее время титана. Форма частиц данного порошка титанового кристаллическая с плоскими гранями и гладкими оплавленными краями, тогда как частицы порошка титанового, полученного из магнийтермической губки, представляют собой агломераты округлой формы (рисунок 2).



а) магнийтермический



б) гидриднокальциевый

Рис. 2. Снимки во вторичных электронах частиц образца порошка титанового.

Нами было изготовлено три партии состава бор-титан и ОШ с применением новых марок порошка титанового. По результатам испытания ОШ выявлено, что скорость горения при использовании порошков марок ПТС-1, ПТМ-1 и ПТОМ-1 составила – 155, 167 и 171 мм/с соответственно (рисунок 3), при этом наибольшее отклонение средней скорости ОШ от средней скорости в партии не превышает 2,2 %.



\*\*\*\*\*

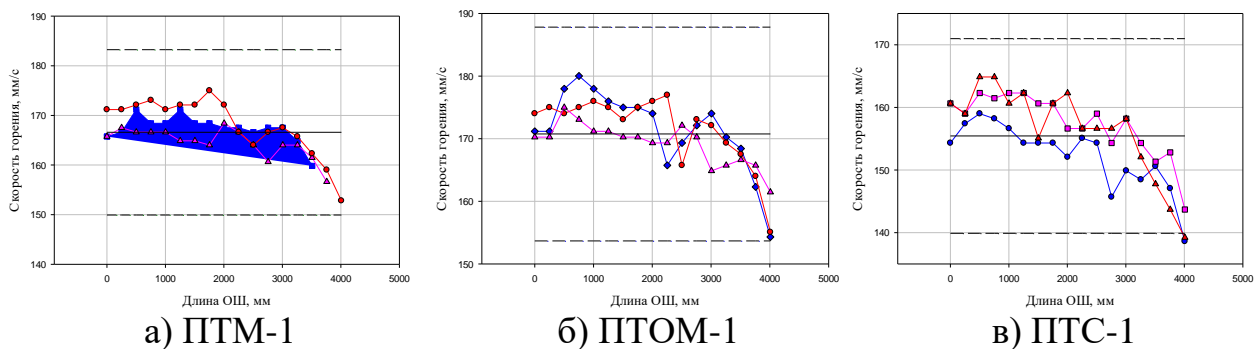


Рис. 3. Изменение скорости горения состава бор-титан по длине ОШ.

Полученные скорости горения экспериментальных составов бор-титан (рисунок 3) в среднем в 3 раза меньше скорости горения состава бор-титан, изготовленного с применением магнийтермического титана (рисунок 1), что объясняется большим размером частиц титана новых марок.

По результатам работы можно сделать вывод о том, что форма и размер частиц порошка титанового оказывают значительное влияние на скорость протекания СВС в составе бор-титан. При этом показано, что состав бор-титан с применением гидриднокальциевого порошка титанового в ОШ горит стабильно и равномерно. Скорость горения огнепроводных шнуров находится в пределах от 152 до 172 мм/с.



\*\*\*\*\*

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОР ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УДАРНЫХ ВОЛН

*Луиунов<sup>1</sup> В.Н. аспирант, Маркидонов<sup>2</sup> А.В., Лубяной<sup>3</sup> Д.А.*

*<sup>1</sup>-Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, [sl222527@mail.ru](mailto:sl222527@mail.ru)*

*<sup>2</sup>-Новокузнецкий институт (филиал) Кемеровского государственного университета, Новокузнецк*

*<sup>3</sup>-Филиал Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева в г. Прокопьевске*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10012**

В рамках представленной работы была построена молекулярно-динамическая модель поры в кристаллите золота и проведено исследование ее структурных преобразований при тепловом и силовом воздействии на моделируемый кристалл, а также исследовано влияние ударных волн, возникающих в твердом теле при бомбардировке поверхности твердого тела высокоэнергетическими частицами [1, 2]. Моделирование проводилось при различных температурах расчетной ячейки. После установки температуры, система выдерживалась при ней в течение 5000 шагов (длина одного шага 5 фс), и затем следовала закалка. Полученная после этих действий структура подвергалась структурному анализу.

Расчеты показали, что при 300 К пора сохраняет сферическую форму и значительные структурные изменения не происходят. При 600 К в расчетной ячейке наблюдаются дислокации Ломер-Коттрелла, источником образования которых является поверхность поры (см. рис. 1). При 900 К наблюдается частичное растворение поры, а при 1200 К анализатор структуры уже не определяет атомы, соответствующие поверхности, что свидетельствует о полном растворении поры.

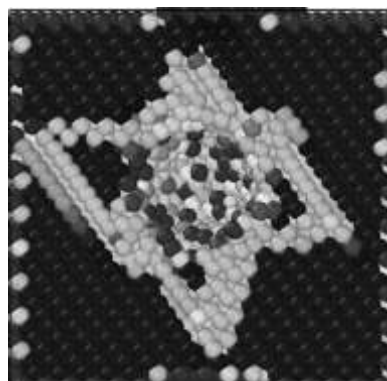


Рис.1. Сечение расчетной ячейки, содержащей пору и выдержанной при 600 К в течение 5000 шагов компьютерного моделирования



\*\*\*\*\*

На следующем этапе исследовались расчетные ячейки, подверженные всесторонней деформации. Для создания деформации осуществлялось изменение параметра решетки, и, как следствие, атомы располагались на расстоянии, отличном от равновесного. Известно, что растягивающие напряжения стабилизируют пору, а сжимающие напряжения, наоборот, способствуют ее схлопыванию. Проведенное исследование показало, что при растяжении пора остается стабильной, и структурные изменения не наблюдаются. При сжатии расчетной ячейки пора трансформируется в два совмещенных тетраэдра дефекта упаковки, в котором четыре грани представляют собой дефекты упаковки вычитания в плоскостях  $\{111\}$ , а шесть ребер – это вершинные дислокации с вектором Бюргерса  $a/6 \langle 110 \rangle$ . При этом если в случае величины деформации  $\varepsilon = -1 \%$  пора частично сохраняется, то уже при  $\varepsilon = -2 \%$  она схлопывается.

На заключительном этапе осуществлялось исследование влияния ударной волны, генерируемой в расчетной ячейке, на структурные изменения поры. Ударная волна создавалась следующим образом. Выделялся единичный слой граничных атомов расчетной ячейки. После этого выделенным атомам присваивалась скорость, в два раза превышающая скорость продольных упругих волн в золоте, и направленная вдоль плотноупакованного направления  $[1-10]$ . Выбор данного направления обусловлен тем, что из-за наличия механизмов фокусировки энергии, сферическая волна трансформируется во фрагменты плоских волн, распространяющихся именно вдоль плотноупакованных направлений. При выполнении исследования волны генерировались через каждые 500 шагов вычислений. Рассматривались ситуации с различной температурой и величиной деформации. Проведенное моделирование показало, что ударные волны вызывают различные структурные изменения поры. Так при температуре расчетной ячейки 300 К под действием волны пора разделяется на две части, а при 600 К наблюдается ее растворение.

Таким образом, методом молекулярной динамики проведено исследование структурных трансформаций поры при тепловом и силовом воздействии, а также под воздействием ударных волн. Показано, что разогрев расчетной ячейки способствует зарождению дислокаций Ломер-Коттрелла с последующим растворением поры. При деформации сжатия наблюдается перестройка поры в два совмещенных тетраэдра дефекта упаковки. Волны, в зависимости от условий моделирования, способствуют разделению или растворению поры, а также отщепления от нее групп вакансий.

#### Список литературы:

1. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Захаров П.В. Рост малых вакансионных скоплений, инициированный послекаскадными ударными волнами // Письма о материалах. 2012. Т.2(6). С. 111-114.





\*\*\*\*\*

2. Маркидонов А.В., Лубяной Д.А. Компьютерное моделирование процесса укрупнения зерен в ГЦК-кристалле при облучении ускоренными частицами // Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Химия. Экология. Урбанистика». Пермь. 2019. Т.2. С.530-534.



\*\*\*\*\*

## ФОРМИРОВАНИЕ ИЗ НАНОПОРОШКОВ $Al_2O_3$ ПОРИСТОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ФИЛЬТРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА

*Прилипко С.Ю. молодой ученый, Беличко Д.Р., Кудрявцев Ю.А., Головань Г.Н., Глазунова В.А., Брюханова И.И., Герасименко В.М., Бурховецкий В.В.*

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

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10013

Преимущества керамических фильтров из оксида алюминия заключаются в исключительной химической стойкости, благодаря которой их можно использовать при фильтрации отходов производств, а также термической стойкости, позволяющей проводить регенерацию при помощи термической обработки. При этом оксид алюминия является одним из самых дешевых керамических материалов.

Наиболее распространенным способом получения пористых материалов считается создание составов с летучими либо горючими компонентами с последующим их термическим удалением и образованием пустот на их месте. Такой подход не лишен недостатков. В частности, структура керамики, остающаяся после удаления летучих компонентов, становится непрочной вследствие неравномерного распределения пор и образования крупных пустот.

Целью данной работы была разработка методики получения пористой керамики с равномерным распределением пор субмикронного размера пригодной для применения в качестве фильтров (рисунок 1).

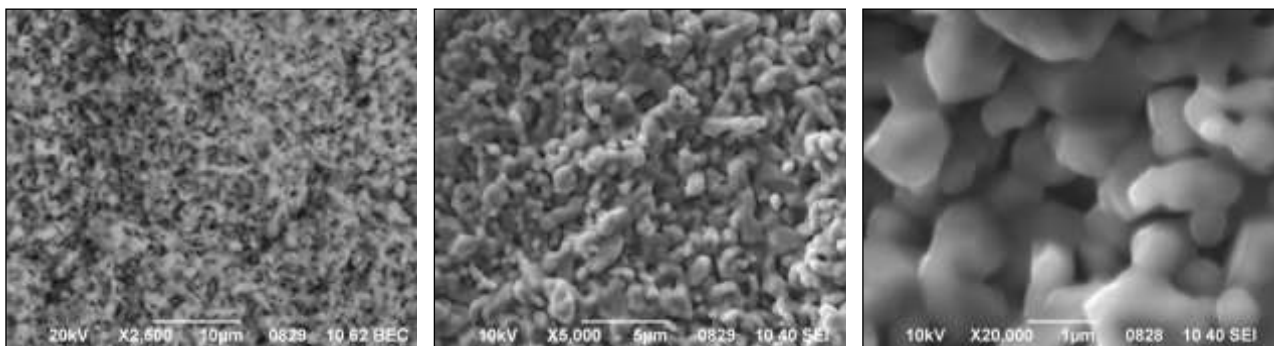


Рис. 1. Структура полученного высокопористого керамического образца  $Al_2O_3$  при различном увеличении микроскопа. Образец получен спеканием нанопорошка II при температуре  $1500^{\circ}C$ , в течение 4 ч.



\*\*\*\*\*

Гидроксид алюминия получался методом обратного осаждения водного раствора сульфата алюминия при pH=9. Поскольку температуры разложения  $Al(OH)_3$  и температуры превращения из  $\gamma$  в  $\alpha-Al_2O_3$  существенно различаются в зависимости от способов его получения [1, 2], на первом этапе проводилось исследование состава и структуры порошков, прокаленных при разных температурах (500, 900 и 1100°C).

Также была решена проблема растрескивания при спекании наночастиц оксида алюминия связанная с изменением удельного объема при переходе из  $\gamma$ - в  $\alpha$ -модификацию  $Al_2O_3$ . Поставленные задачи достигнуты благодаря обнаружению оптимальных параметров получения нанопорошков оксида алюминия, и исследованием формирования микроструктуры керамики, получаемой спеканием этих порошков. Для этого был исследован комплекс проблем: зависимость температуры фазового перехода в зависимости от способа получения  $Al_2O_3$  и размера частиц, более низкая температура спекания наночастиц, а также их склонности к образованию прочных агрегатов.

Для измерения фильтрующей способности полученной керамики применялась суспензия неагрегированного нанопорошка углерода с минимальным размером частиц 50 нм в воде (рисунок 2).

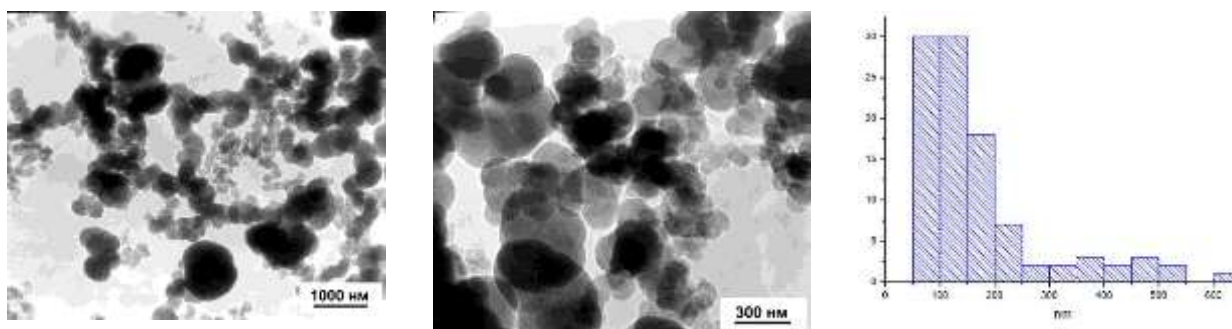


Рис. 2. Дисперсный состав углеродных наночастиц.

Таблица 1. Фильтрующая способность пористой керамики. Среда – дистиллированная вода, температура 20°C, высота столбика 1 м.

Пористость, %	t спекания, °C	Толщина, мм	Скорость фильтрования, л/м <sup>2</sup> ·ч
45	1500	3	5
60	1300	3	10
60	1500	3	9
70	1300	6	15

Наработки, полученные при исследованиях методик спекания пористых керамических структур, также могут быть использованы для создания пористой основы катализаторов.



\*\*\*\*\*

Список литературы:

1. Al'myasheva O. V. Preparation of Nanocrystalline Alumina under Hydrothermal Conditions / Al'myasheva O. V, Korytkova. E. N., Maslov A. V., and Gusarov V. V. // Inorganic Materials.– 2005–V. 41, No. 5, pp. 460–467.
2. Chang, P.-L. Size effects on  $\chi$ - to  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> phase transformation / Chang, P.-L., Yu-Chun Wu, Ssu-Jung Lai, Fu-Su Yen // J. Eur. Ceram. Soc. –2009.– V/29.– pp/ 3341-3348.



\*\*\*\*\*

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМИТНЫХ СМЕСЕЙ СОСТАВА Al-Ni-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> В ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЭНЕРГИИ

Переверзева<sup>1,2</sup> С.Ю., аспирант, Лебедев<sup>1</sup> Е.А., Громов<sup>1</sup> Д.Г., Гаврилов<sup>1</sup> С.А.,  
Сыса<sup>2</sup> А.В., Шаман<sup>2</sup> Ю.П., Рязанов<sup>2</sup> Р.М.

<sup>1</sup>- *Институт перспективных материалов и технологий НИУ МИЭТ,  
Зеленоград, [svetlo.sci@gmail.com](mailto:svetlo.sci@gmail.com)*

<sup>2</sup>- *НПК «Технологический центр», Москва, Зеленоград*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10014**

Источники энергии, способные работать при экстремальных температурах окружающей среды, при повышенной влажности, а также в безвоздушном пространстве – одно из перспективных направлений для исследований в электронике. В данной области особый интерес представляет разработка систем автономных необслуживаемых термоэлектрических генераторов энергии способных вырабатывать достаточное количество электричества для передачи радиосигнала требуемой мощности в экстренных ситуациях (пожар, наводнение, техногенная авария). Реализация данных потребностей возможна за счет использования термоэлектрических генераторов, которые преобразуют тепло от различных источников в электрический ток. В качестве источника тепловой энергии целесообразно использовать термитные материалы, которые обеспечивают генерацию тепла в максимально короткий срок с минимальным газовыделением и без образования форса пламени.

Термитные материалы - хорошо изученный класс энергетических смесей, основными представителями являются пары металл-оксид, например, Al-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al-CuO, а также биметаллические пары: Al-Ni, Al-Zr. Последние наиболее перспективны в качестве источника тепловой энергии из-за отсутствия газовыделения в процессе протекания реакции при относительно высокой удельной плотности энергии. Повысить интенсивность выделения тепла, чувствительность к инициированию, а также увеличить скорость распространения фронта волнового горения возможно за счет использования вариаций нано-размерных порошковых термитных смесей.

По совокупности свойств, термитные материалы перспективно использовать в качестве элемента выделения тепла в термоэлектрических устройствах. Такое устройство включает в себя источник тепла на основе термитных материалов, термоэлектрический генератор (ТЭГ), устройство накопления электрической энергии (конденсатор). Изображение конструкции термоэлектрического устройства показано на рисунке 1.



\*\*\*\*\*

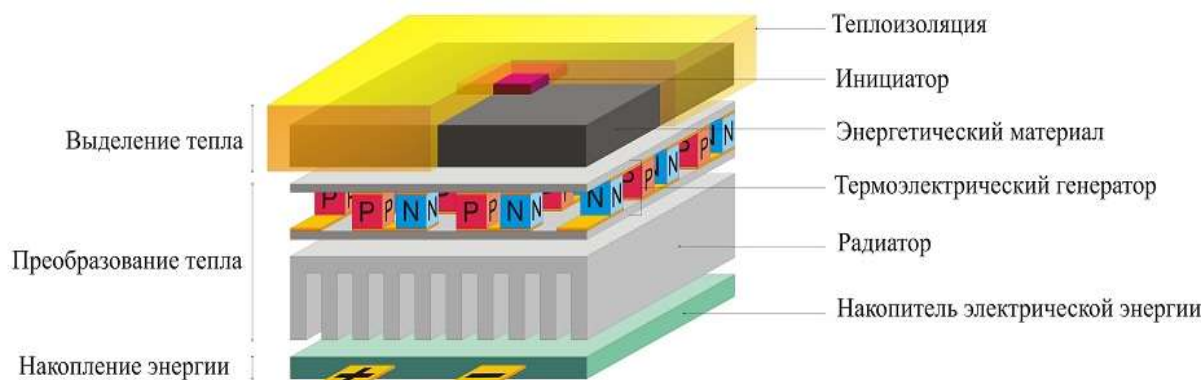


Рис. 1. Схематичное изображение конструкции термоэлектрического устройства.

Принцип действия системы основан на эффекте Зеебека. За счёт направленного теплового потока, в результате сгорания термитного материала, образуется резкий градиент температуры на ТЭГ, что приводит к появлению термо-ЭДС в цепи.

В данном исследовании рассмотрены смеси порошков Al, Ni и  $Fe_3O_4$ , которые были синтезированы методом электрического взрыва проводника в атмосфере аргона в компании ООО «Передовые порошковые технологии» (г. Томск). Порошки Al, Ni,  $Fe_3O_4$  имеют средний размер частиц 100 нм, 75 нм, 95 нм соответственно.

Порошковые смеси 5 различных соотношений были исследованы методами бомбовой калориметрии (ИКА С2000), ДСК и ТГА (SDT Q600), РФА (Miniflex 600), РЭМ (Jeol JSM-6010) а также с помощью высокоскоростной видеосъемки (10000 fps) была определена скорость фронта волнового горения термитных смесей. В ходе исследования было выявлено, что в термитной системе Al-Ni- $Fe_3O_4$  на характер горения в большей степени влияет компонент  $Fe_3O_4$ . Добавление компонента  $Fe_3O_4$  к смеси Al-Ni приводит к увеличению скорости фронта волнового горения, удельного теплового эффекта реакции, а также определяет чувствительность к иницированию. При концентрации  $Fe_3O_4$  более 40 вес.% скорость фронта реакции возрастает почти в 7 раз, материал не сохраняет свою первоначальную форму и наблюдается значительное выделение газа, которое не значительно в образцах с массовым соотношением Al:Ni: $Fe_3O_4$  (1:2:1). При соотношении  $Fe_3O_4$  (менее 12 вес.%) в смеси с Al-Ni чувствительность к иницированию снижается, в этом случае интенсивность газовыделения и скорость фронта горения значительно ниже, чем в других образцах. Таким образом, при добавлении компонента  $Fe_3O_4$  к смеси Al-Ni тепловой эффект реакции возрастает в соответствии с теоретическими расчетами удельной величины сгорания материалов.



## ПОЛУЧЕНИЕ ТИТАНОСОДЕРЖАЩИХ МАХ-ФАЗ В РЕЖИМЕ СВС

Минеханова А.Ф. магистрант, Тимова Ю.В.

Самарский государственный технический университет, Самара,  
[minekhanovaaf@mail.ru](mailto:minekhanovaaf@mail.ru)

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10015

Создание новых материалов и технологий их производства является одной из важных научных и прикладных задач физического материаловедения. При разработке таких материалов особый интерес представляют материалы нового класса – МАХ-фазы. Отличительная особенность этих материалов заключается в строении гексагональных кристаллических решёток, которое обуславливает уникальное сочетание в таких материалах свойств металла и керамики [1-3].

В данной работе исследована возможность использования относительно простой ресурсосберегающей технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для получения титаносодержащей МАХ-фазы в системе Ti–Al–N–C.

Работа выполнялась в два этапа. На первом этапе с помощью технологии СВС с применением твердого азотирующего вещества – азиды натрия синтезировали порошок состава  $(AlN+5\%Na_3AlF_6)$ , состоящий из волокон AlN диаметром 100-300 нм и длиной до 3 мкм с примесью 5 % криолита. Данный порошок был получен при горении смеси « $20Al+(NH_4)_3AlF_6+6NaN_3$ ». Результаты микроструктурного анализа продуктов горения, полученные с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6390A, представлены на рисунке 1.

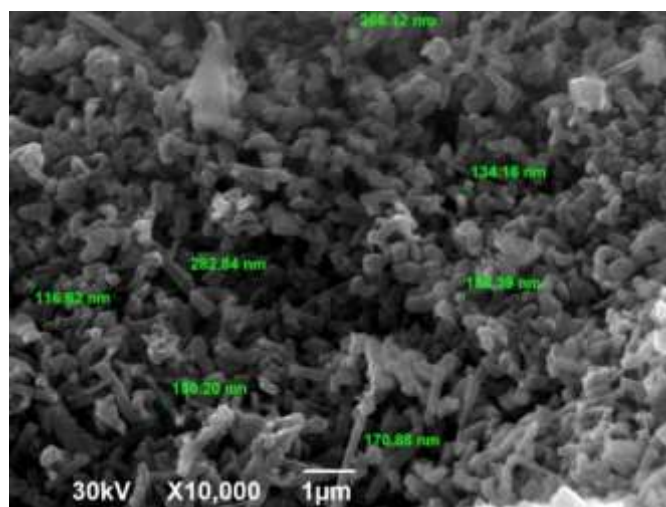


Рис. 1. Морфология частиц продуктов горения смеси СВС-Аз « $20Al+(NH_4)_3AlF_6+6NaN_3$ ».



\*\*\*\*\*

Затем для получения МАХ-фазы системы «Ti–Al–N–C» синтезированный порошок  $\text{AlN}+5\%\text{Na}_3\text{AlF}_6$  вводили в шихту, традиционно используемую для получения наиболее изученной МАХ-фазы –  $\text{Ti}_3\text{AlC}_2$ . Уравнение получения МАХ-фазы системы «Ti–Al–C» состава  $\text{Ti}_3\text{AlC}_2$  выглядит следующим образом:



Эксперименты проводились на образцах массой 20 г. Исходная смесь (12,96 г Ti + 4,87 г Al + 2,17 г C) для получения МАХ-фазы состава  $\text{Ti}_3\text{AlC}_2$  и смесь, в которой 20 % углерода было заменено на порошок нитрида алюминия марки СВС-Аз с примесью 5 % криолита (12,96 г Ti + 4,87 г Al + 1,74 г C + 0,43 г ( $\text{AlN}+5\%\text{Na}_3\text{AlF}_6$ )) были спрессованы в брикеты диаметром 40 мм до относительной плотности 0,4. Полученные брикеты сжигались на воздухе. На рисунке 2 представлены поверхности излома образцов, полученных в результате двух экспериментов.



Рис. 2. Фотографии поверхности излома образцов без замены (а) и с заменой 20 % углерода на порошок ( $\text{AlN}+5\%\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) (б).

Из рисунка 2 видно, что образцы, имевшие изначально одинаковые геометрические размеры, стали отличаться по высоте. Образец, в котором 20 % было заменено на порошок ( $\text{AlN}+5\%\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) имеет более мелкую и менее пористую структуру. На рисунке 3 представлены результаты микроструктурного анализа указанных образцов.

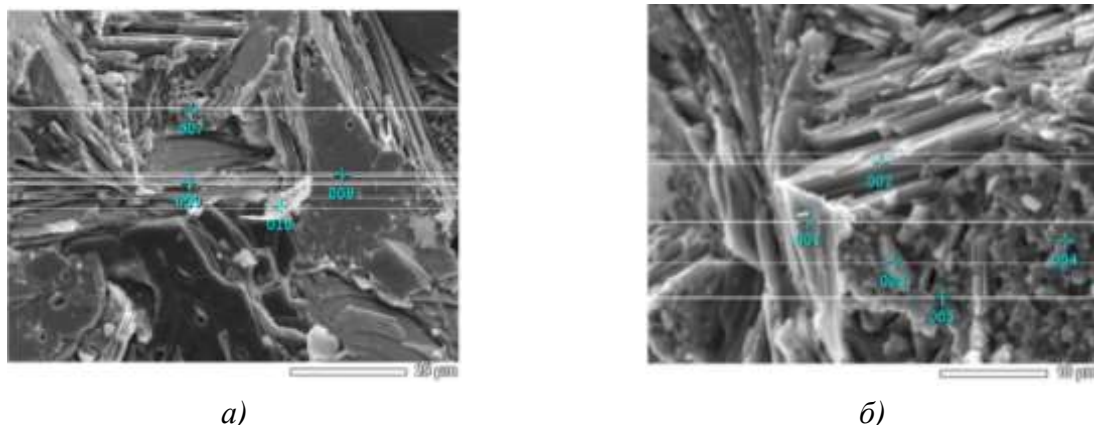


Рис. 3. Фотографии микроструктуры образцов без замены (а) и с заменой 20 % углерода на порошок ( $\text{AlN}+5\%\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) (б).

Из рисунка 3 видно, что оба образца имеют типичную для МАХ-фаз микроструктуру в виде хаотично направленных пакетов пластин. Толщины





\*\*\*\*\*

пластин, синтезированных МАХ-фаз также соизмеримы, размер пор у образца без добавления порошка ( $\text{AlN}+5\%\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) больше.

Список литературы:

1. Сметкин А.А., Майорова Ю.К. Свойства материалов на основе МАХ-фаз // Вестник ПНИПУ, 2015. – Т. 17, № 4. – С. 120-138.
2. Радишевский В.Л., Лепаква О.К., Афанасьев Н.И. Синтез, структура и свойства МАХ-фаз  $\text{Ti}_3\text{SiC}_2$  и  $\text{Nb}_2\text{AlC}$  // Вестник ТГУ, 2015. – № 1. – С. 33-38.
3. Колесников С.И. Определение оптимальных условий синтеза в тройной системе  $\text{Ti-Al-N}$  для получения продуктов, содержащих наибольшее количество МАХ-фаз // Башкирский химический журнал, 2012. – № 4. – С. 162-165.



\*\*\*\*\*

## МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ГЕТЕРОСТРУКТУРНЫХ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ $\text{TiO}_2/\text{MoO}_3(\text{V}_2\text{O}_5, \text{WO}_3)$ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ

Щербакова В.Б. студентка, Садовская Л.Ю., Свиридова Т.В., Свиридов Д.В.

Химический факультет Белорусского государственного университета,  
Минск, Беларусь, [valya1998@mail.ru](mailto:valya1998@mail.ru)

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10016

Способность диоксида титана анатазной модификации инициировать химические реакции при ультрафиолетовом облучении открывает возможность безреагентного осуществления реакций окисления, в том числе, с целью очистки водных и воздушных сред, а также создания самоочищающихся и самостерилизующихся материалов. Механизм функционирования диоксид-титановых фотокатализаторов основан на фотогенерации электро-дырочных пар, способных к участию во вторичных взаимодействиях, продуктами которых являются высокоактивные свободно-радикальные частицы (в том числе,  $\cdot\text{OH}$ ,  $\cdot\text{O}_2^-$  и т.д.). Эффективные фотокаталитические материалы представляют собой комбинацию диоксида титана с добавками различной природы, функция которых состоит в расширении спектральной чувствительности фотокатализатора, его сенсibilизации, обеспечения возможности накопления фотогенерированного заряда. Последнее обеспечивается за счет использования в качестве аккумулирующей составляющей оксидов  $h\text{-MoO}_3$ ,  $h\text{-WO}_3$ ,  $xerogel\text{-V}_2\text{O}_5$ , отличающихся выраженно слоистым строением и позволяющих накапливать фотогенерированный в диоксид-титановой матрице заряд за счет генерации водородных бронз [1]. Кроме того, была показана аномальная окислительная активность дисперсии диоксида титана, подвергнутой механохимическому воздействию [2].

Целью настоящего исследования являлось изучение возможности механохимической активации (в условиях высоких контактных нагрузок) гетерооксидных композитов  $\text{TiO}_2/h\text{-MoO}_3$  ( $h\text{-WO}_3$ ,  $xerogel\text{-V}_2\text{O}_5$ ) мозаичного строения, а также изучение их фотокаталитической и наведенной окислительной активности.

В работе были использованы золи  $\text{TiO}_2$  (модификации анатаз), полученные путем гидролиза  $\text{TiCl}_4$  в водно-аммиачной среде. Дисперсные фазы  $h\text{-MoO}_3$ ,  $h\text{-WO}_3$ ,  $xerogel\text{-V}_2\text{O}_5$  получали сольвотермическим способом [3]. Высушенные при комнатной температуре оксиды смешивали с дисперсным  $\text{TiO}_2$  в соотношении 1:5 и подвергали механохимическому воздействию (10 минут) в присутствии следовых количеств воды. Механохимический эксперимент проводили на опытной установке Института физики твердого тела Российской академии наук. Величина



\*\*\*\*\*

контактного давления составляла 25 МПа. Из полученных таким образом суспензионных паст на поверхности глазурированных плиток были сформированы фотокаталитические слои. Окислительную активность индивидуального диоксида титана и гетерооксидных композитов исследовали как непосредственно в условиях облучения ртутной лампой (длина волны 253 нм), так и после прекращения облучения, измеряя величину диффузного отражения в области поглощения красителя Родамин 6G, нанесенного на поверхность оксидного слоя.

Установлено, что переход от свежеполученных гетерооксидных пленок к аналогам, подвергнутым механохимической активации, повышает их фотокаталитическую активность в условиях актиничного облучения более чем в 3 раза, что сочетается с кардинальным (до 4 раза) увеличением наведенной окислительной активности в темновых условиях (т.е. после экспонирования УФ-светом), связанной с накоплением фотогенерированного заряда в виде восстановленных состояний в оксиде молибдена (вольфрама, ванадия). Указанный эффект обусловлен изменениями структуры гетерооксидной системы в результате механохимической активации и обеспечивает сохранение наведенной окислительной активности у гетерооксидных композитов как минимум в течение 3 часов.

Электронно-микроскопическое исследование показало, что результатом механохимического воздействия является изменение габитуса кристаллов как оксидов переходных металлов, так и кристаллов диоксид-титановой фазы, способствующее диспергированию микрокристаллических оксидов молибдена, вольфрама и ванадия с формированием сферолитов, размер которых не превышает 100 нм. С другой стороны, механохимическое воздействие на нанокристаллический  $TiO_2$  вызывает его вторичную перекристаллизацию с формированием тубулено-подобных структур с большим аспектным отношением (свыше 7).

Полученные результаты продемонстрировали возможность механохимической активации гетерооксидных композитов, в основе которой лежит стимулированная высоким контактным давлением рекристаллизация, обеспечивающая создание благоприятных условий для генерации и накопления неравновесных носителей заряда.

#### Список литературы:

1. Shchukin, D.G. Photocatalytic processes in spatially confined micro- and nanoreactors / D.G. Shchukin, D.V. Sviridov // J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev. – 2006. – Vol.7. – P. 23–26.
2. Щербакова, В. Химико-деформационное регулирование структуры и свойств приповерхностных слоев / В.Б. Щербакова, Н.В. Классен // XVI Всероссийская с международным участием Школа-семинар по структурной макрокинетике для молодых ученых имени академика А.Г. Мержанова. – Черноголовка. – С. 98-99.
3. Sviridova T.V., Stepanova L.I., Sviridov D.V. In: *Molybdenum: Characteristics, Production and Applications* / ed. by M. Ortiz et al. NY, 2012. P.147-179.



## СВС BN нанопорошка из бора и азиды натрия

Остроухов Д.В. магистрант, Титова Ю.В.

Самарский государственный технический университет, Самара,

[25ostroukhov.d@mail.ru](mailto:25ostroukhov.d@mail.ru)

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10017

В данном исследовании микро- и нанопорошок нитрида бора были получены по технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с применением твердого азотирующего реагента – азиды натрия (СВС-Аз). В настоящее время этот способ находит признание специалистов, как перспективный и ресурсосберегающий для получения наиболее чистых порошков тугоплавких соединений в больших количествах, в том числе нитридов. Большие перспективы имеет способ и для создания новых материалов, новых твердых растворов сложных составов, новых модификаций известных структур плотных изделий, а также композиционных материалов. Сущность способа заключается в самораспространяющемся с большой скоростью горении смеси исходных порошков при температурах 2000-4000 К [1]. Выбор азиды натрия в качестве азотирующего вещества обосновывается тем, что он имеет в своем составе большое количество азота, он является невзрывчатым веществом и, в отличие от других азидов, безопасным в обращении. При термическом разложении он дает большое количество активных, во многих отношениях, химических элементов. Ниже представлены уравнения получения нитрида бора по азидной технологии СВС:



Расчет равновесных концентраций продуктов синтеза проводился по программе «Thermo» при условии, что давление в процессе было постоянным. Результаты термодинамического анализа горения рассматриваемых систем уравнения указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты термодинамического анализа горения уравнений (1) и (2)

Параметр	Единицы измерения	Значения	
		1	2
Объем газообразных продуктов	л	27	42
Температура	К	3169	3239
Количество газообразных продуктов	Моль	4	6
Теплоемкость продуктов горения	Дж/К	622	989
Энтропия продуктов горения	Дж/К	2137	3106
Энтальпия продуктов горения	кДж	-1820	-1517
BN <sub>(ТВ)</sub>	Моль	9	7,5
BN <sub>(Ж)</sub>	Моль	–	5,5
NaF <sub>(Г)</sub>	Моль	3	4

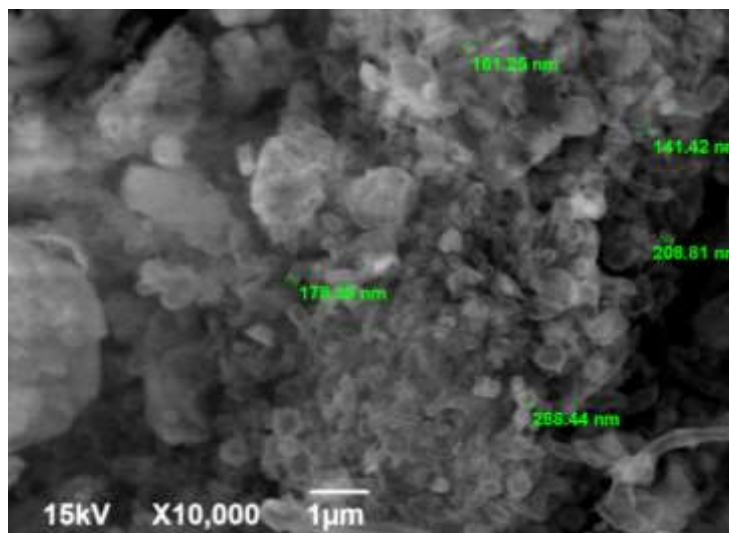


\*\*\*\*\*

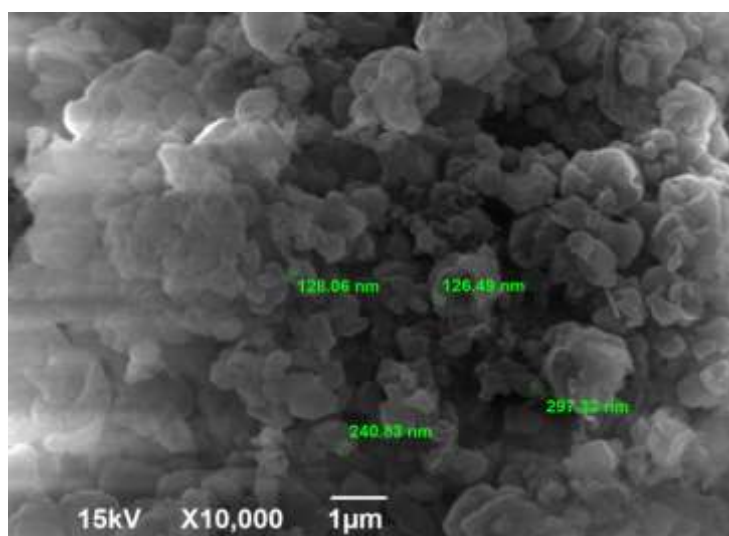
$KF_{(r)}$	Моль	1	–
$H_{2(r)}$	Моль	–	2
$F_{(r)}$	Моль	0,03	0,05
$K_{(r)}$	Моль	0,01	0,17
$Na_{(r)}$	Моль	0,03	0,05

Из таблицы видно, что обе системы способны к самостоятельному горению, адиабатические температуры я и энтальпии образования продуктов горения достаточные для образования целевого продукта – нитрида бора.

На рисунке 1 представлены результаты микроструктурного анализа продуктов горения, полученные с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6390A фирмы «Jeol».



a)



б)

Рис. 1. Результаты микроструктурного анализа порошка нитрида бора, полученного при горении смесей: а) « $8B+3NaN_3+KBF_4$ »; б) « $12B+4NaN_3+NH_4BF_4$ »



\*\*\*\*\*

Синтезированный из обеих смесей порошок VN представляет собой частицы сферической и равноосной форм диаметром 100-300 нм.

Список литературы:

1. Бичуров, Г.В. Азидная технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза микро- и нанопорошков нитридных композиций: Монография / Г.В. Бичуров, Л.А. Шиганова, Ю.В. Титова. – М.: Машиностроение, 2012. – 519 с. – ISBN – 978-5-94275-658-1.



\*\*\*\*\*

## **ВЛИЯНИЯ УДАРНО-ВОЛНОВЫХ НАГРУЗОК И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕДЕЛОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНООПАСНЫХ ЗОН КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛИСТОВ БИМЕТАЛЛА**

***Ноняк Д.В. аспирант, Первухина О.Л.***

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

***DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10018***

Нахождение оптимальных режимов технологического цикла производства биметалла сваркой взрывом является актуальной и фундаментальной задачей в этой области науки, поскольку на данный момент не существует истинных режимов термической обработки, холодной правки для биметаллов, произведенных сваркой взрывом.

Основная задача термической обработки после сварки взрывом биметаллических плит – снизить уровень остаточных напряжений в зоне соединения, чтобы обеспечить достаточную пластичность для механической холодной правки плит без образования трещин и разрушений [1]. При этом температура нагрева должна быть ниже температуры начала роста в соединении интерметаллидов, снижающих прочность соединения слоёв [2]. В настоящей работе представлены результаты исследования влияния режима термической обработки крупногабаритного биметалла ВТ1-0+09Г2С размерами 60(55+5)×2600×3406 мм, которая заключается в нагреве  $460 \pm 20^\circ\text{C}$ , выдержке 3-3,5 часа, охлаждении с печью до  $200-300^\circ\text{C}$ . Стоит отметить, что данный режим термической обработки (ТО) был предложен взамен общепринятому производителями биметалла сваркой взрывом режиму ТО: нагрев  $520 \pm 20^\circ\text{C}$ , выдержка 2 часа, охлаждение на воздухе. Выдвинутое предложение основано на том, что при нагреве биметалла «сталь-титан» до температур свыше  $500^\circ\text{C}$  происходит снятие наклёпа от сварки взрывом. Однако при охлаждении в композициях возникает новое поле остаточных напряжений, вызванное различием коэффициентов линейного расширения, в стали – растяжения, в титане – сжатия. Это приводит к возникновению неравномерной выпуклости биметалла. Наличие «сильных» деформаций после термической обработки повышает трудоемкость холодной правки, что приводит к удорожанию биметалла.

Предложенный режим термической обработки (нагрев  $460 \pm 20^\circ\text{C}$ , выдержка 3-3,5 часа, охлаждение с печью до  $200-300^\circ\text{C}$ ) позволяет устранить



\*\*\*\*\*

недостатки общепринятого режима термической обработки, т.е. получать биметалл с минимальными деформациями после термической обработки. Данный факт подтверждается расчетными значениями максимальных напряжений [3], возникающих вблизи границы соединения, которые показывают, что, нагрев до 520°C приводит к большим значениям термических напряжений по сравнению с 460°C (527 МПа при 500 °С; 468 МПа при 400 °С).

Для проверки эффективности предложенного режима использована методика исследования эволюции напряженно-деформированного состояния неразрушающим методом магнитной памяти. Это позволило впервые выявить закономерности влияния ударно-волновых нагрузок и технологических переделов (термообработка, пластические деформации) на изменения уровня НДС крупногабаритного биметалла, произведенного 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. Покатаев Е. П, Седых В.С., Гончаров А.Ф. Основные закономерности образования остаточных напряжений в биметаллических и многослойных соединениях, полученных сваркой взрывом//Сварочное производство. 1981№4. с.10-12.
3. Куликов Ю.А., Мерзлякова О.С. Напряженно-деформированное состояние термобиметаллических элементов// Фундаментальные исследования. – 2007. – № 9 – С. 70-71





\*\*\*\*\*

## ДИСПЕРСНЫЕ ОКСИДНЫЕ ФАЗЫ С РЕГУЛИРУЕМОЙ РЕДОКС-АКТИВНОСТЬЮ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛ-МАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ

Саркисов В.В. студент, Логвинович А.С. аспирант, Свиридова Т.В.,  
Свиридов Д.В.

Белорусский государственный университет, Минск, [val.sarkisov@gmail.com](mailto:val.sarkisov@gmail.com)

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10019

Интерес к металл-матричным композитам, в виде пленки металла с объемно инкорпорированными частицами различной природы (в частности, оксидов) связан с наблюдающимся при этом улучшением механических свойств, которое, как правило, сочетается с повышенной устойчивостью получаемых покрытий в депассивирующих средах. Среди исследуемых в настоящее время фаз внедрения особое место занимают оксиды переходных элементов (в частности, молибдена и ванадия), способные соосаждаться с матричным металлом по редокс-механизму [1]. В настоящей работе ставилась задача установления возможности редокс-управления электрокристаллизацией металлической матрицы при электрохимическом осаждении композитных пленок.

Дисперсные оксиды  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$  и  $\text{MoO}_3:\text{V}_2\text{O}_5$  (размер частиц 0,5-1 мкм) получали сольвотермическим методом [2] из водных растворов соответствующих оксокислот, синтезированных ионным обменом. По данным рентгеноструктурного анализа триоксид молибдена представлял собой гексагональный  $\text{MoO}_3$ , а оксид-ванадиевая фаза - ксерогель  $\text{V}_2\text{O}_5$ .

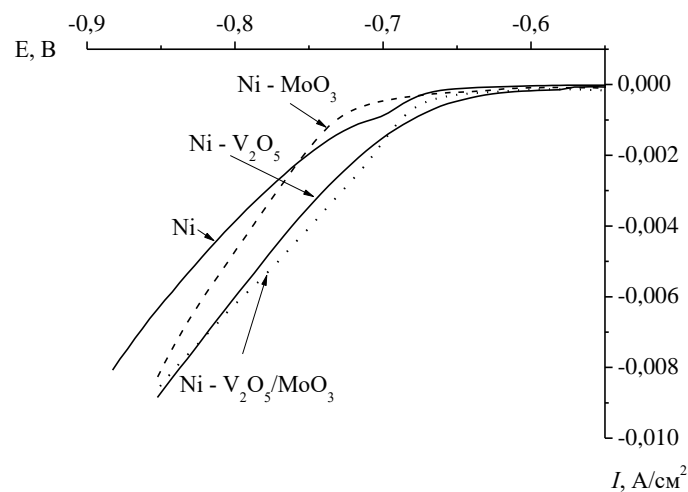


Рис. 1. Поляризационные кривые осаждения никеля и композитов  $\text{Ni-MoO}_3$ ,  $\text{Ni-V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Ni-V}_2\text{O}_5/\text{MoO}_3$ .



\*\*\*\*\*

Структура смешанного оксида молибдена-ванадия (доля оксида молибдена 40 мол.%) была идентична ксерогелю пентаоксида ванадия, что указывает на изоморфное замещение ионов V(V) в катионных позициях кристаллической решетки на атомы Mo(VI). Это обеспечивает генерацию большого числа центров V(IV) и придает высокую редокс-активность фазе внедрения.

Наблюдающееся в присутствии оксидных частиц снижение перенапряжения электрокристаллизации матричного металла (рис.1) наиболее заметно в случае смешанного оксида молибдена-ванадия, открывающего широкие возможности по осуществлению редокс-промотирования процесса кристаллизации никеля. Результатом является реализация мультицентрового зарождения металлической матрицы как на свободной поверхности катода, так и на поверхности оксидных частиц, что, по данным исследований методом атомно-силовой и просвечивающей электронной микроскопии, приводит к компактированию металлического осадка. Результатом компактирования металлической матрицы является принципиальное повышение устойчивости получаемых композитов в агрессивных средах (коррозионная устойчивость композита на основе смешанного оксида оказывается ~2,3 раза выше коррозионной устойчивости индивидуального никеля и превышает устойчивость композитов на основе оксидов молибдена и ванадия – рис. 2).

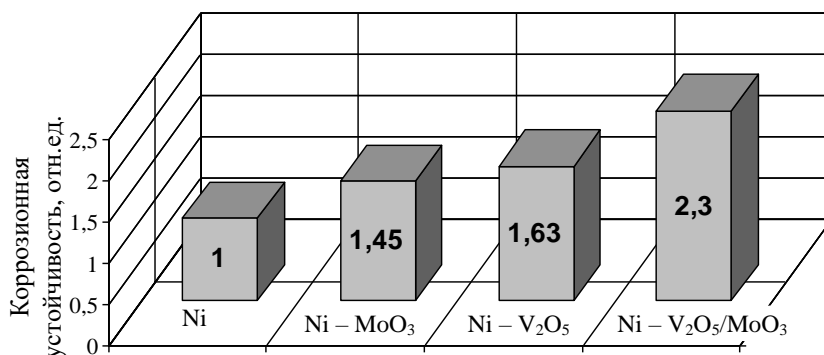


Рис. 2. Относительная коррозионная устойчивость пленок никеля и композитов Ni-MoO<sub>3</sub>, Ni-V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ni-V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/MoO<sub>3</sub> в 0,5 М Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 70 °С.

Таким образом, использование смешанных оксидов в качестве фаз внедрения открывает возможность целенаправленного редокс-контроля электрокристаллизации металлов при образовании металл-матричных композитов.

#### Список литературы:

1. Sviridova T.V., Stepanova L.I., Sviridov D.V. *J. Solid-State Electrochem.* 2012. P. 3799-3803.
2. Sviridova T.V., Stepanova L.I., Sviridov D.V. In: *Molybdenum: Characteristics, Production and Applications* / ed. by M. Ortiz et al. NY, 2012. P.147-179.



\*\*\*\*\*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ $Al-CuO_x$ , ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ

Лебедев<sup>1</sup> Е.А. молодой ученый, Сорокина<sup>1</sup> Л.И., Рязанов<sup>2</sup> Р.М., Громов<sup>1</sup> Д.Г., Сыса<sup>2</sup> А.В.

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, Зеленоград, dr.beefheart@gmail.com*

<sup>2</sup> *Научно-производственный комплекс «Технологический центр», Москва, Зеленоград*

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10020

В настоящее время разработка новых технологий и методов для соединения термочувствительных компонентов является актуальной темой исследований в области трехмерной сборки. Традиционные способы соединения происходят при полном нагреве всех компонентов. Это может повредить термочувствительные компоненты и повлиять на качество соединения из-за различия коэффициентов теплового расширения. Реакционный бондинг - это новый низкотемпературный метод, основанный на соединении двух поверхностей за счет высоко экзотермической реакции. Суть данного метода заключается в использовании реакционных материалов в качестве локального источника тепла, который размещается между двумя поверхностями с предварительно нанесенным припоем. Интенсивное выделение тепла происходит после инициации самораспространяющегося волнового горения. В результате чего припой плавится, и после остывания образуется надежное соединение.

Перспективным и доступным методом получения материала для реакционного бондинга является технология электрофоретического осаждения (ЭФО). Главными преимуществами данной технологии является то, что можно получить покрытие на сложный топологический рисунок и практически любого состава, при этом не требуется дорогостоящее или уникальное оборудование. В данной работе представлены результаты и особенности формирования термитных наноматериалов на основе порошков  $Al$  и  $CuO_x$  методом ЭФО. Показана возможность контроля состава и морфологии поверхности осаждаемого материала.

Осаждение производилось из суспензии, состоящей из изопропилового спирта и нанопорошков алюминия, оксида меди, размер которых не превышает 100 нм. Порошковые компоненты добавлялись в растворитель в определенном весовом соотношении, после чего суспензия подвергалась ультразвуковой обработке. Электрофоретическая ячейка для проведения процесса включает два



\*\*\*\*\*

электрода, погруженные в суспензию и источник питания постоянного тока. Термитное покрытие формировалось на катоде - подложке из титановой фольги. В качестве анода использовалась нержавеющая сталь, которая располагалась параллельно катоду на расстоянии 1 см. Процесс производился в потенциостатическом режиме при напряженности электрического поля от 10 до 150 В/см.

На тепловые эффекты, скорость распространения фронта волнового горения и чувствительность воспламенения влияют такие параметры как стехиометрия, толщина и пористость осажденного покрытия. В ходе экспериментов получены зависимость скорости осаждения материала от прикладываемого напряжения и оптимальный режим процесса. Установлена корреляция между составом осаждаемого материала и составом исходной суспензии для прогнозирования стехиометрии получаемого термитного материала. Морфология поверхности, толщина и стехиометрии полученных термитных покрытий исследовались с помощью растровой электронной микроскопии и энергодисперсионного рентгеноструктурного анализа. Исследование тепловых эффектов проводилось посредством дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрического анализа. Энергия инициации реакции определялась с помощью фемтосекундного Nd:YAG лазера. Анализ процесса волнового горения материала производился с помощью высокоскоростной видеокамеры со скоростью съемки 15000 кадр/с.

Результаты исследований образцов с различной стехиометрией Al-CuO<sub>x</sub> показали, что иницирование реакции волнового горения происходит для образцов с весовым содержанием оксида меди в диапазоне от 17 до 44 % (вес.). Минимальная и максимальная скорость горения составила 2 м/с и 5 м/с. Для инициации реакции достаточна энергии 0,07 Дж/см<sup>2</sup>.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-1262.2019.8).*



\*\*\*\*\*

## ПОВЕДЕНИЕ ЗОЛЫ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ

Зюкин<sup>1</sup> И.В. студент, Цветкова<sup>2</sup> Ю.Ю., Фрейман<sup>1,2</sup> В.М., Цветков<sup>2</sup> М.В.

<sup>1</sup>- *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва*

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

[tsvetkov@icp.ac.ru](mailto:tsvetkov@icp.ac.ru)

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10021

Количество осадка сточных вод с очистных сооружений быстро растет во всем мире. Осадок сточных вод (ОСВ) представляет собой остаточное вещество от очистки бытовых и промышленных сточных вод и является одним из известных альтернативных источников энергии. В сухом виде ОСВ можно рассматривать как возобновляемое топливо из-за большого количества органических веществ с достаточно высокой теплотворной способностью. По сравнению с углем сжигание ОСВ вызывает дополнительные проблемы из-за высокого содержания влаги (88-99 %), летучих веществ, наличия тяжелых металлов в золе и кислых газов в дымовом газе.

В настоящее время одним из перспективных методов термической переработки ОСВ является газификация в режиме фильтрационного горения, которая предполагает твердое золоудаление. Основными элементами в золе ОСВ являются Si, P, K, Ca, S, Cl и Na. Щелочные металлы, связанные с серой и хлором, приводят к серьезным эксплуатационным проблемам: шлакованию и коррозии оборудования. Целью работы является изучение поведения минеральных компонентов золы ОСВ и температур её плавления при высокотемпературной газификации. Осадок сточных вод был предоставлен очистными сооружениями г. Черноголовка Московской области.

Проведен технический анализ ОСВ на влажность, зольность, выход летучих веществ и кокса. В расчете на рабочую массу влажность составила 86.1 масс. %, выход летучих веществ – 8.4 масс. %, нелетучего углерода – 3.0 масс. %, зольность – 2.5 масс. %. Количественный анализ ОСВ проводили на CHNS/O элементном анализаторе «Vario MICRO cube».

Элементный состав ОСВ на сухую беззольную массу определяли методом сжигания в потоке кислорода: С – 40.1 масс. %, Н – 5.7 масс. %, S – 2.1 масс. %, N – 6.7 масс. %, O – 45.4. масс. % (по разности).

Образцы золы ОСВ готовили в соответствии с ГОСТ Р 55661-2013. Химический состав золы ОСВ в пересчете на оксиды: SiO<sub>2</sub> – 20.25%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2.95%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 13.11%, CaO – 26.75%, MgO – 3.37%, Na<sub>2</sub>O – 0.63%, K<sub>2</sub>O – 3.29%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 25.93%, SO<sub>3</sub> – 4.09%. Основно-кислотное соотношение оксидов для золы ОСВ равно 1.66, что относит золу ОСВ к средней степени шлакуемости. Другим



\*\*\*\*\*

характерным параметром золы является индекс вязкости шлака  $S_R$ , который зависит от содержания  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , рассчитывается по формуле:  $S_R = 100\text{SiO}_2/(\text{SiO}_2+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{MgO})$ . Для золы ОСВ  $S_R = 31.9$ , что соответствует высокому уровню шлакования ( $S_R < 65$ ). Коэффициент обрастания определяется по формуле  $F_u = R_S * (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ . Для золы ОСВ это значение равно 6.5, что относит ее к высокой степени обрастания ( $F_u = 0.6 - 40$ ). Эвтектика с низкой температурой плавления ( $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) может оказывать сильное влияние на агломерацию частиц золы. В процессе спекания железо реагирует с кварцем и алюмосиликатами с образованием силикатов и алюмосиликатов железа, которые плавятся при более низких температурах.

Определение температур плавления золы ОСВ проводили по ГОСТ Р 54238-2010. Экспериментально измеренные температура начала плавления составила  $1190^\circ\text{C}$  (DT); температура образования сферы –  $1220^\circ\text{C}$  (ST); температура образования полусферы –  $1240^\circ\text{C}$  (HT). При температуре  $1270^\circ\text{C}$  наблюдали полное плавление образца (FT) и растекание его на керамической подложке. При повышении температуры с  $800$  до  $1200^\circ\text{C}$  поверхность золы становится гладкой и изменяется ее цвет со светло-коричневого до темно-коричневого, что объясняется высокой концентрацией оксидов железа.

Для термодинамического расчета минеральных преобразований золы ОСВ при различных температурах выбрана программа Terra, основанная на минимизации общей энергии Гиббса исследуемой системы. Исследуемая система состояла из химического состава золы ОСВ (см. выше). Расчеты проводили при температурах  $600 - 1500^\circ\text{C}$  с интервалом  $20^\circ\text{C}$  в окислительной атмосфере при давлении  $0.1$  МПа.

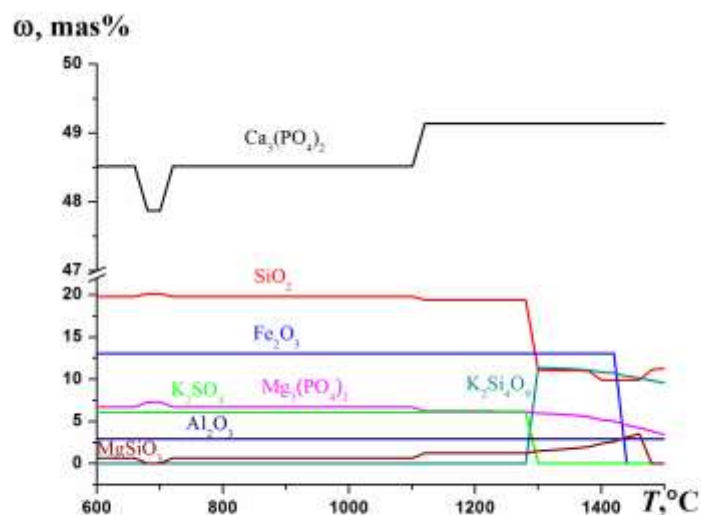


Рис.1. Расчетные зависимости содержания стабильных твердых фаз  $\omega$  (mas%) от температуры  $T$  ( $^\circ\text{C}$ ) золы осадка сточных вод.



\*\*\*\*\*

На рисунке показаны основные твердые фазы образца золы ОСВ. Во всем диапазоне температур мы наблюдаем большое количество фосфата кальция ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), значительное количество оксида кремния и железа, незначительное количество фосфата магния, сульфата калия и оксида алюминия. Термодинамические расчеты на Tегга, исходя из химического состава золы, показывают возможные фазы, что позволяет прогнозировать возможные реакции и минеральные превращения золы при высоких температурах.

Рентгенограммы показывают, что основными кристаллическими фазами золы ОСВ, полученной при  $815^\circ\text{C}$ , являются  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{KMnPO}_4$ ,  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CaCO}_3$ . Присутствие фосфора и железа в золе увеличивает шлакуемость золы из-за образования эвтектик оксида железа с  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  с низкой температурой плавления ( $\sim 900^\circ\text{C}$ ) и образования фосфатов кальция, магния и алюминия. Присутствие калия также снижает температуру плавления золы из-за образования силикатов калия.

*Измерения химического состава золы ОСВ и её рентгенофазовый анализ выполнены в АЦКП ИПХФ РАН.*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-08-00244 и Государственного задания №0089-2019-0018.*



\*\*\*\*\*

## ПОЛУЧЕНИЕ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ Тi-V МЕТОДОМ СВОБОДНОГО СВС-СЖАТИЯ

*Константинов А.С. аспирант, Чижиков А.П., Прокопец А.Д., Столин А.М.*

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

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10022**

Все более широкое применение в современной промышленности находят композиционные материалы, обладающие все более высокими показателями статической и динамической прочности, вязкости разрушения. Среди композиционных материалов большой интерес представляют металлокерамические слоистые композиционные материалы (СКМ), представляющие собой многослойную композицию с чередующимися слоями металла и керамики [1]. СКМ характеризуются высокой твердостью, механической прочностью, химически инертны и термически стабильны, кроме того они способны совмещать повышенные электрофизические, магнитные, трибологические и радиопрозрачные свойства [2]. Процесс получения СКМ можно разделить на две технологические стадии: первая - получение макрослоев, вторая - их консолидация в слоистую заготовку за счет термообработки или воздействием давлением.

Перспективным методом, совмещающим получение макрослоев и их последующую консолидацию в одном технологическом цикле за десятки секунд, является свободное СВС-сжатие. Сущность этого метода заключается в уплотнении и формовании синтезированного материала под действием постоянного невысокого давления (~10-50 МПа) без использования специальных пресс-форм.

Настоящая работа посвящена изучению возможности получения методом свободного СВС-сжатия слоистых композиционных материалов на основе боридов титана на титановом сплаве ВТ6 и изучению особенностей их строения. На основе проведенных экспериментальных работ были получены СКМ размерами 30x30 мм с высотой керамического материала на основе бориды титана 5 мм. На основе результатов РФА установлено, что при химическом взаимодействии исходных компонент бора и титана образуется основная фаза - моноборид титана. Установлено, что на поверхности СКМ, за счет проведения экспериментов на открытом воздухе и высокой химической активности избыточного титана, образовывается твердый раствор  $Ti_{0,76}N$  (кубическая





\*\*\*\*\*

кристаллическая решетка,  $a = 4,235 \text{ \AA}$ ), который, обладая повышенными значениями твердости (до 20 ГПа), повышает механические характеристики поверхности СКМ. В соответствии с фазовой диаграммой кристаллизация моноборида титана происходит по перитектическому превращению из расплава Ti-B, что приводит к тому, что образовавшиеся вначале зерна  $\text{TiB}_2$  из-за нехватки свободного титана остаются в материале и кристаллизуются в виде гексагональных структур размерами менее 1 мкм (рис. 1). По мере приближения к подложке доля титана повышается, а количество зерен диборида титана снижается (интенсивность соответствующих пиков на рентгенограммах снижается).

На основе проведенных работ была показана принципиальная возможность образования слоистого керамического композита на основе борида титана на титановом сплаве ВТ6.

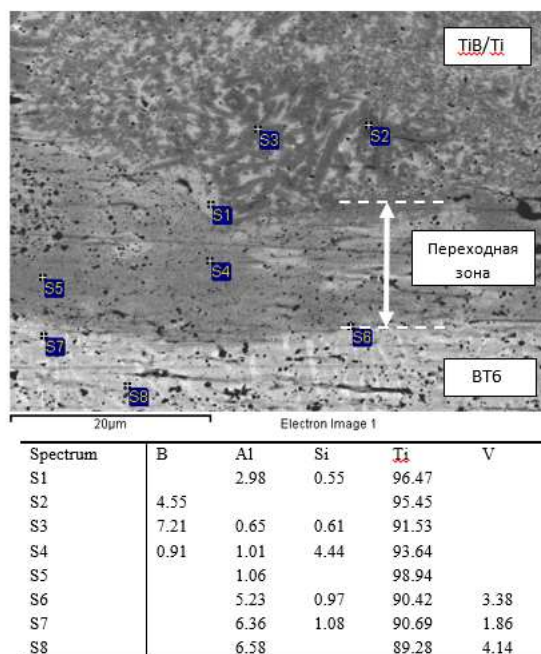


Рис. 1. – СЭМ переходного слоя и рентгеноспектральный анализ химических элементов.

#### Список литературы:

1. Краснов Е.И., Штейнберг А.С., Шавнев А.А., Серпова В.М., Жабин А.Н. Исследование слоистого металлического композиционного материала системы Ti-TiAl<sub>3</sub>. - М.: ВИАМ, 2016. 3 с.
2. Cui X.P., Ding H., Zhang Y.Y., Yao Y., Fan G.H., Huang L.J., Geng L., Zheng Z.Z., Chen J.F. Fabrication, microstructure characterization and fracture behavior of a unique micro-laminated TiB-TiAl composites // J. Alloys Compd. 2019. Vol. 775. P. 1057-1067.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10254).*



\*\*\*\*\*

## ВЛИЯНИЕ $\text{Na}_2\text{O}$ НА МИНЕРАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЗОЛЫ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ

Фрейман<sup>1,2</sup> В.М. студент, Цветкова<sup>2</sup> Ю.Ю., Зюкин<sup>1</sup> И.В., Цветков<sup>2</sup> М.В.

<sup>1</sup>- Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

<sup>2</sup>- Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка,

[tsvetkov@icp.ac.ru](mailto:tsvetkov@icp.ac.ru)

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10023

В России ежегодно образуется более 60 млн.т./год твердых бытовых отходов (ТБО), из которых только 7-8% поступает на переработку. Большая часть отходов отправляется на свалки, которые занимают огромные территории земли, и при самовоспламенении загрязняют окружающую среду вредными газами. В настоящее время одним из перспективных методов термической переработки ТБО является газификация в режиме фильтрационного горения, которая предполагает твердое золоудаление. В ТБО содержится значительное количество  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$  (5-8%), которые снижают температуру плавления золы, ограничивая максимальную рабочую температуру газификации. Целью работы является изучение влияния оксида натрия на минеральные преобразования золы ТБО в условиях высокотемпературной газификации.

Влияние оксида натрия исследовали путем добавления карбоната натрия к золе ТБО. Модельной состав ТБО состоял из бумаги и картона (40%), пищевых отходов (22%), пластмассы (10%), стекла (7%), алюминиевых банок (5%), железной проволоки (3%), древесины (7%), текстиля (3%), кожи и резины (3%).

Образцы золы ТБО готовили в соответствии с ГОСТ Р 55661-2013. Химический состав золы ТБО в пересчете на оксиды:  $\text{SiO}_2$  – 24.21%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 12.09%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 3.01%,  $\text{CaO}$  – 42.41%,  $\text{MgO}$  – 2.32%,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 3.25%,  $\text{K}_2\text{O}$  – 1.5%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 2.53%,  $\text{CO}_2$  – 4.59 %, остальные ( $\text{SO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  и др.) – 4.09%. Основнокислотное соотношение оксидов для золы ТБО равно 1.32, что относит золу ТБО к средней степени шлакуемости.

Для термодинамического расчета минеральных преобразований золы ТБО с различным содержанием  $\text{Na}_2\text{O}$  было выбрано приложение FactSage: Equilib Web. Термодинамический пакет программ FactSage основан на минимизации общей энергии Гиббса исследуемой системы. Он может использоваться для прогнозирования многофазных равновесий, соотношений жидкой и твердой фаз, а также фазовых переходов при различных температурах для гетерогенных систем.



\*\*\*\*\*

Рассматривали систему  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$  с содержанием оксида натрия в смеси 5%, 15% и 25%. Концентрации остальных оксидов брали исходя из химического анализа золы модельного состава ТБО с доведением до 100% (см. табл.). Расчеты проводили при температурах 1000–1300°C с интервалом 10°C в окислительной атмосфере при давлении 0.1 МПа.

Таблица. Химический состав для термодинамического расчета смесей.

№ образца	$\text{SiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$
1	30	50	15	5
2	27	44.5	13.5	15
3	24	39	12	25

Для образца 1 (содержание оксида натрия 5%) при температуре 1000°C основными соединениями являются:  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  ( $\alpha$ -модификация) – 69.74%,  $\text{Na}_2\text{O}\cdot 3\text{CaO}\cdot 8\text{Al}_2\text{O}_3$  – 15.50%, нефелин  $\text{NaAlSiO}_4$  – 8.11%,  $\text{Na}_2\text{CaSiO}_4$  – 6.65%. Идентичная картина наблюдается и при температуре 1100°C. При повышении температуры до 1200°C немного возрастает количество  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  ( $\alpha$ -модификация) до 74.33% за счет снижения количества  $\text{Na}_2\text{O}\cdot 3\text{CaO}\cdot 8\text{Al}_2\text{O}_3$  до 9.93%, разложения  $\text{Na}_2\text{CaSiO}_4$  и образования  $\text{NaAlO}_2$  (6.12%). Количество нефелина  $\text{NaAlSiO}_4$  остается примерно таким же – 9.62%. При повышении температуры до 1300°C снижается количество  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  ( $\alpha$ -модификация) – 65.34%, появляется геленит  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  – 18.22%, а гексагональный нефелин переходит в триклинный карнегиит  $\text{NaAlSiO}_4$  – 7.60%, количество  $\text{NaAlO}_2$  немного растет – 8.84%.

При увеличении содержания  $\text{Na}_2\text{O}$  до 15% (образец 2) при температуре 1000–1100°C образуются следующие соединения:  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  – 39.58%,  $\text{Na}_2\text{CaSiO}_4$  – 39.12%,  $\text{Na}_2\text{O}\cdot 8\text{CaO}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$  – 13.62%,  $\text{Na}_2\text{O}\cdot 3\text{CaO}\cdot 8\text{Al}_2\text{O}_3$  – 7.69%. Выше температуры  $\sim 1105^\circ\text{C}$  двойной алюминат кальция-натрия становится неустойчивым и переходит в алюминат натрия (21.64%) и ортосиликат кальция (58.27%). Кроме того, примерно в 2 раза снижается количество  $\text{Na}_2\text{CaSiO}_4$ . При дальнейшем повышении температуры вплоть до 1300°C минеральный состав не изменяется.

Для образца 3 (25%  $\text{Na}_2\text{O}$ ) при температуре 1000°C и 1100°C основными соединениями являются:  $\text{Na}_2\text{CaSiO}_4$  – 65.65%,  $\text{Na}_2\text{O}\cdot 8\text{CaO}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$  – 26.25%,  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  ( $\alpha$ -модификация) – 5.32%,  $\text{Na}_2\text{O}\cdot 3\text{CaO}\cdot 8\text{Al}_2\text{O}_3$  – 2.78%. При повышении температуры выше  $\sim 1105^\circ\text{C}$  проявляются закономерности, аналогичные образцу 2.

Согласно термодинамическим расчетам основным соединением золы ТБО является ортосиликат кальция. Повышение концентрации оксида натрия в золе ТБО приводит к замещению ионов кальция на ионы натрия с образованием двойного силиката кальция-натрия. С повышением температуры выше  $\sim 1105^\circ\text{C}$



\*\*\*\*\*

образуются минералы с низкой температурой плавления: геленит ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ ) и алюминат натрия.

*Измерения химического состава золы ТБО выполнены в АЦКП ИПХФ РАН.*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-08-00244 и Государственного задания №0089-2019-0018.*



## ПОЛУЧЕНИЕ БОРСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ СМЕШАННОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕЖИМЕ СВ-СИНТЕЗА

*Балачков М.М., Кузнецов М.С., Пермикин А.А. аспирант*

*НИ ТПУ, Томск, [aap71@tpu.ru](mailto:aap71@tpu.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10024**

Использование атомной энергетики неразрывно связано с ионизирующим излучением (ИИ), которое присутствует на всех этапах ядерно-топливного цикла. Ионизирующее излучение подразделяется на четыре группы:

- тяжёлые положительно заряженные частицы: осколки деления и  $\alpha$ -частицы;
- лёгкие заряженные частицы: электроны и позитроны;
- фотонное излучение: фотоны различных энергий;
- нейтронное излучение: тепловые, промежуточные и быстрые нейтроны [1].

В качестве наиболее эффективного средства защиты от ИИ используют экраны, уменьшающие интенсивность излучения. Первые две группы ИИ, имеют малую длину пробега в любых конденсированных средах, поэтому вопрос о защите от этих частиц обычно не рассматривается. Фотонное и нейтронное излучения, напротив, имеют большие длины пробега практически во всех веществах. Выбор материалов для экранов зависит от типа налетающих частиц, так для защиты от фотонов используют материалы, содержащие химические элементы с большим атомным номером, такие как свинец, вольфрам и различные стали. Для защиты от нейтронного излучения применяют водородосодержащие среды: вода, полиэтилен, парафин и др., так же возможно использование элементов, сильнопоглощающих нейтроны, таких как бор и кадмий [2].

Обычно нейтронное излучение сопровождается фотонным, поэтому для защиты от них применяются комбинации различных материалов или композиты. Одним из таких материалов является борид вольфрама (WB). Наличие в соединении вольфрама позволяет использовать данный материал для защиты от фотонного излучения, а бора – от нейтронного. К тому же, данное соединение обладает высокой плотностью, порядка  $16 \text{ г/см}^3$ , что положительно сказывается на его защитных свойствах [3].

Бориды вольфрама получают прямым синтезом из элементов, карботермическим восстановлением оксидов металлов и бора, боротермическим восстановлением оксидов металлов. Однако наиболее перспективной материаловедческой технологией для получения WB можно считать методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).



\*\*\*\*\*

В рамках данной работы были спрогнозирован температурный режим синтеза на основе уравнения теплопроводности, что представлено на рисунке 1.

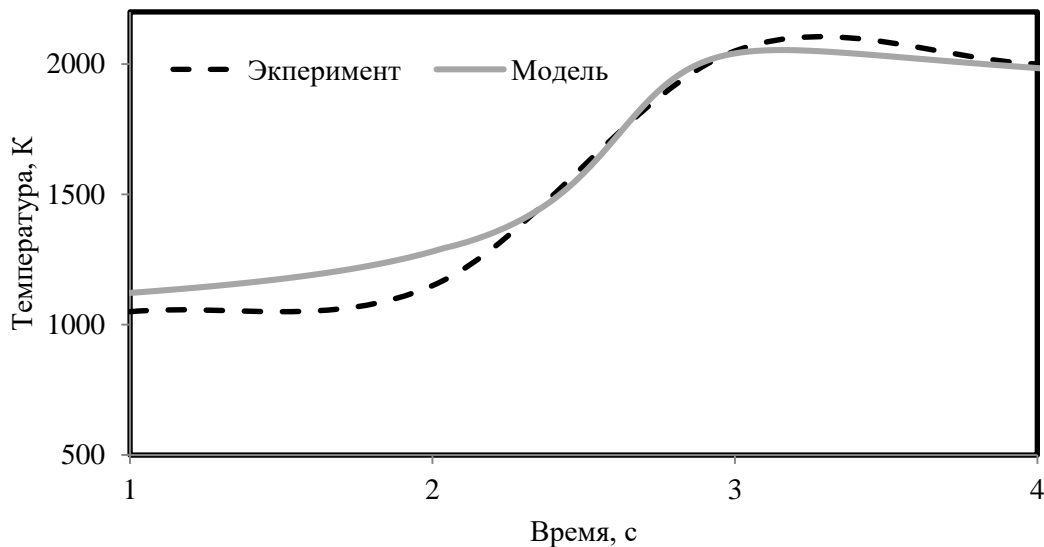


Рис. 1. Температурный режим синтеза.

После реализации СВ-синтеза полученные материалы были подвергнуты рентгенофазовому анализу, результаты представлены на рисунке 4.

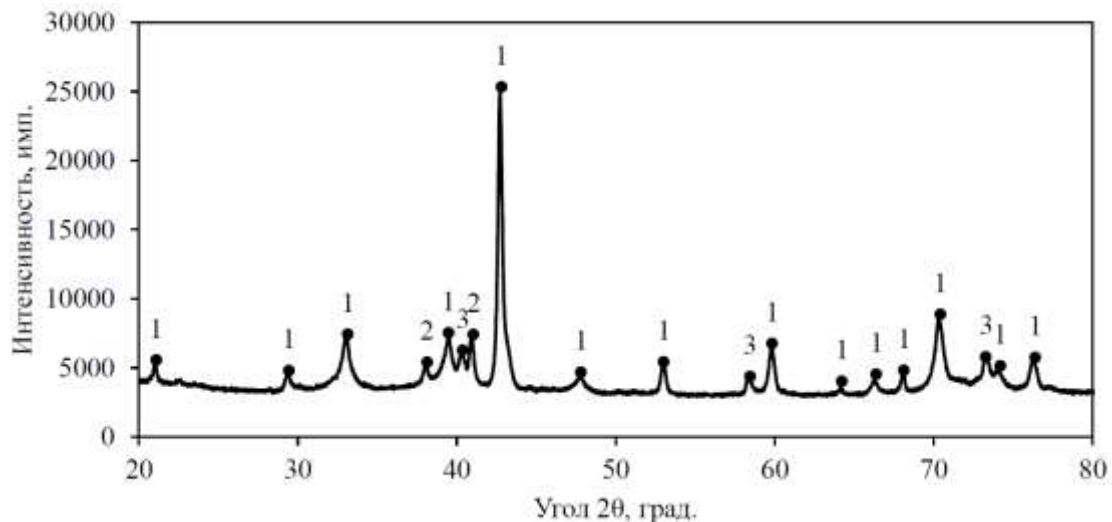


Рис. 2. Рентгенофазовый анализ образца: 1: WB - 82 %; 2: WB<sub>2</sub> - 10 %; 3: W-8 %.

#### Список литературы:

1. Беспалов, В.И. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом: учебное пособие / В.И. Беспалов; Томский политехнический университет. – 5-е изд., доп. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 427 с.
2. Голубев, Б.И. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений: учебник для вузов / Б.И. Голубев; под. ред. Е.Л. Столяровой. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.:



XVII Всероссийская с международным участием школа – семинар по структурной макрокинетике для молодых ученых имени академика А.Г. Мержанова

\*\*\*\*\*

Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.

3. Самсонов Г.В., Серебрякова Т.И., Неронов В.А. Бориды. / Г.В. Самсонов, Т.И. Серебрякова, В.А. Неронов – М.: Атомиздат, 1975. – 376 с.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Томской области в рамках научного проекта № 19-43-703022/19.*



\*\*\*\*\*

## ПОЛУЧЕНИЕ ЛИТЫХ АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ МАРКИ СВС-А3

Уварова И.А. магистрант, Титова Ю.В.

*Самарский государственный технический университет, Самара,*  
[mr.simple2@mail.ru](mailto:mr.simple2@mail.ru)

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10025**

Дисперсно-армированные сплавы при повышенном содержании керамической армирующей фазы могут применяться в качестве дискретно-упрочненных алюмоматричных композиционных материалов (КМ), а при небольшой доле армирующей фазы некоторые из них – в роли эффективных модифицирующих лигатур алюминиевых сплавов. Дисперсно-армированные КМ выгодно отличаются от волокнистой и слоистой изотропии своих свойств, универсальностью и сравнительной простотой технологии изготовления, в связи, с чем дисперсно-армированные металлические КМ нашли широкое использование в транспортном машиностроении, а среди них на первом месте по объему применения находятся алюмоматричные композиционные материалы (АМКМ).

АМКМ изготавливают в основном твердофазными методами порошковой металлургии или жидкофазными методами литья. В настоящее время динамично развиваются и внедряются более технологичные и дешевые жидкофазные способы, которые приводят к образованию сильной межфазной связи, необходимой для обеспечения высоких механических свойств композитов.

Вместе с тем внедрение в производство алюмоматричных композитов, армированных нанодисперсными частицами, затрудняется рядом нерешенных технологических и экономических проблем. Например, введение и равномерное распределение нанопорошков в расплаве алюминия представляет собой большую проблему по сравнению с применением более крупных порошков, так как наночастицы легко слипаются в агломераты, они плохо смачиваются жидким металлом. Твердофазным методам порошковой металлургии присущи заметная остаточная пористость, невысокая адгезия матрицы с наночастицами, значительная стоимость производства. При получении композита Al-AlN продувкой расплава азотом требуется многочасовое поддержание расплава при высокой температуре, что существенно увеличивает энергоемкость процесса. Наконец, исходные керамические нанопорошки, которые доступны для производства армированных алюминиевых сплавов, обладают очень высокой стоимостью. В настоящее время в России на рынке представлены нанопорошки оксидов, карбидов и нитридов, получаемые по энергоемкой технологии





\*\*\*\*\*

плазмохимического синтеза с дорогим и сложным оборудованием, стоимость которых составляет от 20 до 60 тыс. руб./кг.

Заметный вклад в решение этих проблем может внести использование достижений простой энергосберегающей порошковой технологии на основе процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) тугоплавких химических соединений (карбидов, нитридов, боридов, оксидов и др.), изобретенного в 1967 г. академиком А.Г. Мержановым с профессором И.П. Боровинской и профессором В.М. Шкиро. Существует более 20 разновидностей процесса СВС для получения самых разных наноразмерных керамических порошков, которые могут быть применены для армирования АМКМ. В общем виде вклад процесса СВС, например, в создание литых алюмоматричных композиционных сплавов, дискретно армированных наноразмерными керамическими частицами, может быть внесен по трем направлениям:

— синтез менее дорогих керамических нанопорошков для последующего их ввода в матричный расплав (*ex-situ*);

— ввод готовых керамических наночастиц в матричный расплав (*ex-situ*) с помощью процесса СВС, создающего большой градиент температуры и химического потенциала и этим способствующего смачиванию и равномерному распределению наночастиц;

— синтез недорогих армирующих керамических наночастиц непосредственно в расплаве алюминия (*in-situ*) с обеспечением их хорошей адгезии к матрице.

В настоящей работе делается следующий шаг в исследованиях и более конкретно рассматривается, как порошки нитрида алюминия марки СВС-Аз могут быть использованы для армирования и модифицирования алюминиевых сплавов, в том числе по жидкофазной технологии *ex-situ*.

Предложено несколько простых способов ввода наночастиц AlN марки СВС-Аз в расплав алюминия и его сплавов, и жидкофазного процесса получения нанокompозитов Al-AlN:

- использование нанопорошковой псевдолигатуры Cu-4%(AlN+35%Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>) позволило получить литой композиционный алюминиевый сплав Al-1,2%Cu-0,035%AlN;

- использование композиционной лигатуры, полученной сплавлением флюса KCl·MgCl<sub>2</sub> с нанопорошком (AlN+35%Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>) позволило получить литые композиционные сплавы AMг6+0,1%AlN и AMг6+1,0%AlN;

- ввод в твердожидкий расплав позволил получить литые композиционные алюминиевые сплавы AM5-1%AlN и AM5-4%AlN;

- использование вспомогательной реакции синтеза карбида титана в расплаве алюминия» получить литой гибридный алюмоматричный нанокompозит Al-7,7%AlN-19%TiC.

Для увеличения количества введенных наночастиц AlN марки СВС-Аз применялся также твердофазный процесс получения композитов с исходным



\*\*\*\*\*

матричным алюминием в виде порошка, который позволил получить алюмоматричные композиты с повышенным содержанием армирующей фазы AlN до 30 %.

Таким образом, экспериментально установлено, что нанопорошки в количестве от 0,1 до 30 % можно успешно ввести в расплав алюминиевых сплавов простыми способами: в виде нанопорошковой псевдолигатуры (до 0,1 % AlN), вводом в твердожидкий расплав (до 4,0 % AlN), с использованием вспомогательной реакции синтеза карбида титана в расплаве (до 7,7 % AlN) и методом порошковой металлургии (до 30 % AlN).



\*\*\*\*\*

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ТВЕРДЫХ КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОГЛОЩЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ СЕРЫ ПРИ ФИЛЬТРАЦИОННОМ ГОРЕНИИ СЕРНИСТЫХ УГЛЕЙ

*Цветкова<sup>1</sup> Ю.Ю. молодой учёный, Кислов<sup>1</sup> В.М., Цветков<sup>1</sup> М.В.,  
Пилипенко<sup>1</sup> Е.Н., Салганская<sup>1,2</sup> М.В.*

*<sup>1-</sup> Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка,  
[iulyu@icp.ac.ru](mailto:iulyu@icp.ac.ru)*

*<sup>2-</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10026**

Сера содержится во всех видах твердых топлив, таких как каменные и бурые угли, горючие сланцы, а также в некоторых видах торфа. Но если содержание серы в торфе обычно не превышает 1.2%, то в углях оно может составлять до 10%, а в некоторых видах сланцев – до 12-14%.

Содержащаяся в топливе в относительно небольшом количестве (до 1.5%) сера является нежелательной, а при больших количествах – вредной частью топлива. При термической переработке твердых топлив она выделяется в виде газообразных соединений (в восстановительной атмосфере преимущественно в виде  $H_2S$ , в окислительной –  $SO_2$ ), загрязняя и отравляя окружающую среду, и вызывая коррозию металлических конструкций, соприкасающихся с газообразными продуктами сгорания. Именно поэтому при выборе путей использования тех или иных твердых топлив решающим фактором нередко оказывается содержание в них серы.

Отчасти указанную проблему помогают решить использующиеся на промышленных предприятиях различные системы газоочистки от вредных компонентов, в том числе соединений серы, однако они довольно дороги и громоздки. В связи с этим, в настоящее время идет поиск более простых и дешевых способов нейтрализации кислых газов при помощи добавки сорбентов в газифицируемый материал.

Целью работы являлось на примере углей Подмосковного угольного бассейна (Тульского угля) экспериментально показать возможность поглощения серы с помощью добавок в шихту кальцийсодержащих материалов и поиск оптимального количества этих добавок.

В качестве твердой добавки в одной серии экспериментов использовали инертные в химическом отношении фарфоровые кольца Рашига (5-10 мм), в другой – частицы мрамора, способные реагировать с соединениями серы. Количество вводимой твердой добавки определяли с учетом двух факторов: оно должно быть достаточным для поглощения существенного количества серы, но не должно приводить к значительному снижению энергетических характеристик процесса газификации



\*\*\*\*\*

Эксперименты проводили в лабораторном кварцевом реакторе периодического действия диаметром 45 мм.

После прогрева электроспиралью нижней части реактора, в него начинали подавать воздух, что приводило к формированию волны горения, распространяющейся снизу-вверх. Расход воздуха в реактор во время эксперимента поддерживался постоянным и составлял примерно  $550 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ . Образующиеся продукты газификации, состоящие из смол пиролиза и газообразных продуктов, сжигали в верхней части реактора, для чего в нее подавали дополнительное количество воздуха.

Загрузка газифицируемого материала осуществлялась небольшими порциями послойно: вначале загружали порцию угля, затем – порцию негорючего материала, в результате чего в реакторе было загружено 8-10 перемежающихся (чередующихся) слоев угля и негорючего материала.

При послойной загрузке в установившемся режиме даже при добавке 50% негорючей компоненты процесс идет стабильно, его параметры практически не меняются. При использовании в качестве негорючей компоненты колец Рашига температура горения в центре реактора слабо растет примерно с 1270 до 1400 °С. По-видимому, из-за влияния теплопотерь температура горения у стенки реактора оставалась практически постоянной и составляла всего примерно 910 °С. При разгрузке наблюдалось оплавление заметной части образующегося зольного остатка

При использовании в качестве негорючей компоненты частиц мрамора температура горения у стенки реактора слабо снижалась примерно от 910 до 750 °С. Потеря массы мрамора после сгорания во всех экспериментах составляла примерно 1/3 от его первоначального веса. Плавления золы во всех случаях, когда мрамор добавляли в газифицируемый уголь, не происходило.

С увеличением содержания обоих видов негорючей добавки, доля горючих компонентов ( $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ ) снижается, а негорючих ( $\text{CO}_2$ ) – увеличивается. Если при добавлении колец Рашига теплота сгорания газообразных продуктов снижается с примерно 3.6 до 2.8 МДж/м<sup>3</sup>, то для составов с мрамором – снижается примерно до 2.2 МДж/м<sup>3</sup>.

Эксперименты показали, что добавка к газифицируемому Тульскому углю до 50 % масс. химически инертных колец Рашига приводит к снижению содержания серы в золе примерно с 12 до 2 %. Добавка того же количества мрамора ведет к увеличению содержания серы в зольном остатке примерно с 12 до 37 %. Увеличивать количество мрамора выше 40-50 % масс. нецелесообразно из-за сильного снижения эффективности газификации.

*Измерения элементного состава горючих материалов и образующихся продуктов горения выполнены в АЦКП ИПХФ РАН.*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного задания № 0089-2019-0018.*



\*\*\*\*\*

## **ВВЕДЕНИЕ В РАСПЛАВ БОРСОДЕРЖАЩИХ СВС-ЛИГАТУР И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМЫХ АЛЮМИНИЕВО-МАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ**

***Санин<sup>1</sup> В.В. молодой ученый, Филонов<sup>1</sup> М.Р., Аникин<sup>1</sup> Ю.А.,  
Икорников<sup>2</sup> Д.М., Юхвид<sup>2</sup> В.И.***

***<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***

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10027**

Проблема получения высокопрочных, износостойких, термически стабильных материалов является одной из важнейших задач современной металлургии и материаловедения. Повышенный интерес к алюмоматричным композитам (АМК) связан с уникальными свойствами, такими, как малый удельный вес, высокая удельная прочность, высокая удельная жесткость, высокий модуль упругости, низкий коэффициент теплового расширения, а также хорошая износостойкость. Такие характеристики делают АМК перспективными и важными материалами, находящими применение во многих отраслях промышленности [1]. Особый практический интерес представляет получение материалов на основе Al, легированных бором и тяжёлыми металлами (W, Mo) [1,2]. Такие системы легирования могут обладать востребованным комплексом характеристик включающие конструкционные характеристики материалов на основе Al и радиационными защитными характеристиками, востребованными при создании ядерных установок малой мощности для космического назначения и изготовления радиационной защиты радиоэлектронной аппаратуры аэрокосмического и наземного назначения с контролируруемыми массогабаритными характеристиками.

Основной проблемой при производстве композиционных материалов является обеспечение эффективного взаимодействия матрицы и упрочняющей фазы. В частности, непосредственное введение тугоплавких частиц (особенно наноразмерных) в расплав алюминия практически невозможно вследствие их склонности к агломерации и флотации из-за плохой смачиваемости жидким металлом. Решить данную проблему возможно используя предварительно подготовленные лигатуры. Важное значение имеет способ синтеза лигатуры, обеспечивающий оптимальное содержание и фазовый состав частиц упрочняющей фазы.

Для получения лигатур с контролируемым фазовым составом в данной



\*\*\*\*\*

работе был выбран самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Технология СВС позволяет получать неорганические соединения различных классов (карбиды, бориды, нитриды, гидриды, силициды, оксиды, интерметаллиды и фосфиды), как в виде индивидуальных соединений, так и более сложных по составу [3]. Применительно к легким сплавам, СВС-лигатуры, состоящие из отдельных кристаллитов целевой тугоплавкой фазы, имеют очевидную перспективу. Возможность получать частицы тугоплавких соединений, разделенных тонким слоем матричного сплава, плавящегося в процессе введение лигатуры в расплав, принципиально исключает их агломерацию.

Синтез литых модифицирующих лигатур (с контролируемым уровнем легирования и составом компонентов) был проведен в режиме фронтального горения исходных составов с участием различных активных компонентов, вводимых непосредственно в исходные экзотермические составы. Горение таких составов позволяет реализовать температуры достаточные для получения расплавов продуктов горения, и как следствие – получение литых продуктов синтеза в виде слитков.

В качестве модельных объектов исследования были выбраны три борсодержащие системы лигатур:

(1)- Co-B-Al, (2)- Ni-B-Al, (3)- W-B-Al.

Анализ макроструктуры полученных СВС-слитков, для всех трех систем, выявил, что плотные бездефектные слитки формируются при значениях перегрузки выше 30-40g (в зависимости от системы). Слитки, синтезированные при малых значениях перегрузки (ниже 30g) имели газовые (Рисунок 1) и неметаллические (оксид алюминия) включения, поэтому далее были синтезированы слитки при значениях перегрузки  $\pm 50g$ .

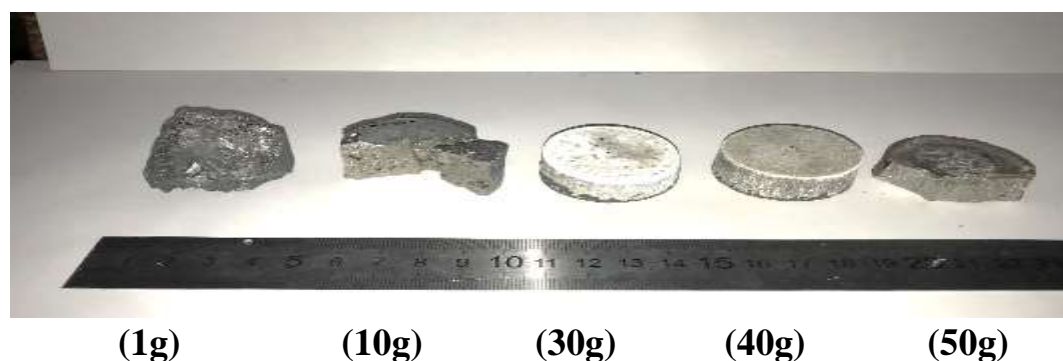


Рис.1. Внешний вид литых образцов лигатуры W-B-Al при различных значениях перегрузки

Исследования микроструктуры СВС слитков синтезированных образцов



\*\*\*\*\*

также подтвердило наличие всех целевых элементов. На рисунке 2 на примере системы W-B-Al видно, что структура целевого сплава достаточно плотная и не имеет газовых поровых включений, что имеет важное значение для последующего сплавления лигатуры и расплава Al в условиях ВИ-плавления. Морфология частиц боридной фазы  $W_2B_5$  имеет ярко выраженную ограниченную структуру, характерную для большинства боридных материалов.

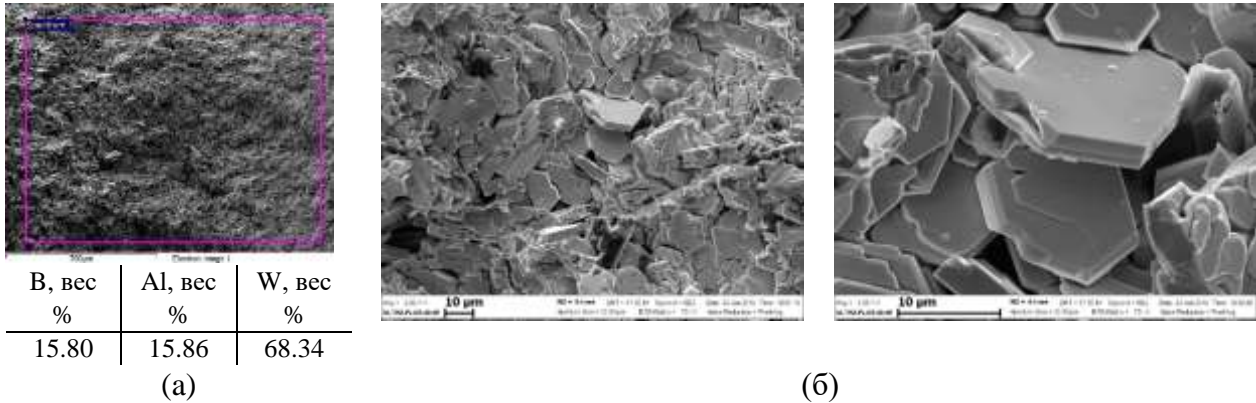


Рис. 2. Результаты микроанализа (а) и микрофотографии (б) скол синтезированной лигатуры из сплава СВС для системы W-B-Al

Исследования по введению синтезированных модификаторов (СВС-лигатур) в расплав алюминия проводились в вакуумной печи Leybold-Heraeus с возможностью управлять температурно-временными параметрами сплавления. Плавка чистого алюминия (марка А99) происходила в вакууме по программе быстрый нагрев до 700 °С, далее выдержка 5 мин. (на 3 минуте напуск Ar до значения 0.02 МПа), далее заданную порцию легирующего состава (СВС-лигатуры) вводили через дозатор в полученный расплав.

Результаты микроанализа и микрофотографии карт распределения элементов после сплавления для всех трех исследуемых систем представлена на рисунке 3.

Анализ данных представленных на рисунке 3-а показал, что здесь наблюдается зонная локализация Ni с повышенной концентрацией. Зонные выделения имеют сетчатую структуру и относительно равномерное распределение зон по всему объему сплава. В отличие от Ni, бор равномерно распределен по объему вне зависимости от зонной концентрации никеля.



\*\*\*\*\*

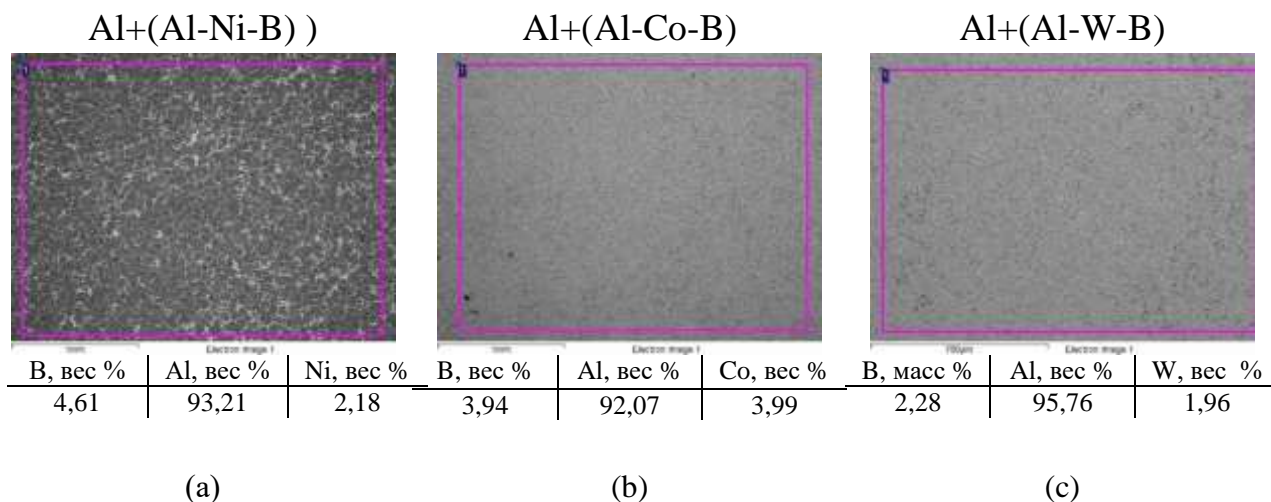


Рис. 3. Результаты микроанализа, выплавленного АМК: (а) – Al-Ni-B; (б) - Al-Co-B; (с) - Al-W-B

Из рисунка 3-б видно, что в системе легирования Al-Co-B после сплавления наблюдается равномерное распределение всех целевых элементов и не наблюдается зонной локализации бора и кобальта. Анализ данных микроструктуры третьей исследуемой системы (Рисунок 3-в) показал, что и вольфрам, и бор также имеет достаточно равномерное распределение по объему сплава.

Из отлитых стержневых заготовок АМК, модифицированных борсодержащими легирующими составами, были изготовлены образцы для проведения механических испытаний. Результаты испытаний сплавов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты механических испытаний.

Образец	Предел текучести, (0,2 %) (МПа)	Макс. нагрузка, (кН)	Предел прочност, (МПа)	Относит. удлинение, %	Энергия удара, Дж	Сила удара, КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	Твердость, НВ
Al-Co-B	64,90	2,51	127,75	16,67	20,92	16,67	38,0
Al-Ni-B	45,76	1,93	98,19	33,33	74,70	33,33	42,0
Al-W-B	52,51	-	97,47	28,91	-	46	-

Экспериментальные данные, полученные для исследуемых трех систем, в ходе выполнения исследований за отчетный период являются первым положительным опытом получения модифицированных сплавов Al посредством последовательного совмещения метода СВС (синтез литых борсодержащих лигатур) и последующего введения синтезированных легирующих составов непосредственно в процессе ВИП.





\*\*\*\*\*

Список литературы:

1. L. Klein, B. von Bartenwerffer, M.S. Killian, P. Schmuki, S. Virtanen / The effect of grain boundaries on high temperature oxidation of new  $\gamma'$ -strengthened Co–Al–W–B superalloys / *J. Corrosion Science* / 2014, №9. P. 29-33;
2. H. Ahmoum, M. Boughrara, M. Kerouad / Electronic and magnetic properties of Al doped (w - BN) with intrinsic vacancy / *J. Superlattices and Microstructures* / 2019, №1. P. 186-190;
3. V.N. Sanin, D.M. Ikonnikov, V.I. Yuxhvid, E.A. Levashov / Centrifugal SHS metallurgy of cast alloys based on nickel aluminide, high boron alloy / *J. "Tsvetnyye Metally"*. 2014, №11. P. 83-88;

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



\*\*\*\*\*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВАРКИ ВЗРЫВОМ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЗОНЫ СОЕДИНЕНИЯ В БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБАХ И СТЕРЖНЯХ**

***Малахов<sup>1</sup> А.Ю. молодой ученый, Сайков<sup>1</sup> И.В., Денисов<sup>1</sup> И.В., Романцев<sup>2</sup> Б.А., Гамин<sup>2</sup> Ю.В.***

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

***<sup>2-</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва***

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10028**

Биметаллические материалы нашли широкое применение в различных областях машиностроения. Зачастую монометаллические конструкции не удовлетворяют необходимым требованиям по коррозионной стойкости и удельному весу. В зависимости от условий эксплуатации поверхность стальных изделий необходимо защищать путем их плакирования коррозионностойким слоем. В частности, актуальным является вопрос о повышении срока службы труб нефтяного и котельного сортамента.

Сварка взрывом является оптимальным способом получения биметаллических изделий, так как обеспечивает возможность получения соединения любых металлов и сплавов с прочной металлической связью и с минимальными энергозатратами по сравнению с другими способами [1]. Сваркой взрывом можно получать как сплошные, так и полые биметаллические цилиндрические заготовки с минимальными отклонениями по химическому составу, физическим и механическим свойствам от исходных материалов [2]. При этом, в большинстве случаев в результате сварки взрывом происходит упрочнение металлов в близкой окрестности от границы соединения [3, 4], что нужно учитывать при проведении последующих технологических операций.

В результате проведения экспериментов по плакированию взрывом были получены двухслойные стальные стержни с сочетанием слоев сталь 20+08X18N10T. Результаты измерений наружного диаметра образцов после сварки взрывом показали, что произошла равномерная деформация наружной трубы в процессе сварки на величину сварочного зазора. Соотношение объемов составляющих слоев во всех образцах после сварки взрывом и горячей деформации остается одинаковым.



\*\*\*\*\*

Результаты измерений микротвердости составляющих слоев на границе соединения после каждого технологического этапа показали, что при соответствующей технологическому процессу температуре нагрева, наклеп в соединении снимается благодаря рекристаллизации, тем самым повышаются пластические свойства готового изделия. Исследования микроструктуры границ соединений, полученных сваркой взрывом, показали, что режимы сварки были оптимальными для сочетания слоев сталь 20 + 08X18H10T. По длине соединения обнаружены разобъединенные оплавленные участки из литых включений толщиной до 300 мкм, образовавшиеся при расплавлении поверхностных слоев металлов. В процессе сварки взрывом произошел незначительный наклеп на границе соединения и деформация зёрен феррита в стали 20. Металлографические исследования границы соединения образцов, прошедших после сварки взрывом горячую прокатку и прошивку, показали, что в результате горячей пластической деформации произошло снятие наклепа и обезуглероживание в стали 20 на границе соединения глубиной до 300 мкм.

Из анализа полученных экспериментальных данных следует, что горячая пластическая деформация не повлияла на соотношение объёмов составляющих слоев во всех биметаллических образцах после сварки взрывом. Таким образом, обеспечивается равномерная деформация основного и плакирующего слоя, что позволяет на этапе конструирования принимать оптимальные толщины биметаллической трубы или стержня.

#### Список литературы:

1. Greenberg V.A., Ivanov M.A., Kuzmin S.V., Lysak V.I. Svarka vzryvom: process i struktury. [Explosive welding: processes and structures]. Moscow, Innovacionnoe mashinostroenie Publ., 2017, 236 p.
2. Mendes R., Ribeiro J.B., Loureiro A. Effect of explosive characteristics on the explosive welding of stainless steel to carbon steel in cylindrical configuration. Materials and Design, 2013, vol. 51, pp. 182 – 192.
3. Ming Yang, Honghao Maa, Zhaowu Shena, Yuling Suna. Study on explosive welding for manufacturing meshing bonding interface of CuCrZr to 316L stainless steel. Fusion Engineering and Design, 2019, vol. 143, pp. 106 – 114.
4. Robert Kosturek, Marcin Wachowski, Lucjan Snizek, Adam Kruk, Janusz Torzewski, Krzysztof Grzelak, Janusz Mierzycski. Research on the microstructure of a Ti6Al4V-AA1050 explosive-welded bimetallic joint. Materials and technology, 2019, vol. 53, no. 1, pp. 109 – 113.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-08-01248 А. Эксперименты по сварке взрывом проведены на базе ООО «Битруб Интернэшнл».*



\*\*\*\*\*

## ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ И СВС

Малахов А.Ю. молодой ученый, Сайков И.В., Саламатов В.Г., Серолян С.А.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетике и проблем материаловедения Российской академии наук, Черногловка, [sir.malahov2009@yandex.ru](mailto:sir.malahov2009@yandex.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10029**

Проблема создания новых и улучшения свойств существующих материалов остается на сегодняшний день одной из актуальных задач материаловедения. В последнее время особое внимание исследователей уделено получению высокоплотных объемных металлокерамических композитов (керметов), представляющих собой металлическую матрицу, содержащую керамические частицы, выступающие в роли упрочняющей фазы.

Технологически трудно совместить металл и керамику на макроуровне в одном монолитном материале в виду значительного различия их свойств. Новые научные и практические перспективы могут быть открыты при создании материалов на основе ударно-волновых технологий (сварка и компактирование взрывом) и их комбинации с самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС). Один из перспективных методов организации прочного соединения разнородных материалов – сварка взрывом – широко применяется при производстве биметаллов и позволяет сваривать даже металлургически несовместимые и трудносвариваемые композиции, такие как медь и алюминий [1, 2], медь и титан [3], сталь и титан [4].

В данной работе был реализован синтез керметов  $TiB_2-Ni$  и  $TiC-Ni$  ударно-волновым нагружением образцов в стальной матрице метанием ударника. В системе  $Ti-B-Ni$  при использовании полидисперсного титана инициирование происходит при минимальной (1000 м/с) скорости ударника, в то время как образцы с узкими фракциями не реагируют. Повышение скорости ударника до 1500 м/с нивелирует влияние размерности титана на иницируемость. Инициирование системы  $Ti-C-Ni$  происходит только в случае предварительной механической активации. Продукты реакции исследованных систем подобны и представляют собой частицы в виде многогранников ( $Ti-B-Ni$ ) размером 2-5 мкм и близкой к сферической форме ( $Ti-C-Ni$ ) размером до 2 мкм, которые окружены металлической связкой.

В результате было установлено, что увеличение концентрации никеля в смесях с 10 % до 20 % существенно снижает чувствительность к ударно-



\*\*\*\*\*

волновому инициированию. При использованной постановке эксперимента с косым метанием ударника выполняются условия для его сварки взрывом с матрицей. Таким образом, полученные данные могут быть применены при планировании схем получения слоистых металлокерамических материалов и выборе соответствующих режимов. В принципе возможен вариант совмещения по времени процессов соединения слоев сваркой взрывом, компактирования СВС-состава и инициирования в нем синтеза керметного слоя.

#### Список литературы:

1. Zahedi A., Dariani B.M. and Mirnia M.J., Experimental determination and numerical prediction of necking and fracture forming limit curves of laminated Al/Cu sheets using a damage plasticity model, International journal of mechanical sciences, 2019, vol. 153, pp. 341–358.
2. Shiran M.K.G., Khalaj G., Pouraliakbar H., Jandaghi M.R., Dehnavi A.S. and Bakhtiari H., Multilayer Cu/Al/Cu explosive welded joints: Characterizing heat treatment effect on the interface microstructure and mechanical properties, Journal of manufacturing processes, 2018, vol. 35, pp. 657–663.
3. Pervukhina O.L., Saikov I.V., Pervukhin L.B. and Khaidarov F.B., Deformation and thermodynamic processes in explosion cladding of cylindrical components with titanium, Welding International, 2012, vol. 26, no. 4, pp. 318–321.
4. Rozumek D. and Kwiatkowski G., The Influence of Heat Treatment Parameters on the Cracks Growth under Cyclic Bending in St-Ti Clad Obtained by Explosive Welding, Metals - Open Access Metallurgy Journal, 2019, vol. 9, no. 3, pp. 338.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-08-00754 А.*



\*\*\*\*\*

## ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГОРЮЧЕГО В ИСХОДНОЙ РЕАКЦИОННОЙ СМЕСИ НА СТРУКТУРУ ПОРОШКОВ КАТАЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА ZnO, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ РАСТВОРНОГО СВС

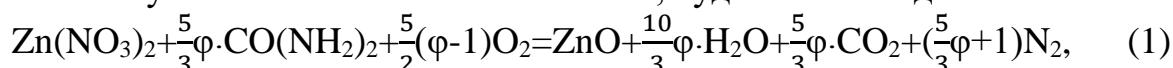
*Мусеев Н.В. аспирант, Новиков В.А., Амосов А.П.*

*Самарский государственный технический университет, Самара,  
[mmt6m@mail.ru](mailto:mmt6m@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10030**

В последнее время для использования в качестве фотокатализатора разложения фенола и других токсичных загрязнителей воды привлекает внимание наноструктурный оксид цинка ZnO, стоимость которого на 75% ниже, чем наночастиц TiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [1]. Особенно эффективны наноструктурные фотокатализаторы с высокой удельной и дефектной поверхностью. Весьма перспективен для получения доступного и эффективного наноструктурного ZnO метод растворного самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС-Р) или Solution Combustion Synthesis (SCS), основанного на самоподдерживающейся экзотермической реакции взаимодействия окислителя и восстановителя (топлива или горючего) в растворе [2].

В настоящей работе рассмотрен процесс СВС-Р оксида цинка ZnO, где в качестве окислителя выбран кристаллогидрат нитрата цинка – Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, в качестве топлива выбрана мочевины – CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, а в качестве растворителя – дистиллированная вода. Для них уравнение химического взаимодействия, составленное с учетом валентностей элементов, будет иметь вид:



где  $\varphi$  – главный критерий, характеризующий отношение топливо/окислитель [2]. При  $\varphi=1$  внутреннего кислорода в реагентах достаточно для полного окисления топлива (оптимальный состав смеси). При  $\varphi < 1$  в реакционной смеси присутствует избыток окислителя (топливо-бедные смеси), а при  $\varphi > 1$  – избыток горючего (топливо-богатые смеси). Экспериментально изучалось влияние количества горючего в исходной смеси компонентов на состав продуктов синтеза. (Ранее для этой системы изучалась зависимость расчетных адиабатических и экспериментальных температур процесса СВС-Р ZnO от содержания горючего [3].) Для исследования синтезированных порошков использовались: рентгенофазовый анализ на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA и растровая электронная микроскопия на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) JSM-6390A фирмы «Jeol», оценка размера областей когерентного рассеивания (ОКР) по методу Селякова – Шеррера. Результаты



\*\*\*\*\*

исследований представлены на рисунке 1 и в таблице 1. Как видно из рисунка, синтезированный продукт представляет собой агломераты равноосных частиц с наименьшим размером при  $\varphi=1$ . Как видно из таблицы, увеличение содержания топлива в исходной реакционной смеси не влияет на фазовый состав продуктов. Целевой оксид цинка образуется во всех проведенных экспериментах. Средний размер частиц ZnO 350 нм, средний размер ОКР 45 нм. Рекомендуется использовать оптимальный состав при  $\varphi=1$ .

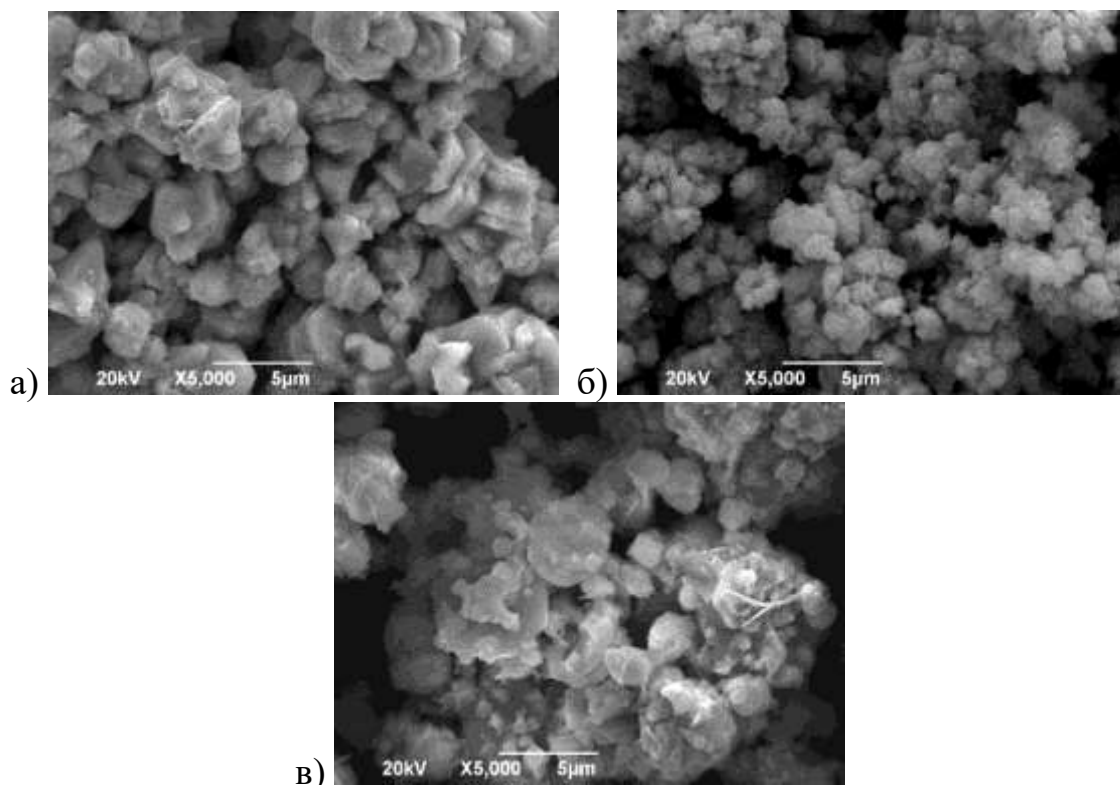


Рис. 1. Морфология частиц для различных  $\varphi$ : а)  $\varphi = 0,5$ ; б)  $\varphi = 1$ ; в)  $\varphi = 1,5$

Таблица 1. Характеристики синтезированного продукта

$\varphi$	Размеры частиц, нм		Фазовый состав продуктов	Морфология поверхности
	СЭМ	ОКР		
0,5	160-245	43,77	ZnO, C	Сферической и угловатой формы, с наличием криволинейных поверхностей
1	166-240	43,83	ZnO, C	Сферической и стержневой формы
1,5	256-650	48,43	ZnO, C	Сферической и стержневой формы



\*\*\*\*\*

Список литературы:

1. C.B. Ong, L.Y. Ng, A.W. Mohammad. A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 81. P. 536–551.
2. Varma A., Mukasyan A., Rogachev A., Manukyan K. Solution Combustion Synthesis of nanoscale materials. *Chemical Reviews*, 2016, vol. 116, no. 23, pp. 14493–14586.
3. Моисеев Н. В., Никулина А. Д., Новиков В. А. Изучение термодинамических характеристик и режимов горения в процессе растворного СВС оксида цинка // *Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: Материалы X Междунар. научно-иннов. молодеж. конф.* 24 - 26 октября 2018. Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2018. С. 160-162.





\*\*\*\*\*

## **ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ МАЛЫМИ ДОБАВКАМИ $Al_2O_3$ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НАНОПОРОШКОВ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ И КЕРАМИКИ НА ИХ ОСНОВЕ**

***Беличко Д.Р. аспирант, Константинова Т.Е., Носолев И.К., Волкова Г.К.***

*Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина, Донецк,  
[danil.belichko@yandex.ru](mailto:danil.belichko@yandex.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10031**

Сегодня возрастает необходимость исследования пористых керамических материалов, применяемых в хирургии и имплантологии. Несомненно, пористые керамические материалы уступают в прочности плотным материалам, однако их можно использовать для интеграции в ткани, не несущие значительных нагрузок (операции на среднее ухо, некоторые челюстно-лицевые операции), а также в качестве средства для локализованной доставки лекарственных препаратов. Поры в таком материале способствуют остеоинтеграции – интеграции импланта в костную ткань при их непосредственном контакте.

Пористые керамические материалы применяются в качестве теплоизоляционных материалов в строительстве и промышленности. Такие материалы устойчивы к действию коррозионных сред и не выделяют вредных веществ в процессе эксплуатации.

Целью данной работы является изучение свойств пористых керамических материалов на основе нанопорошков диоксида циркония, допированных малыми добавками оксида алюминия.

Нанопорошки для исследования были получены методом совместного химического осаждения, поскольку данный метод позволяет получать нанопорошки с большей степенью однородности и меньшим размером частиц, в отличие от механического смешивания.

В ходе эксперимента исследовалось влияние малых добавок  $Al_2O_3$  (1, 2, 3, 5 вес.%) на структуру и свойства нанопорошков  $ZrO_2+3\text{мол.}\%Y_2O_3$  и керамики на их основе. Нанопорошки компактировались в условиях высокого гидростатического давления ( $P=300$  МПа) и спекались при температуре  $1500^\circ\text{C}$ .

Были проведены рентгеновские исследования, измерены плотность, пористость, модуль Юнга, прочность и твердость спеченных керамических образцов. Изучена структура и характер излома материала.

Отмечено уменьшение областей когерентного рассеяния (ОКР) в порошках с увеличением количества оксида алюминия (рис. 1). Полученная керамика имела более 90% тетрагонального диоксида циркония.



\*\*\*\*\*

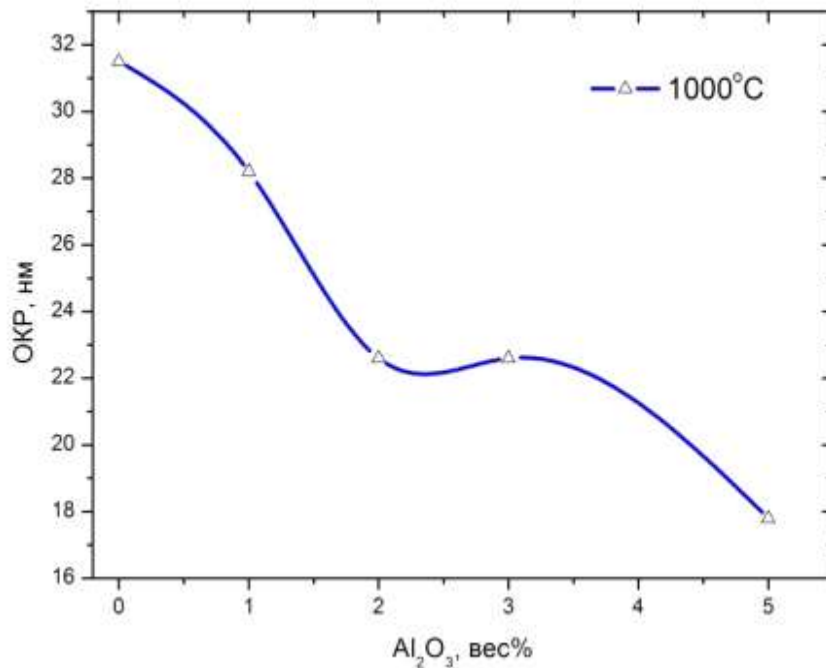


Рис.1 Изменение ОКР с ростом концентрации оксида алюминия.

Зависимости всех исследуемых механических свойств от концентрации оксида алюминия имели вид немонотонных кривых с максимумом при концентрации 1 вес.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, что может быть обусловлено улучшением состояния границ зёрен при данной концентрации и увеличением пористости с её ростом.



\*\*\*\*\*

## УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА БОРТОВЫХ ОГНЕЙ, УПРАВЛЕНИЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МОДЕЛЕЙ

*Балусов<sup>1,2</sup> И.С. школьник, Мельников<sup>1,2</sup> С.Б. школьник, Богданов<sup>1</sup> С.В.*

*<sup>1</sup>- Дом Юных Техников, Королев М.О.*

*<sup>2</sup>- МОУ СОШ 82, Черноголовка*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10032**

В научно - техническом творчестве есть задачи, решение которых приведет к росту популярности моделизма и технического творчества и снижению финансового и технического порога входа.

1. Задача дистанционного управления. Существуют отдельные готовые решения, но они дороги и имеют очень узкие диапазоны применения. Мы объединили известные способы управления со сделанными нами программно – техническими решениями.

2. При создании моделей точное копирование систем огней и исполнительных механизмов просто невозможно- потребовалось бы невероятное количество проводов. Мы предложили и реализовали схемотехническое решение – использование адресных RGB светодиодов и чипов на шине NRZ.

3. В реальных ситуациях модели транспортных средств подвержены влиянию факторов, приводящих к изменению курса. А при управлении скоростными моделями ручная коррекция просто невозможно в силу ограниченности времени реакции человека. Мы реализовали простую программно – техническую систему поддержания курсовой устойчивости на основе гироскопа и системы пропорционально- интегрально- дифференциального управления.

Шасси, бамперы и корпус были напечатаны на 3Д принтере AnyCubic 4Max, G-коды были получены в программу Cura v.15.04.06, для черчения использовалась учебная версия программы Autocad и бесплатная программа TinkerCad on Autodesk.

Результаты и выводы

1. Разработана методика управления бортовыми огнями и исполнительными механизмами на основе адресных чипов WS2812/11.

2. Реализована система автоматического управления бортовыми огнями – фары, фары заднего хода, указатели и повторители поворота, стоп-сигналы включаются по командам управления движения.



\*\*\*\*\*

3. Реализована система управления движением и дополнительным оборудованием модели на Blue Tooth на примере системы управления ControlJoystick

4. Реализована система управления на радиоканальных пультах управления моделями с декодированием сигналов.

5. Реализована система курсовой устойчивости на 6 – осевом гироскопе / акселерометре с методикой ПИД. Параметры ПИД выбраны по методике Зиглера – Николса, система работает удовлетворительно.

6. Разработанные схемы, чертежи и программы выложены в открытый доступ для повторения любителями.

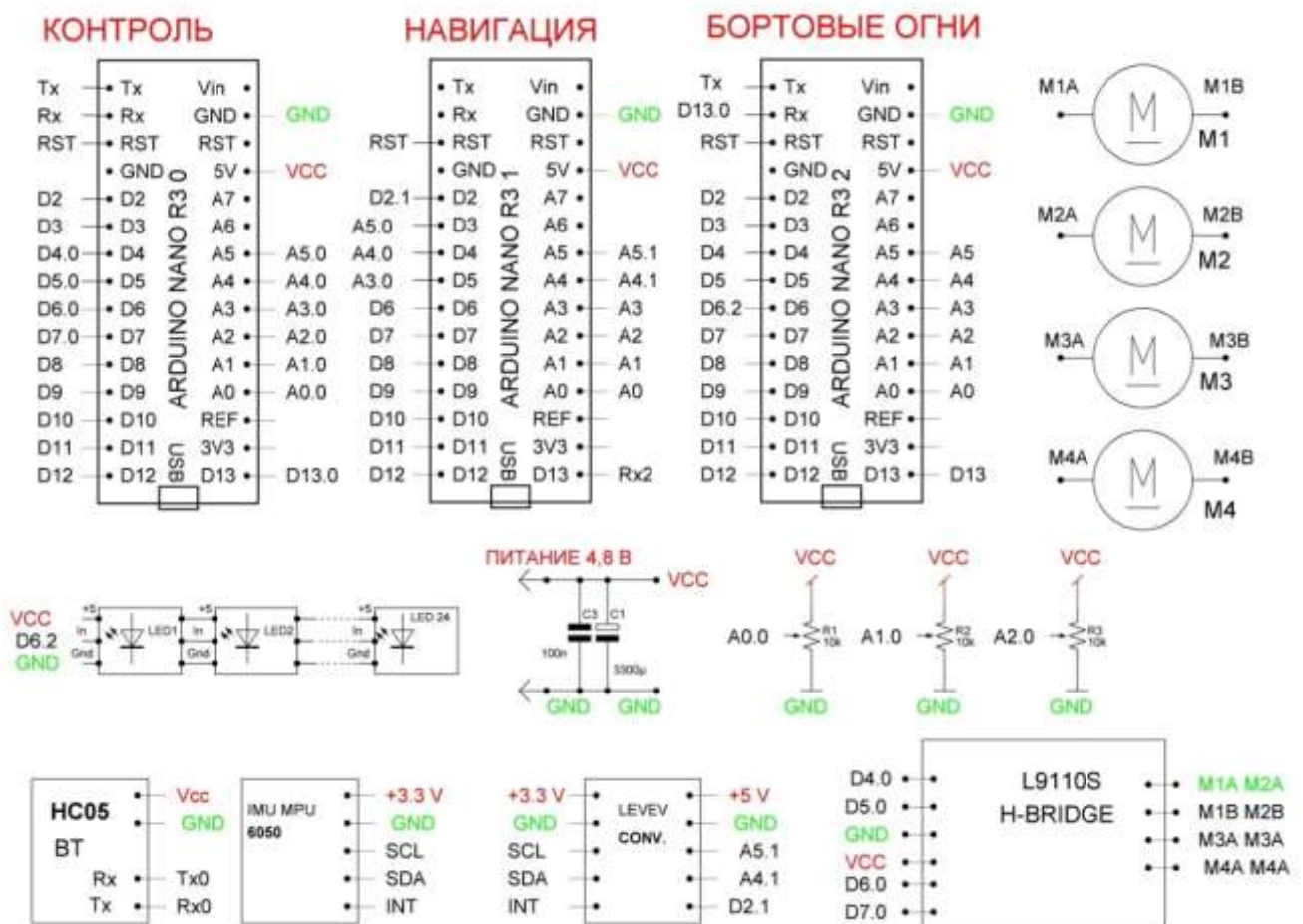


Рис. 1. Схема модели с Blue Tooth управлением.



\*\*\*\*\*

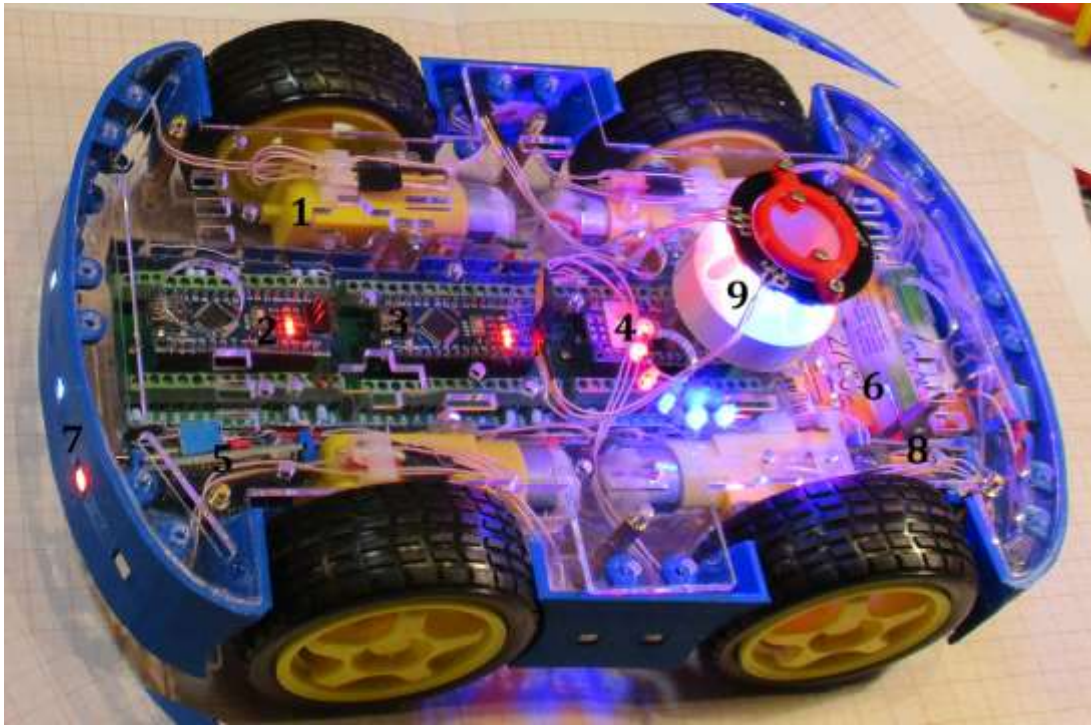


Рис. 2. Модель с ВТ управлением.

Список литературы:

1. Протоколы NRFZ-800 и описание работы адресных светодиодов и чипов WS2812 / 11. [В Интернете] <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/WS2812.pdf> .
2. The Ziegler–Nichols tuning heuristic method of tuning a PID controller. [В Интернете] [https://en.wikipedia.org/wiki/Ziegler%E2%80%93Nichols\\_method](https://en.wikipedia.org/wiki/Ziegler%E2%80%93Nichols_method).



## ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ГАЗОВАЯ ЭКСТРУЗИЯ РЕАКЦИОННЫХ ПОРОШКОВ

*Галиев<sup>1</sup> Ф.Ф. аспирант, Сайков<sup>1</sup> И.В., Алымов<sup>1</sup> М.И, Бербенцев<sup>2</sup> В.Д.,  
Гултин<sup>2</sup> А.В., Бугаков<sup>2</sup> В.И., Сачкова<sup>1</sup> Н.В., Коновалихин<sup>1</sup> С.В.*

*<sup>1</sup>- Институт структурной макрокинетики и проблем  
материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук,  
Черноголовка, [fanis.galiev@mail.ru](mailto:fanis.galiev@mail.ru)*

*<sup>2</sup>- Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина  
Российской Академии Наук, Троицк*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10033**

Высокотемпературная газовая экструзия (ВТГЭ) это один из методов обработки металлов под давлением. При данном методе продукты получают выдавливанием исходных материалов через матрицу при помощи высокого гидростатического давления инертного газа [1, 2]. Этим методом получают длинномерные стержни и провода тонкого сечения и формы. Длинномерные стержни получают также методом СВС-экструзии [3]. Методом ВТГЭ, в отличие от СВС-экструзии, появляется возможность получать продукты в оболочке.

Настоящая работа посвящена совмещению ВТГЭ и СВС для получения длинномерных интерметаллидных стержней в оболочке в процессе экструзии реакционноспособных порошковых смесей. В качестве модельной была взята система Ni-Al. Принципиальная схема установки высокотемпературной газовой экструзии представлена на рис.1.

Экструзия проводилась при давлении газа в камере равной 200 МПа и при температуре начала экструзии 780°C. В ходе экспериментов были получены интерметаллидные стержни в стальной оболочке.

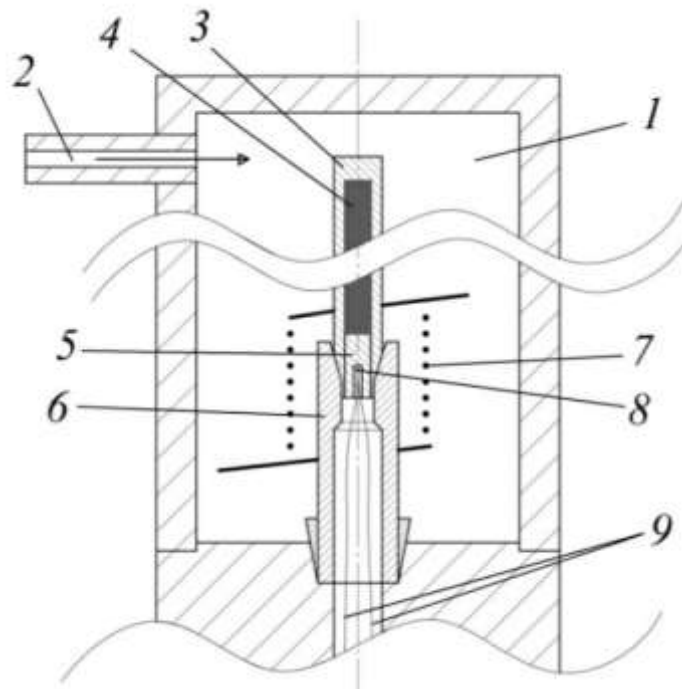
Полученные образцы подвергались количественному рентгенофазовому анализу и исследованию микроструктуры на оптическом и автоэмиссионном сканирующем электронном микроскопе.

Количественный РФА (с уточнением по методу Ритфельда) показал, что сердечник на >60% состоит из интерметаллида NiAl, на 20% из Ni<sub>3</sub>Al, и меньше всего содержится Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>(<20%). Исследование микроструктуры на электронном микроскопе подтвердило количественный РФА анализ, и также показал, что в образце обнаруживаются такие интерметаллиды как Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>, NiAl, Ni<sub>5</sub>Al<sub>3</sub>, Ni<sub>3</sub>Al.

Механические свойства образца оценивались анализом микротвердости по методу Виккерса. Среднее значение микротвердости сердечника равна 720HV, более твердые участки показали значение 1050HV, тогда как микротвердость стальной оболочки была примерно 280HV



\*\*\*\*\*



1 – камера высокого давления, 2 – входной газопровод, 3 – оболочка-заготовка для экструзии, 4 – компактированный порошок Ni-Al, 5 – пробка с осевым сверлением под термопару, 6 – газоэкструзионная матрица, 7 – нагреватель, 8 – термопара, 9 – термопарные выводы

Рис. 1. Схема установки высокотемпературной газовой экструзии.

В результате данной работы впервые, на модельной системе Ni-Al была проведена высокотемпературная газовая экструзия реакционноспособной порошковой смеси, и получены длинномерные цилиндрические стержни из интерметаллидов Ni-Al в стальной оболочке. Неоднородности микроструктуры полученного образца можно связать с большими скоростями экструзии и малой температурой начала процесса, для устранения неоднородности, предполагается увеличить температуру нагрева и уменьшить гидростатическое давление.

#### Список литературы:

1. Ваганов В.Е., Аборкин А.В., Алымов М.И., Бербенцев В.Д. Современное состояние и перспективы развития высокотемпературной газовой экструзии для получения прутков тонкого сечения труднодеформируемых сплавов, в том числе в наноструктурированном состоянии // *Металлы*. 2015. №5, С. 67.
2. Бербенцев В.Д., Алымов М.И., Бедов С.С. Консолидация нанопорошков методом газовой экструзии // *Российские нанотехнологии*. 2007. Т.2. №7–8. С.116.



\*\*\*\*\*

3. Столин А.М., Бажин П.М. Получение изделий многофункционального назначения из композитных и керамических материалов в режиме горения и высокотемпературного деформирования (СВС-экструзия) // Теор. основы хим. технологии. 2014. Т.48. №6. С. 603.





\*\*\*\*\*

## ГАЗИФИКАЦИЯ СЛАНЦЕВОЙ ПЫЛИ В РЕАКТОРЕ С ПОДВИЖНЫМ СЛОЕМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

*Цветков<sup>1</sup> М.В. молодой ученый, Салганский<sup>1</sup> Е.А., Зайченко<sup>1</sup> А.Ю.,  
Подлесный<sup>1</sup> Д.Н., Салганская<sup>1,2</sup> М.В.*

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

*<sup>2</sup>- Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва,  
[tvetkov@icp.ac.ru](mailto:tvetkov@icp.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10034**

В работе было проведено экспериментальное исследование воздушной и паровоздушной газификации высокодисперсного топлива – горючего сланца. Проведенный анализ образцов топлива показал следующий усредненный элементный состав (% масс.): С – 28.1; О – 20.7; Н – 3.16; N – 0.04; S – 2.0; зольность – 44%, влажность составляла 2%. Низшая теплота сгорания горючего сланца равнялась 10.5 МДж/кг. Эксперименты проводились на измельченном топливе фракции 63-160 мкм. Температура плавления золы – не менее 1200°C.

Массовый расход пылевидного топлива подбирался так, чтобы в продукт-газе преимущественно образовывался монооксид углерода. Для этого были выбраны три характерных удельных расхода окислителя: 1000, 1200, 1400 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·час). В экспериментах мольное отношение пар/кислород в газообразном окислителе составлял 0 и 2.

Лабораторные исследования проводили в вертикальном шахтном кварцевом реакторе квазинепрерывного действия, внутренним диаметром 66 мм и длиной 500 мм. Объем реактора заполняли инертным материалом (дробленый шамотный кирпич) фракции 7–10 мм с пористостью 0.6.

Для измерения температуры использовались хромель-алюмелевые термопары. Термопары располагались на расстоянии 65 мм друг от друга, спаи которых находились на внутренней стенке реактора. Показания термопар через АЦП выводились на компьютер в реальном времени, что позволяло стабилизировать высокотемпературную область в одном положении внутри реактора путем выгрузки-загрузки инерта. Периодически в ходе экспериментов через верхний торец реактора производился отбор проб газообразных продуктов в стеклянную ампулу-ловушку. Анализ отобранных газообразных продуктов осуществляли на газовом хроматографе “GC-CRYSTAL 5000” фирмы Хроматэк.

Инициирование процесса горения осуществлялось путем первоначальной загрузки в реактор запальной смеси (смесь древесного угля с инертным материалом), разогретой до 800°C. Поверх запальной смеси в реактор до верхнего торца загружали инертный материал при комнатной температуре. После этого производилась подача газифицирующего агента в реактор.



\*\*\*\*\*

Транспортировка пылевидного топлива в объем реактора осуществлялась дополнительным потоком воздуха через боковой ввод в реакторе. Далее происходило горение уже пылевидного топлива. Процесс горения осуществляли в квазинепрерывном режиме, для этого в ходе эксперимента осуществлялась разгрузка остывшего инерта вращающимся колосником из реактора и дозагрузка свежих порций инерта в реактор. В таком режиме работы пылевидное топливо подавалось в разогретую выше  $600^{\circ}\text{C}$  часть инертной засыпки.

Характерные температурные профили волны горения при газификации горючего сланца для случая расхода воздуха  $1000 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$  и мольном отношении пар/кислород равном 2 представлены на рисунке 1. На графике цифрами приведена нумерация термопар по длине реактора снизу-вверх, а также представлен перепад давления на слое в реакторе (пустые круглые маркеры). Начальный момент времени соответствует загрузке иницирующего состава в реактор, после чего происходило его горение и прогрев вышележащих слоев инертного материала. Время начала и окончания подачи топлива обозначено вертикальными сплошными линиями, моменты отбора газообразных продуктов – заштрихованными прямоугольниками. Колебания температуры и давления в ходе эксперимента соответствуют выгрузке инертного материала и подсыпке новых порций сверху реактора с целью удержания высокотемпературной зоны напротив ввода топлива.

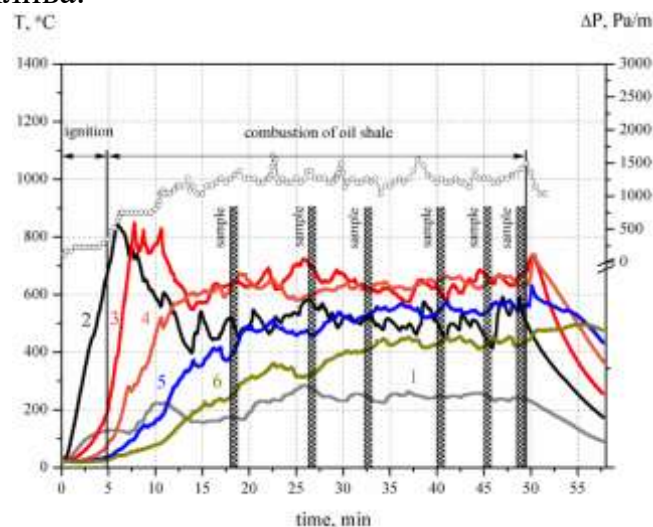


Рис. 1. Типичные температурные профили волны горения при газификации горючего сланца.

Продолжительность всех экспериментов составляла примерно час, а время подачи пылевидного топлива составляло 40-50 минут, этого было достаточно для реализации стационарного режима горения. При газификации пылевидного топлива происходило расширение тепловой волны и ее продвижение вверх по засыпке, в результате этого топливо подавалось в разогретую зону протяженностью 3.5-4 диаметра реактора и времени



\*\*\*\*\*

пребывания хватало для полного его реагирования. Таким образом, в экспериментах реализовывалась инверсная структура волны горения.

На рис. 2 представлена зависимость скорости конвективной тепловой волны в реакторе от расхода воздуха и мольного отношения пар/кислород. В случае газификации пылевидного топлива скорость конвективной тепловой волны определяется движением инертного теплоносителя вдоль оси реактора и зависит от расхода топлива и газифицирующего агента.

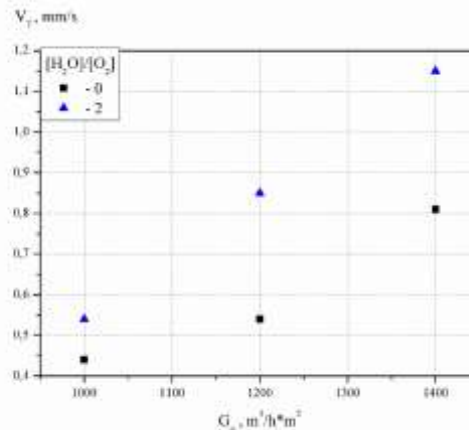


Рис. 2. Зависимость скорости конвективной тепловой волны в реакторе от расхода воздуха и мольного отношения пар/кислород.

При росте расхода воздуха с 1000 до 1400  $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{час})$  происходил рост скорости конвективной тепловой волны с  $\sim 0.5$  мм/с до  $\sim 1.1$  мм/с. Добавление пара также увеличивает скорость конвективной тепловой волны.

При увеличении расхода воздуха происходит рост температуры горения с 700 до 850°C и перепада давления с 1250 до 2500 Па/м. При этом давление в реакторе было выше примерно в 3 раза, чем при холодных продувках аналогичных систем при тех же расходах, что связано с увеличением объема газа в результате реакции топлива с окислителем в высокотемпературной зоне и за счет теплового расширения газа.

В работе были изучены закономерности фильтрационного горения пылевидного твердого топлива. При реализации инверсной тепловой структуры волны горения были определены максимальные температуры горения, перепад давления на слое в ходе эксперимента и скорость тепловой волны в зависимости от расходных характеристик исходных реагентов. Показана возможность получения горючего газа с калорийностью до 4 МДж/м<sup>3</sup>.

*Измерения элементного состава горючего сланца выполнены в АЦКП ИПХФ РАН.*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №17-03-00058 и Государственного задания №0089-2019-0018.*



\*\*\*\*\*

## **ВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ И ИНЕРТНЫХ ДОБАВОК НА ПАРАМЕТРЫ СВС ДЛЯ РЕАКЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПАКТОВ**

*Серопян С.А. аспирант, Сайков И.В., Алымов М.И.*

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

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10035**

Реакционные порошковые компакты – это один из классов энергетических материалов, обладающих высокой энергоемкостью и низкой чувствительностью т.е. остаются инертны до момента инициирования при помощи высокоскоростного удара или нагрева [1].

Создание и отработка перспективных реакционных материалов, с требуемым набором физико-механических и энергетических свойств, связано с рядом физико-механических и технологических трудностей. Такие исследования, как правило, несут экспериментальный характер.

Целью данной работы является исследование влияния различного рода добавок на параметры СВС для реакционных порошковых компактов. Важными параметрами СВС являются скорость распространения волны горения, а также начальная и максимальная температура синтеза. Регулирование данных параметров позволит добиться необходимого режима горения. Таким образом, актуальной задачей является изучение влияния различных добавок, которые бы позволили контролировать СВС в реакционных материалах.

Объектом исследований была порошковая система Ni и Al с размерами частиц менее 50 мкм в эквипроцентном соотношении [2, 3]. В качестве активной добавки использовался порошок C<sub>2</sub>F<sub>4</sub> с размерами частиц менее 5 мкм. Содержание фторопласта в системе Ni и Al варьировалось от 1 до 25 масс.%. Смешивание двух и трехкомпонентной системы производилось в смесителе типа «Turbula» при скорости вращения 20 об/мин в течение 3 часов. Исследования проводились на порошковых компактах в форме параллелепипеда с размерами 20×5×5 мм и 50×5×5 мм с относительной плотностью от 0,6 до 0,95. Помимо двухкомпонентного и трехкомпонентного состава, изготавливались образцы, армированные вольфрамовыми и борными волокнами. Иницирование осуществлялось нагретой вольфрамовой спиралью подведенной к торцу образца. Скорость горения измерялась при помощи видеосъемки, а также при помощи термопар, помещенных в начало и конец образца. Введение различных добавок позволяет регулировать параметры СВС в широком диапазоне скоростей и температур.



\*\*\*\*\*

Список литературы:

1. N. A. Imkhovik, A. V. Svidinsky, A. S. Smirnov, V. B. Yashin. Gorenje i Vzryv (Moskva) – Combustion and Explosion. 2017 T. 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.

*Исследование выполнено в рамках крупного проекта по проведению фундаментальных научных исследований по приоритетным направлениям, определяемым Президиумом Российской академии наук (КП № 22) «Перспективные физико-химические технологии специального назначения».*



\*\*\*\*\*

## ПРИМЕНЕНИЕ НАНОПОРОШКОВЫХ ЛИГАТУР Ni-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

*Волонова А.Е. бакалавр, Тихонова А.Ю., Кузина А.А.*

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, кафедра технологии металлов и авиационного материаловедения, Самара, [volonova00@bk.ru](mailto:volonova00@bk.ru), [anna.klyarner.1916@mail.ru](mailto:anna.klyarner.1916@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10036**

В последние годы алюмоматричные композиционные материалы, обладающие малой плотностью, высокими эксплуатационными свойствами и коррозионной стойкостью, находят широкое применение в изделиях аэрокосмической промышленности, автомобилестроения, строительной индустрии и др. Повышение свойств в таких материалах достигается, как правило, путем введения в матрицу расплава наноразмерных упрочняющих (модифицирующих) добавок. В качестве таких добавок применяются различные керамические соединения, в том числе и с наноразмерностью. Однако проблема улучшения взаимодействия вводимых упрочняющих нанодобавок с алюминиевым расплавом и сегодня не теряет своей актуальности. Условия, в которых происходит формирование композиционного материала, оказывают влияние на свойства и структуру как самой алюминиевой матрицы, так и керамических нанодобавок. Непосредственный ввод керамических нанодобавок в расплав алюминия практически невозможен, поскольку такие частицы обладают особыми свойствами (являются очень активными, легко слипаются, плохо смачиваются жидким расплавом и т.д.). Поэтому ввод таких наночастиц в алюминиевый расплав осуществляется, как правило, с помощью лигатур (прессовок, полос, лент и др.).

Целью работы было исследование возможности ввода нанопорошка марки СВС-Аз Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> при увеличенном его содержании в алюминиевый расплав А7 и АК12.

Ввод упрочняющей фазы Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> в алюминиевый расплав проводился в печи типа GRAFICARBO в стальном тигле объемом до 0,2 кг. Температура расплава изменялась от 850 до 1000°C. Равномерное распределение упрочняющей фазы Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> в алюминиевом расплаве обеспечивалось с помощью перемешивания. Перемешивание расплавов в процессе плавки проводилось вручную при помощи приспособления, представляющего собой стальной прутки диаметром 10 мм. Нужное количество оборотов мешалки составило 30...60. В ходе проведения экспериментов установлено, что оптимальная температура ввода нанопорошковых лигатур Ni-2,5%Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> и Ni-5%Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> - 900°C. Изменение температуры расплава от 850°C до 1000°C при вводе нанопорошковой лигатуры



\*\*\*\*\*

Ni-7,5%Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> существенного влияния на растворимость данной лигатуры не оказало.

В полученных образцах с материалом – основой АК12 твердость изменялась по шкале НВ в пределах от 56 до 67 МПа. В литых образцах с материалом – основой А7 твердость изменялась в пределах от 22 до 24 МПа.

Таким образом, максимальная растворимость упрочняющей фазы Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> отмечается при вводе в алюминиевые сплавы АК12 и А7 нанопорошковых лигатур Ni-5%Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>.



\*\*\*\*\*

## ИЗУЧЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН В СЛОИСТОМ КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ НА ОСНОВЕ МАХ-ФАЗЫ СИСТЕМЫ Ti/Ti-Al-C

***Аверичев О.А.** молодой ученый, **Бажин П.М.**, **Столин П.А.**, **Прокопец А.Д.**,  
**Столин А.М.**, **Сачкова Н.В.***

*Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения  
РАН, Черноголовка, [olegaverichev@gmail.com](mailto:olegaverichev@gmail.com)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10037**

Материалы на основе МАХ-фазы представляют собой термодинамически стабильные слоистые тройные соединения, сочетающие в себе свойства металлов (электро- и теплопроводность, высокий модуль упругости, высокую обрабатываемость) и керамики (жаростойкость, низкий удельный вес, теплостойкость) [1]. Однако, задача получения готовых изделий из этих материалов методами высокотемпературного пластического деформирования для данного класса соединений является затруднительной в силу особенностей макропластического течения МАХ-материалов после синтеза [2]. Еще более интересной и нетривиальной задачей в данной области является задача получения слоистых композиций с чередующимися слоями МАХ-фазы и металла, являющегося вязко-пластичной составляющей. Подобные композиции могут быть применены в качестве бронестойких макрослойных пластин, в которых сочетание высокой ударной вязкости с низким удельным весом особенно важно для потенциального применения данного вида изделий.

В качестве объекта исследований была выбрана система Ti/Ti-Al-C. Возможность формирования слоистого композиционного материала из разнородных фаз определяется совместимостью исходных компонент. Для получения композитов с оптимальными свойствами межфазное взаимодействие на границах слоев должно быть ограничено, поскольку интенсивное взаимодействие приводит к снижению ударной вязкости композиционного материала. В то же время, механическая и химическая совместимость слоев при переходе от металла к тройному соединению определяется соответствием упругих констант, коэффициентами термического расширения и показателями пластичности компонент [3]. При правильном строении переходных слоев возможно достичь такого соотношения этих показателей, при которых прочность связи окажется достаточно высокой для передачи напряжений через границу.

Изучение макроструктуры слоистого керамического материала системы Ti/Ti-Al-C, полученного методом СВС-сжатия, проводилось методами оптической и электронной микроскопии. Было показано наличие трех





\*\*\*\*\*

макрослоев, представляющих собой типичную структуру СКМ: первый слой, преимущественно состоящий из МАХ-фазы, следующий за ним интерметаллидный слой, и третий слой, состоящий из титанового сплава ВТ1-0 [4].

Более детальное изучение второго (промежуточного) слоя выявило образование сложносоставной переходной зоны между слоем титана и МАХ-фазой, толщиной от 30 до 200 мкм. Преобладающей в ней фазой является интерметаллид  $TiAl$ , в котором распределены тонкие ( $>1$  мкм в длину) игольчатые дендриты МАХ-фазы в количестве 10 - 15 %, а также коагулярные включения  $Ti$ , предположительно диффундировавшие от верхней части подложки в момент сжатия. При увеличенном масштабе изображения в непосредственном контакте с титановой подложкой была обнаружена тонкая (1-5 мкм) приграничная с титаном фаза темного, неоднородного цвета, рисунок 1. Предположительно, вблизи поверхности чистого титана происходит образование тонкого карбидно-интерметаллидного слоя  $TiC-TiAl$ .

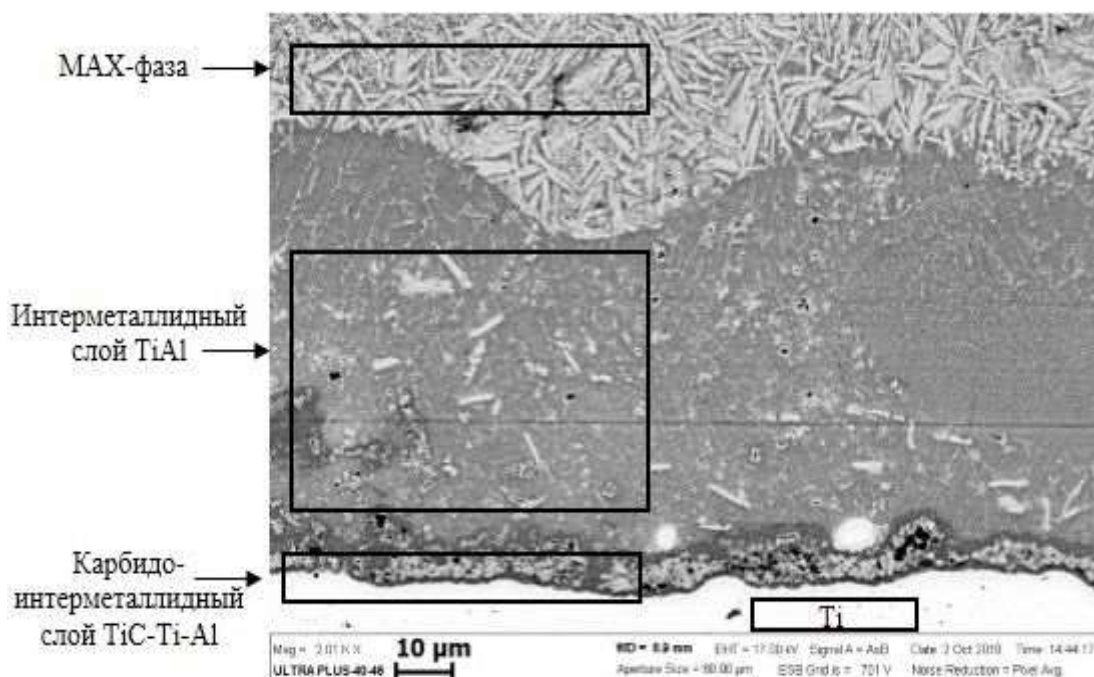


Рис. 1. Тонкий переходный слой  $TiC-TiAl$  вблизи титановой подложки.

Хотелось бы отметить, что применение метода свободного СВС-сжатия позволяет добиться высоких механических свойств композиции путем сочетания вязких и высокотвердых слоев, имеющих различный фазовый состав и микроструктуру. На данный момент задача получения металлического слоистого композиционного материала на основе системы  $Ti/Ti-Al-C$  является новой и требует дополнительных исследований как в области режимов получения образцов, так и в области их испытаний.



\*\*\*\*\*

Список литературы:

1. Zhang Z., Lim S.H., Lai D., Tan S., Koh X., Chai J., Wang S., Jin H., Pan J., Probing the oxidation behavior of Ti<sub>2</sub>AlC MAX phase powders between 200 and 1000 °C. J. Eur. Ceram. Soc. 37 (2017), pp. 43-51.
2. Столин, А.М. Получение огнеупорных плит и слоистых композитов методом свободного СВС–сжатия / П. М. Бажин // Новые огнеупоры, 2017, №. 3. С. 55.
3. Краснов, Е. И. Исследование слоистого металлического композиционного материала системы Ti–TiAl<sub>3</sub> / Е. И. Краснов, А. С. Штейнберг, А. А. Шавнев, В. М. Серпова, А. Н. Жабин // Труды ВИАМ. — 2016. — № 7. — С. 21–30.
4. Аверичев О.А., Прокопец А.Д., Столин П.А. Структурообразование слоистых керамических материалов Ti/Ti–Al–C, полученных методом свободного СВС-сжатия. Новые огнеупоры. 2019;(4):57-60.



\*\*\*\*\*

## НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ИОННОЕ АЗОТИРОВАНИЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С УМЗ СТРУКТУРОЙ

Николаев А.А. аспирант, Хусаинов Ю.Г.

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа,  
[alnikolaev.usatu@gmail.com](mailto:alnikolaev.usatu@gmail.com)

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10038

В настоящее время титановые сплавы занимают важное место среди современных конструкционных материалов, благодаря уникальному сочетанию физических, механических и технологических свойств. Однако, титановые сплавы имеют низкую твердость и, как следствие, неудовлетворительную износостойкость поверхности, а также склонность к налипанию в узлах трения.

Одним из перспективных направлений повышения прочности конструкционных материалов является интенсивное пластическое деформирование (ИПД). Несмотря на высокие физико-механические свойства УМЗ титановых сплавов, поверхность деталей, работающих в условиях контактных нагрузок подвергаются интенсивному изнашиванию.

Однако, традиционное ионное азотирование титановых сплавов осуществляют в области высоких температур (850-950 °С) при длительной выдержке (24-48 часов), что неизбежно приводит к снижению механических свойств основы материала в результате полиморфных ( $\alpha \rightarrow \beta$ ) превращений. Кроме того, при таких термических воздействиях в принципе невозможна обработка титановых сплавов с УМЗ структурой т.к. уже при температуре ~500 °С и выше происходит рост зерен из-за протекания процессов рекристаллизации. Следовательно, для предотвращения роста структурных составляющих и сохранения эксплуатационных характеристик материала ионное азотирование титанового сплава необходимо осуществлять в области низких температур (450-500 °С).

В данной работе исследовано влияние ионного азотирования на микротвердость, структуру и износостойкость титанового сплава ВТ6 в УМЗ состоянии. Показано что, азотирование при температуре выше 500 °С приводит к деградации УМЗ структуры и росту зерна. Оптимальными температурами обработки для титановых сплавов с УМЗ структурой являются 450-500 °С. Установлено, что предварительно созданная УМЗ структура в титановом сплаве позволяет повысить глубину упрочненного слоя на ~ 50% после ионно-плазменного азотирования в тлеющем разряде. Показано, что низкотемпературное ионное азотирование повышает износостойкость на 18%.



\*\*\*\*\*

## **ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОГО СОЛЕВОГО СОСТАВА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НУЛЬ-ВАЛЕНТНЫХ НАНОПОРОШКОВ ЖЕЛЕЗА, ПОЛУЧЕННЫХ БОРГИДРИДНЫМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ**

*Тагиров М.И. аспирант, Лейбо Д.В., Кузнецов Д.В.*

*Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС», Москва, [tagirovmi@edu.misis.ru](mailto:tagirovmi@edu.misis.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10039**

Сточные воды – одна из главных проблем человечества в 21 веке. Быстрый рост населения приводит к сокращению запасов чистой воды. Около 80 % воды сбрасывается без очистки, что подвергает опасности экосистему и здоровье человека. В составе сточных вод содержится большое количество нитратов, фторидов и фенолов, тяжелых металлов (Cr, Pb и т.д.) [1]. Присутствие свинца в питьевой воде приводит к необратимым последствиям для здоровья.

Среди развитых технологий очистки сточных вод выделяют адсорбцию, мембранную технологию, биodeградацию, ионный обмен [2, 3]. Методы, основанные на применении нуль-валентного наножиелеза (nZVI), привлекают особое внимание научных групп. Частицы nZVI высоко эффективны в удалении фенольных соединений, тяжелых металлов и органических красителей [4, 5].

Основным методом получения частиц nZVI является боргидридное восстановление ионов железа [6]. В литературе описано влияние на синтез многих экспериментальных параметров [7]. Однако не изучено влияние исходной соли на состав и свойства конечных порошков nZVI. Другой проблемой получения nZVI является необходимость использования защитной атмосферы, чтобы избежать окисления полученных частиц. Это накладывает ограничения на широкое использование метода. Таким образом, необходимо найти условия, которые позволят производить nZVI в воздушной атмосфере.

В качестве исходных солей в данной работе были выбраны:  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; для стабилизации полученных из  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  частиц применяли натрий-карбоксиметилцеллюлозу ( $\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_2\text{CH}_2\text{COONa}$ ); в качестве восстановителя использовали  $\text{NaBH}_4$ .

2,5 г  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  / 4 г  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  / 2 г  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  / 2,7 г  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  растворяли в 30 мл воды. К раствору соли по каплям добавляли водный раствор  $\text{NaBH}_4$  в течение 10 мин. Боргидрид натрия был взят в избытке для полного восстановления. Суспензию перемешивали в течение 30 мин. Осадок фильтровали через мембранный фильтр 0,22 мкм, промывали от побочных продуктов 250 мл воды и 250 мл изопропанола последовательно и сушили под вакуумом при комнатной температуре. Восстановление также проводили в



\*\*\*\*\*

присутствии натрий-карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) с мольным соотношением Fe: Na-КМЦ, равным 1 : 0,002, 1 : 0,0055 и 1 : 0,0108, для пассивации поверхности nZVI, полученных из  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ . Осадок при этом промывали изопропанолом (250 мл).

Рентгенограммы порошков nZVI на рисунке 1, полученных после восстановления из  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{FeCl}_2$  и  $\text{FeCl}_3$ , имели характерные пики при  $2\theta$  углах, равных  $68,6^\circ$  и  $106,0^\circ$ , что соответствует металлическому железу (PDF-карта № 06-0696). Образец, полученный из  $\text{FeSO}_4$ , также содержал фазу ферригидрита (Fh), что подтверждено наличием широких пиков при углах  $2\theta$ , равных  $52,6^\circ$  и  $99,5^\circ$ . nZVI не были получены восстановлением ионов  $\text{Fe}^{3+}$  из  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  с помощью  $\text{NaBH}_4$ . Этот образец состоял только из фазы Fh. Рентгенограммы показывают, что частицы железа, восстановленные из  $\text{FeCl}_2$ , обладают самой высокой кристаллическостью. Содержание окисленных продуктов в конечных образцах уменьшалось в ряду  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 > \text{FeSO}_4 > \text{FeCl}_3 \approx \text{FeCl}_2$ .

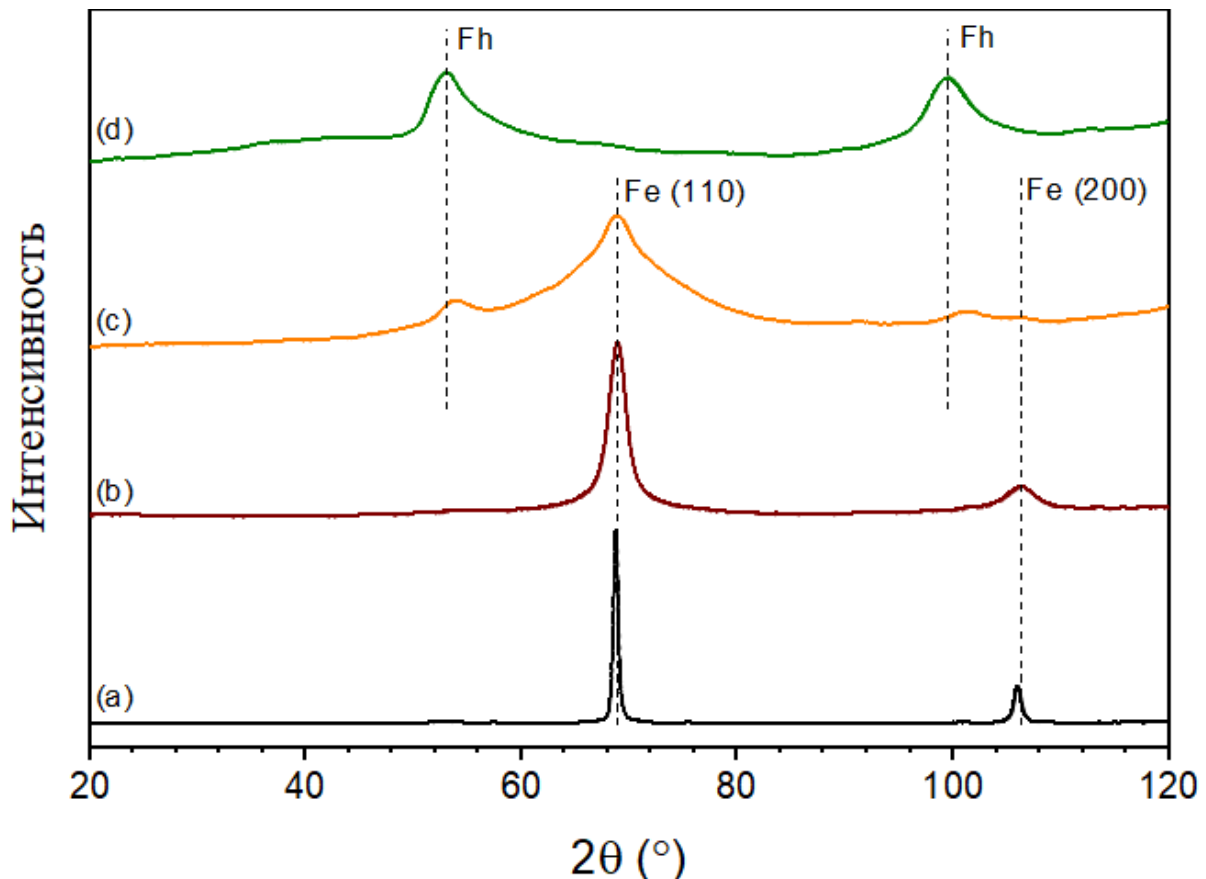


Рис.1. Рентгенограммы порошков nZVI, полученных восстановлением из  $\text{FeCl}_2$  (a);  $\text{FeCl}_3$  (b);  $\text{FeSO}_4$  (c);  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  (d).

Рентгенограммы на рисунке 2 показывают, что образцы, полученные с использованием Na-КМЦ для пассивации, состояли из фазы Fh.



\*\*\*\*\*

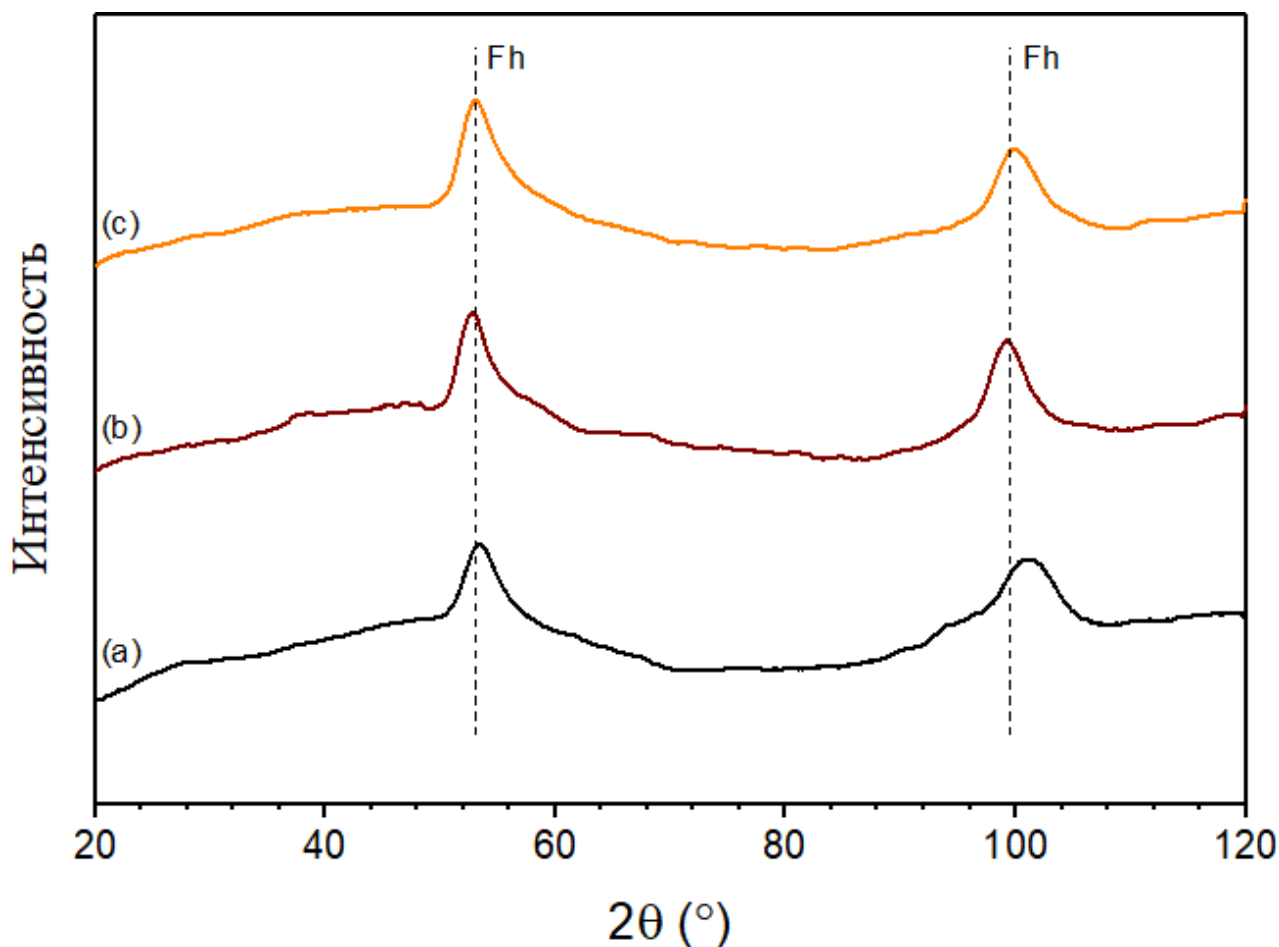


Рис. 2. Рентгенограммы порошков, полученных восстановлением из  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  с концентрацией Na-КМЦ 1: 0.002 (a), 1: 0.0055 (b) and 1: 0.0108 (c).

Изображения ПЭМ наночастиц показаны на рисунке 3. Агрегаты nZVI, полученных из  $\text{FeSO}_4$ , состояли из хлопьевидных частиц, а также частиц неправильной формы размером около 20 нм. Из  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  были получены двумерные структуры с толщиной около 2 нм. Частицы nZVI, полученные из  $\text{FeCl}_2$  и  $\text{FeCl}_3$ , расположены в виде цепочек и имеют структуру ядро-оболочка с толщиной оболочки около 3-6 нм. Размер частиц железа, восстановленных из  $\text{FeCl}_2$ , составлял приблизительно 100 нм, а из  $\text{FeCl}_3$  – 20-30 нм.



\*\*\*\*\*

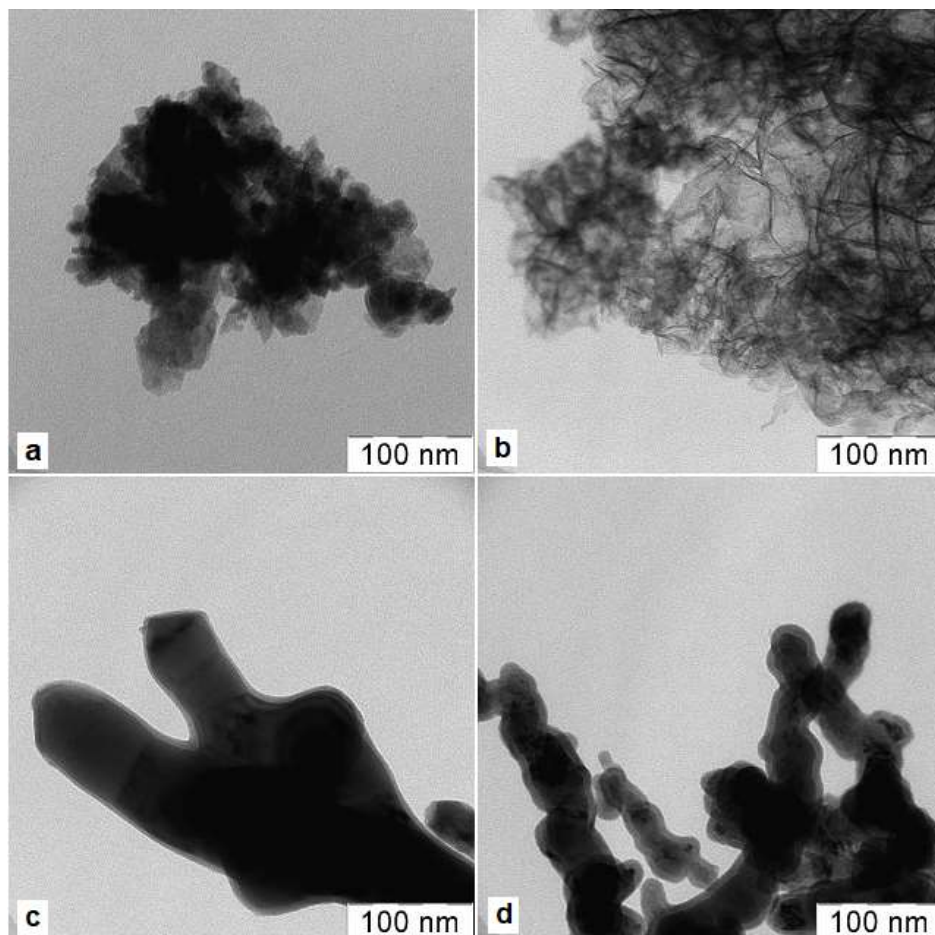


Рис. 3. ПЭМ изображения nZVI, полученные из FeSO<sub>4</sub> (a), FeNO<sub>3</sub> (b), FeCl<sub>2</sub> (c), FeCl<sub>3</sub> (d).

Эксперименты по очистке воды проводились путем измерения концентрации ионов Pb<sup>2+</sup> в водном растворе в присутствии образцов nZVI, восстановленных из разных солей. 200 мл 1,2 мМ раствора Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> смешивали с 50 мг nZVI. Суспензию обрабатывали в ультразвуковой ванне в течение 10 мин для гомогенизации, после чего оставляли в шейкере на 230 минут.

Результаты удаления ионов Pb<sup>2+</sup> показаны на рисунке 4. Концентрация ионов Pb<sup>2+</sup> быстро снизилась в результате ультразвуковой обработки образцов nZVI, полученных из всех солей. Затем происходило постепенное снижение концентрации в течение следующих 120 мин. После 120 мин наблюдалось небольшое колебание. Образец nZVI, полученный из FeSO<sub>4</sub>, показал максимальную эффективность удаления ионов Pb<sup>2+</sup> по сравнению с другими образцами nZVI.



\*\*\*\*\*

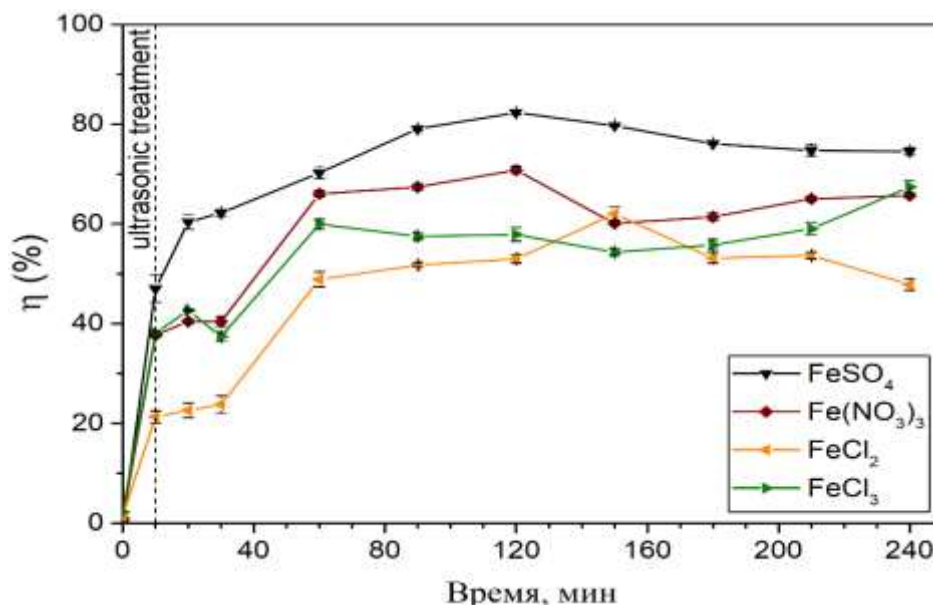


Рис. 4. Эффективность удаления ионов  $Pb^{2+}$  с помощью nZVI, полученных из различных солей.

#### Список источников

1. Thompson, T.; Fawell, J.; Kunikane, S.; Jackson, D.; Appleyard, S.; Callan, P.; Bartram, J.; Kingston, P. Chemical safety of drinking water: assessing priorities for risk management. Geneva, 2007.
2. Yang, L.; Sheng, M.; Zhao, H.; Qian, M.; Chen, X.; Zhuo, Y.; Cao, G. Treatment of triethyl phosphate wastewater by Fenton oxidation and aerobic biodegradation. *Science of The Total Environment* 2019, 678, 821-829.
3. Crane, R.A.; Scott, T.B. Nanoscale zero-valent iron: future prospects for an emerging water treatment technology. *Journal of hazardous materials* 2012, 211, 112-125.
4. Huang, B.; Lei, C.; Wei, C.; Zeng, G. Chlorinated volatile organic compounds (Cl-VOCs) in environment — sources, potential human health impacts, and current remediation technologies. *Environ. Int. Pergamon* 2014, 71, 118–138.
5. Raza, W.; Lee, J.; Raza, N.; Luo, Y.; Kim, K.H.; Yang, J. Removal of phenolic compounds from industrial waste water based on membrane-based technologies. *J. Ind. Eng. Chem. Elsevier* 2019, 71, 1–18.
6. Zhang, W.; Oswal, H.; Renew, J.; Ellison, K.; Huang, C.H. Removal of heavy metals by aged zero-valent iron from flue-gas-desulfurization brine under high salt and temperature conditions. *Journal of hazardous materials* 2019, 373, 572-579.
7. Dongsheng, Z.; Wenqiang, G.; Guozhang, C.; Shuai, L.; Weizhou, J.; Youzhi, L. Removal of heavy metal lead (II) using nanoscale zero-valent iron with different preservation methods. *Advanced Powder Technology* 2019, 30(3), 581-589.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Российского фонда фундаментальных исследований № 18-29-25051.





\*\*\*\*\*

## ПРИМЕНЕНИЕ ЖЕЛЕЗООКИСЛЯЮЩИХ БАКТЕРИЙ ПРИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ УРАНА С МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШАНТОБЕ

*Канаев А.Т. молодой ученый, Токпаев К.М., Динпель Т.А.*

*Научно-исследовательский институт проблем биотехнологии  
Жетысуского Государственного университета им. И. Жансугурова,  
Талдыкорган, Казахстан, [Tanya- .96@mail.ru](mailto:Tanya-.96@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10040**

Казахстан занимает одно из ведущих мест по добыванию цветных металлов. Из цветных металлов получают сплавы, которые характеризуются стойкостью к коррозии, высокой прочностью, устойчивостью к высоким температурам и т.д. На данный момент в мире существует множество методов по извлечению металлов из руд, одним из наиболее устаревших является химический метод, который в свою очередь чреват последствиями для окружающей среды. В связи с этим наиболее актуальным методом является – биовыщелачивание. Микробиологический метод позволит освоить залежи забалансовых руд и использовать их для извлечения ценных металлов такие как уран, молибден, золото и т.д. Достоинством этого метода является то, что не представляет никакой угрозы для окружающей среды и является прибыльно экономическим.

Целью исследования: применение метода биовыщелачивания для выделения урана из отобранной руды с помощью железобактерий.

На данный момент лаборатория биотехнологии занимается разработкой выщелачивания урана из руды с помощью маточного раствора под названием испарительная карта № 5. Для проведения данного исследования была отобрана руда с месторождения Шантобе.

Метод биовыщелачивания осуществляли вычислением микроорганизмов через исследуемые растворы. Из маточного раствора культивировали бактерий на среде Сильвермерна и Лундгрена именуемой по другому 9К последующего состава  $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ -15;  $\text{MgSO}_4$ -2,5;  $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - 221;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ - 2,5; среду доводили с помощью  $\text{H}_2\text{SO}_4$  до pH-1,5. Раствор готовился из расчета на 5 л . Окраска раствора становилась бурой это говорило о присутствии в растворе  $\text{Fe}^{3+}$ .

Дальнейшее исследование  $\text{Fe}^{+2}$  и  $\text{Fe}^{+3}$  проводится комплексонометрическим титрованием с применением раствора трилона Б.

Вывод: Лабораторные методы проходят с применением практических и теоретических растворов.

Показателями кучного выщелачивания месторождения Шантобе служит максимальная степень извлечение урана из руды. В исследовании применяется



\*\*\*\*\*

руда с месторождения Шантобе в Акмолинской области (Республика Казахстан) в количестве около 2,2 кг. На первых этапах для проведения анализа руду разделили по крупности через сито разных размеров. Отобрали наиболее подходящую по руду размерами  $\varnothing 1.0$  мм и контрольное сито (мукообразного состояния) в общем количестве руды 90 гр. Применяем конические колбы количеством 6 штук, в каждой колбе соотношение фаз Т:Ж идет в соотношении маточного раствора и готовой руды 1:10, 1:15 и 1:20. После установили готовые растворы на лабораторный орбитальный шейкер для смешивания компонентов. На 100 мл скорость вращения шейкера составляет 280 оборотов в сек, продолжительностью 1 час при температуре 23 °С. Дальнейшие результаты проводятся.

#### Список литературы:

1. Саттаров Г.С., Першин М.Е., Колпакова Е.В., Лильбок Л.А, Есаулов В.Н. Научные аспекты развития работ подземного выщелачивания урана в НГМК // Горный вестник Узбекистана, 2007 г., т.28, № 1, с.39-45.
2. Канаев А.Т., Баймырзаев К.М., Семенченко Г.В., Канаева З.К., Советова Н.Ж., Токпаев К.М., Шемшеева Ж.Б., Умирбекова Ж.Т., Аманбаева У.И. укрупненно-лабораторное бактериально-химическое выщелачивание золота из руды месторождения бакырчик // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 3. – С. 14-19;
3. Самойлик В.Г. Специальные и комбинированные методы обогащения полезных ископаемых: учебное пособие. 2015



\*\*\*\*\*

## ВЛИЯНИЕ СДВИГОВОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ СВС-МАТЕРИАЛОВ (TiC, TiB<sub>2</sub>, MoSi<sub>2</sub>)

Турганов<sup>1</sup> З.Т. аспирант, Столин<sup>1</sup> А.М., Бажин<sup>1</sup> П.М., Турганов<sup>2</sup> Д.Т.

<sup>1</sup>- *ФГБУН Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова РАН, Черногловка, [Zangar.turganov@mail.ru](mailto:Zangar.turganov@mail.ru)*

<sup>2</sup>- *Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10041

Принципиальные различия в механизмах и динамике структурообразования в процессах СВС в условиях механических воздействий ставит новые задачи в области структурной макрокинетики химических превращений. В этих условиях тепловая теория горения становится неприемлемой и речь идет о разработке новых феноменологических моделей горения, учитывающих взаимосвязанное протекание горения и процессов деформирования и структурных дефектов, которые оказывают влияние на скорость распространения фронта экзотермической реакции [1].

В настоящее время можно предложить на основе общих представлений разные механизмы влияния механических воздействий на процессы СВС. Чаще всего влияние механических воздействий (сдвиговых деформаций) видят в перемешивании и в обеспечении равномерного распределения массы и температуры по объему материала [2].

Однако механические воздействия могут выступать как кинетический фактор, оказывая влияние на процессы горения и структурообразование: изменение размера и взаимное расположение зерен. Меняя механические параметры в широком диапазоне, можно изменить качество получаемого порошка и его морфологию. Так, например, морфология карбида титана, полученного в условиях механических воздействий имеет характерную губчатую структуру. И качественно отличается от ограненной (оскольчатой) структуры карбида.

Использование этого метода обеспечивает особенности в структуре и свойствах получаемых порошков и может оказаться весьма перспективным для переработки отходов твердосплавных материалов.

Как показали результаты сканирующей электронной микроскопии, механические воздействия в ходе синтеза приводят к измельчению зерна и изменению морфологии (рис.1).



\*\*\*\*\*

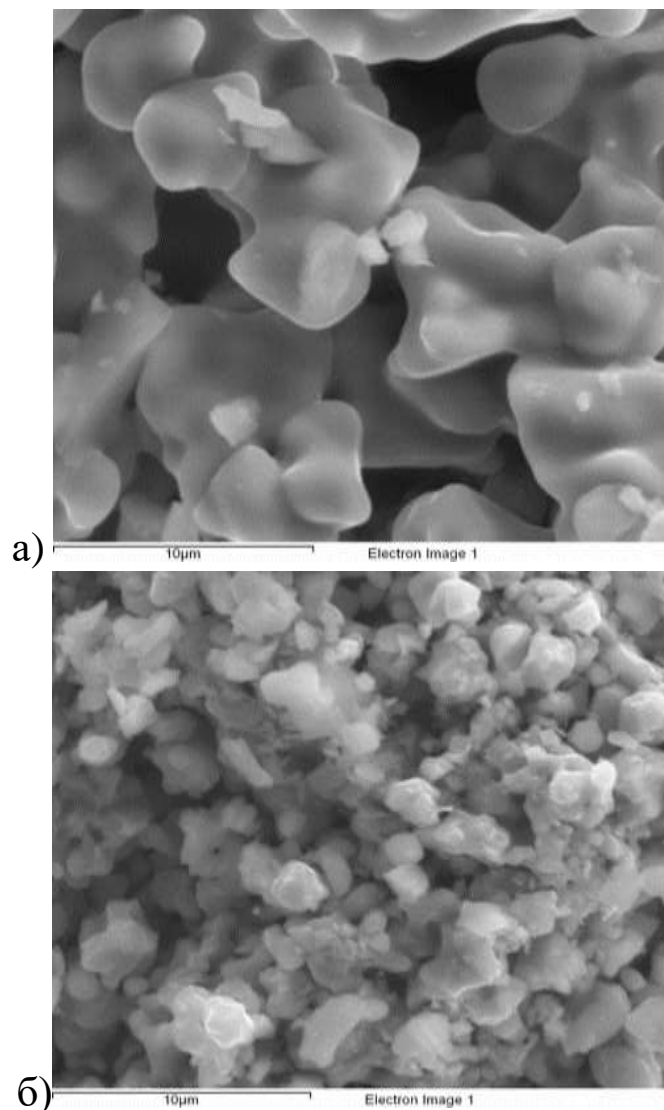


Рис.1. СЭМ синтезированного материала на основе  $\text{MoSi}_2$ : а - без механических воздействий, б - с механическими воздействиями.

Список литературы:

1. Столин А.М., Пономарев Р.Н., Стельмах Л.С. Влияние механических воздействий на изменение прочности СВС - продуктов при их спекании и остывании // Инженерно-физический журнал. 2007. No.5.
2. Столин А.М., Стельмах Л.С. О роли деформационных факторов // Изв. Вузов. Цветная металлургия. 2007. No. 1. С.74-79.



## ПРИБОР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И РЕАБИЛИТАЦИИ БОЛЬНЫХ ПОСЛЕ ИНСУЛЬТА

*Богданова<sup>1</sup> Е.С. студент, Никитин<sup>2</sup> Р.А. студент*

*<sup>1-</sup> Национальный исследовательский технический университет «МИСиС», Москва*

*<sup>2-</sup> Национальный исследовательский университет «ВШЭ», Москва*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10042**

Инсульт – одна из главных причин преждевременной смерти и потери трудоспособности. Каждые полторы минуты у одного из жителей нашей страны происходит инсульт - 450 тысяч случаев в год. Сейчас классификация пареза верхних конечностей (после инсульта) ведется на глаз (больной сжимает резиновый мячик), а средства для диагностики и реабилитации больных после инсульта чрезвычайно дороги, редки и недоступны для многих клиник. В связи с этим огромное значение имеет создание максимально бюджетных импортозамещающих приборов.

Цель работы: Разработать электронно-механический прибор для реабилитации и инструментальной диагностики больных после инсульта, травм и нейрохирургических операций и передать прибор врачам для проведения доклинических испытаний.

Задачи проекта были сформулированы совместно с учеными- медиками Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (к.м.н. Д.С. Бобров), группы реабилитации МЕДСИ академика РАН К.В. Лядова и клинической больницы г. Вышнего Волочка (гл.врач, к.м.н. Ягудин Г.Т). Особое внимание было обращено на доступность применяемых комплектующих и открытость платформы программирования.

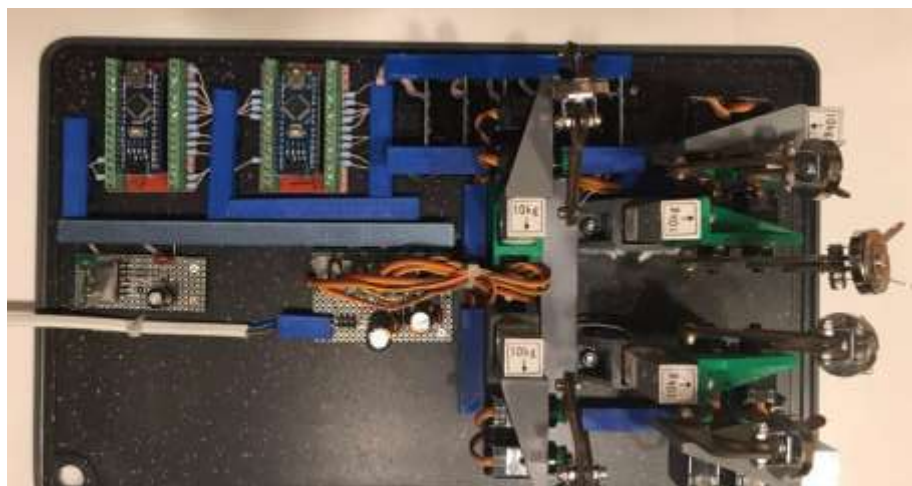


Рис. 1. Вид прибора со снятой крышкой.

Для реабилитации и диагностики был разработан механизм, состоящий из 5-звенных механизмов с неподвижной базой и недорогих тензомостов (сенсоров силы). Всего таких механизмов 6 (для



\*\*\*\*\*

правой и левой руки – два варианта большого пальца). 5-звенные механизмы двигают кончики пальцев по разработанной с учеными-медиками траектории. Тензо-мост считывает приложенные на него силы от пациента. При нажатии или вытягивании вверх датчик деформируется и дает сигнал, пропорциональный силе воздействия. С помощью анализа выводимых данных на ПК или смартфон (iOS или Android OS) можно сделать вывод о степени пареза.

**Выводы и результаты:**

1. Разработан механотронный прибор для реабилитации больных после инсульта, травм и нейрохирургических операций, а также для количественной диагностики степени пареза. Прибор выводит данные и управляется с помощью ПК или смартфона с ОС Android. Устройство получило высокую оценку ученых – медиков, проводятся доклинические исследования.

2. Прибор сделан на основе недорогих комплектующих из эконошки Arduino и с использованием открытого исходного кода, что делает прибор недорогим и несложным в производстве. Прибор – хороший задел для импортозамещения.

3. Предложена оригинальная схема механизма с двумя сервоприводами и тензо-мостом. Построена математическая модель и произведены расчеты, рассчитанные данные, совпадают с данными, полученными на макете механизма. Применена оригинальная система защиты с магнитной защелкой. По полученным результатам опубликовано две печатные работы.

4. Был получен патент на изобретение.



Рис. 2. Принципиальная схема прибора.

**Список литературы:**

1. Богданов С.В., Богданова Е.С. Реабилитационно- массажное устройство для кисти и пальцев рук. А/С RU 2 683 071 С2 приор.03.04.2018.



\*\*\*\*\*

## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОМОДИФИЦИРОВАННОГО ПСФ, ПОЛУЧЕННОГО ТВЕРДОФАЗНОЙ ЭКСТРУЗИЕЙ

Лутовинова Т.А. студент, Чуприкова А.А.

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,  
Тамбов

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10043

Модифицирование структуры и состава полимеров физико-механическими методами позволяет получить упрочненные композиционные материалы. Ориентационное пластическое деформирование методом твердофазной экструзии повышает прочностные характеристики как аморфных, так и частично кристаллических полимеров [1].

Объектами исследования служили композиты на основе полисульфона (ПСФ), модифицированные углеродным наноматериалом «Таунит» (ООО «НаноТехЦентр», г. Тамбов).

В работе исследовалось, как влияние углеродных наноматериалов «Таунит» на прочностные характеристики ПСФ, так и сочетание методов наномодифицирования полимера с последующей ориентацией методом твердофазной экструзии.

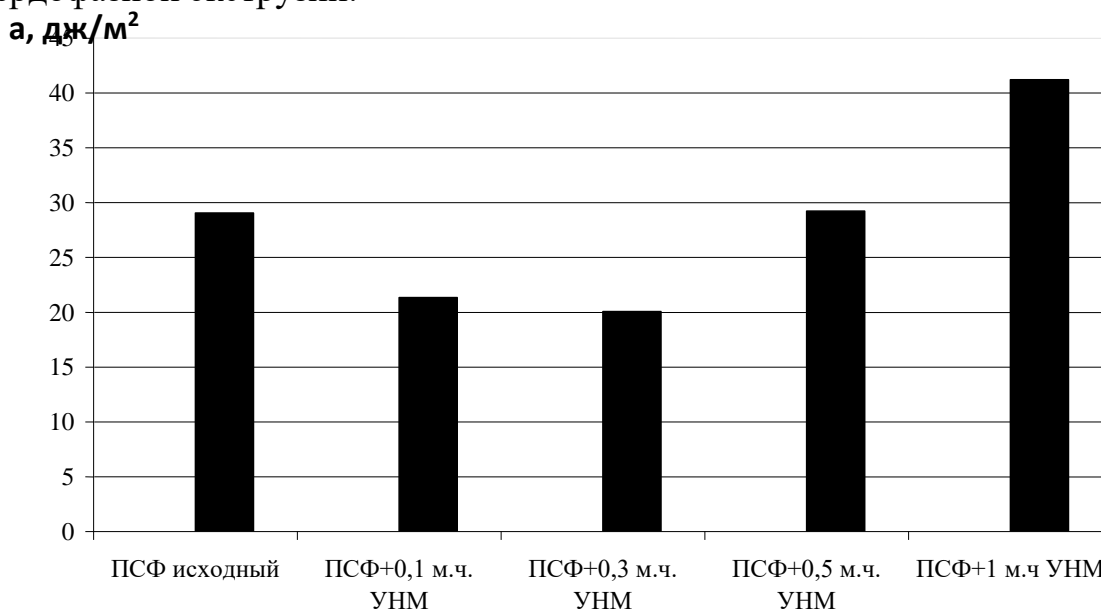


Рис. 1. Диаграмма изменения ударной вязкости с надрезом системы ПСФ+УНМ, полученной жидкофазной экструзией,  $T_{эк} = 583$  К.



\*\*\*\*\*

Установлено, что введение в полимерную матрицу малых добавок УНМ в количестве  $0,1 \div 0,3$  м.ч. снижает значение величины ударной вязкости с 30 до 20 дж/м<sup>2</sup>. Дальнейшее увеличение концентрации модифицирующей добавки повышает значение ударной вязкости на 40 % при содержании 1 м.ч. УНМ (рисунок 1).

Оценивая физико-механические показатели в условиях напряжений среза полимерных композитов, прошедших ТФЭ в сравнении с ЖФЭ-полимером, следует отметить существенное повышение прочностных характеристик материала в направлении, перпендикулярном ориентации (рисунок 2). Наибольшее повышение прочности в условиях среза наблюдается после обработки композита ПСФ + 1 м.ч. УНМ при температуре ТФЭ, равной 463° К, по сравнению с материалом, переработанным жидкофазной экструзией (рисунок 2).

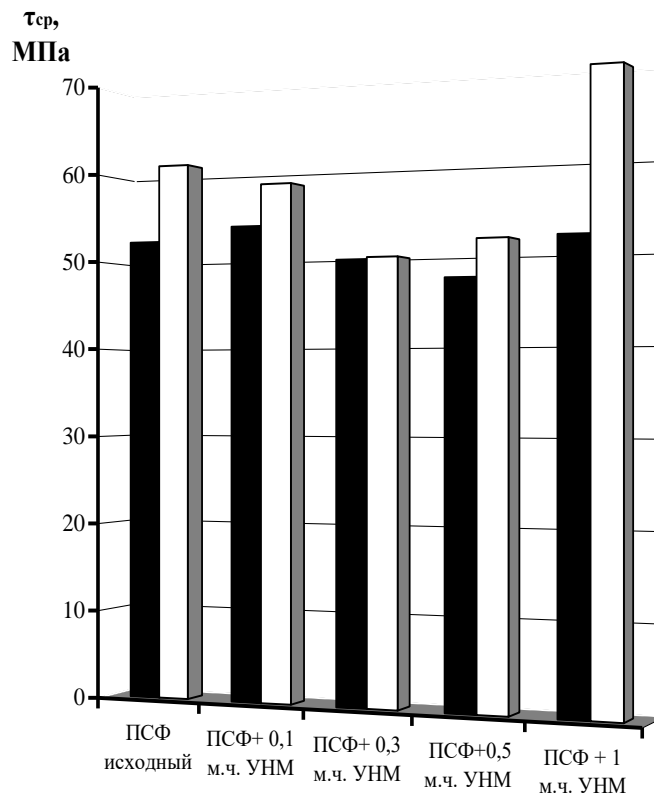


Рис. 2. Диаграмма изменения прочности в условиях среза  $\tau_{ср}$  ПСФ - композиций, полученных жидкофазной (1) и твердофазной экструзией при  $\lambda_{экс}=2.07$ ,  $T_{экс}=463$  °К(2).

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Модифицирующие добавки углеродного наноматериала «Таунит» оказывают положительное влияние на формирование эксплуатационных свойств ЖФ-экструдатов, выражающееся в повышении величины ударной вязкости и прочности в условиях срезающих напряжений.

2. При оценке прочности в условиях срезающих напряжений отмечается существенная роль параметров твердофазной технологии, а также





\*\*\*\*\*

влияние модифицирующих добавок в формировании эксплуатационных свойств композитов с повышенными качественными показателями.

Список литературы:

1. Современные технологии получения и переработки полимерных и композиционных материалов / В.Е. Галыгин, Г.С. Баронин, В.П. Таров, Д.О. Завражин // Учебное электронное издание на компакт-диске. Тамбов, 2013.



\*\*\*\*\*

## ТЕРМОДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСКРЕТНО-УПРОЧНЕННЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Cu- Ni-TiC С ДОБАВЛЕНИЕМ ГАЛОИДНЫХ СОЛЕЙ $\text{Na}_2\text{TiF}_6$ И $\text{Na}_3\text{AlF}_6$

Махонина Ю.В. студент, Луц А.Р.

*Самарский государственный технический университет, Самара*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10044**

Сплавы на алюминиевой основе нашли применение в космической, авиационной и многих гражданских отраслях промышленности и на сегодняшний день занимают второе место в мире по объемам производства. Однако, проблема повышения механических и эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов по сей день остается немаловажной.

В последние годы проявляется повышенный интерес к алюминиевым сплавам, армированным частицами высокодисперсной фазы карбида титана TiC. Такие сплавы при небольшом содержании армирующей фазы могут применяться в качестве эффективных модифицирующих лигатур алюминиевых сплавов, а при повышенном содержании – в качестве дискретно упрочненных алюмоматричных композиционных материалов с высоким уровнем физико-механических и эксплуатационных свойств. Однако возможности оптимизации свойств таких сплавов за счет варьирования технологическими параметрами в значительной мере исчерпаны, поэтому в данный момент наблюдается тенденция к усложнению состава композиционных сплавов за счет введения легирующих элементов. В данной работе представлен анализ основных термодинамических параметров синтеза композиционного сплава Al-5%Cu-4%Ni-10%TiC, произведенный с применением комплекса программ "THERMO", разработанного в Институте структурной макрокинетике и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова. Поскольку в предыдущих исследованиях была показана необходимость применения в СВС-процессах рафинирующих солей [1], расчеты в данной системе производились с учетом добавки солей  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  и  $\text{Na}_2\text{TiF}_6$  в количестве 0,5; 1; 2; 5 и 10% от массы шихты.

### **Изменение адиабатической температуры.**

Анализ полученных результатов (рис. 1) показал, что с увеличением первоначальной температуры расплава наблюдается повышение и адиабатической температуры системы. Однако соль  $\text{Na}_2\text{TiF}_6$  приводит к чуть большему повышению температуры системы, особенно при добавлении ее в максимальном количестве - 10 масс. %. Рекомендуемая начальная температура расплава для проведения синтеза, позволяющая избежать спекания, - 1177 К.



\*\*\*\*\*

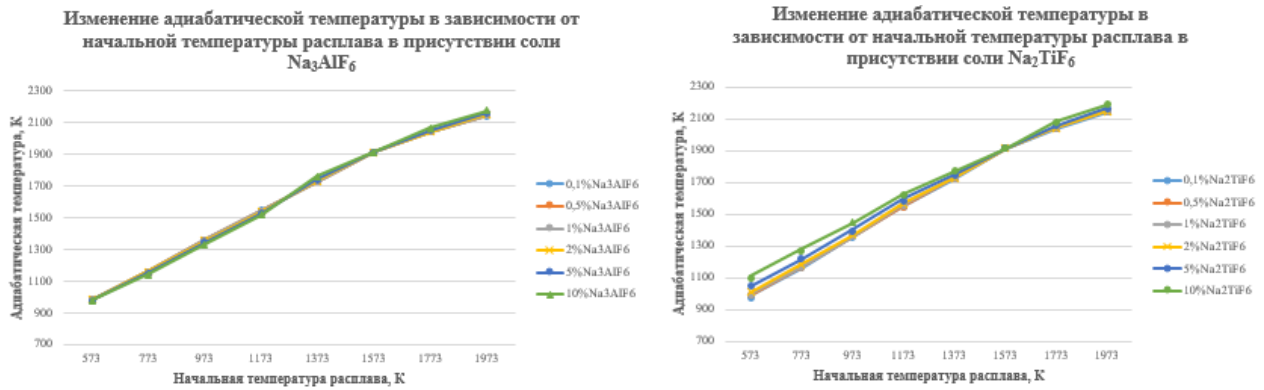


Рис. 1. Термодинамический анализ изменения адиабатической температуры.

### Образование побочных фаз.

При начальных температурах в системе наблюдается образование побочных фаз  $\text{Al}_4\text{C}_3$  и  $\text{Al}_3\text{Ti}$ . Однако уже при температуре 473 К в системе с солями  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  и  $\text{Na}_2\text{TiF}_6$  происходит распад этих соединений (рис. 2).

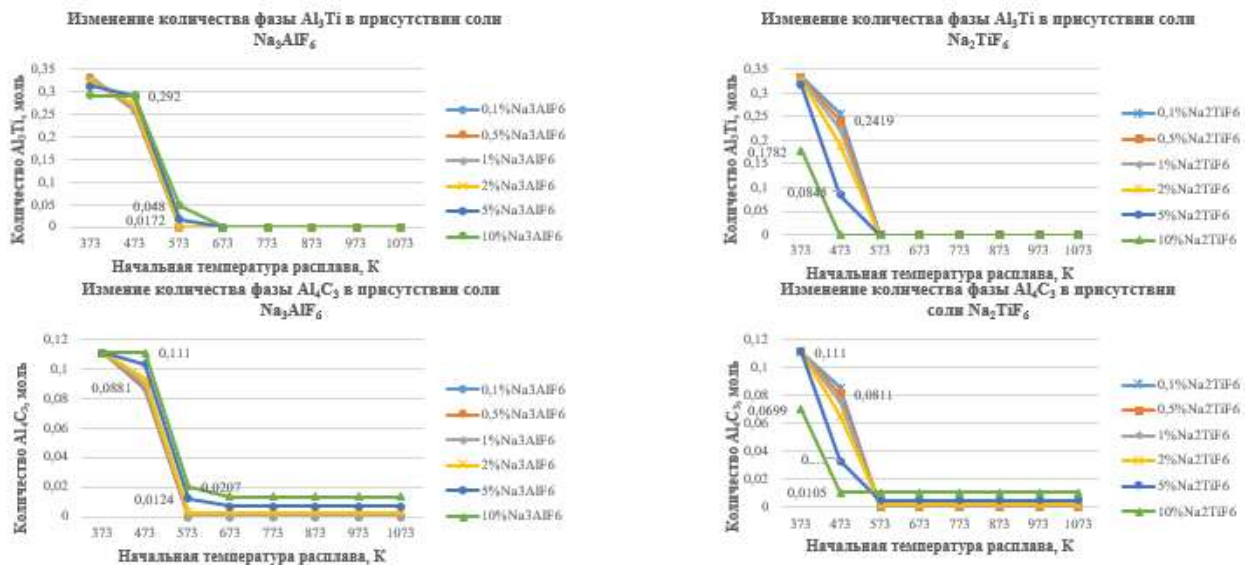


Рис. 2. Термодинамический анализ изменения количества побочных фаз.

### Состав и количество выделяющихся газообразных соединений.

При добавлении 0,5% солей в обоих случаях образуются газообразные  $\text{Na}$ ,  $\text{AlF}$ ,  $\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$  (хиолит),  $\text{NaAlF}_4$ . Очевидно, в связи с тем, что  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  имеет большую температуру плавления, некоторое количество этого соединения еще присутствует при начальных исследуемых температурах, но полностью исчезает при температуре расплава 1273 К, в то время как соединение  $\text{Na}_2\text{TiF}_6$  в первоначальном состоянии не фиксируется уже при 373 К. Следует отметить, что при использовании  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  в чуть большем количестве присутствует газообразный  $\text{Na}$ , а при использовании  $\text{Na}_2\text{TiF}_6$  -  $\text{AlF}$ . При добавлении 1% солей



\*\*\*\*\*

в обоих случаях присутствует тот же набор газообразных соединений, но в случае с солью  $\text{Na}_2\text{TiF}_6$  появляется еще один рафинирующий компонент –  $\text{AlF}_3$ . При добавлении 2% солей также сохраняется первоначальный состав компонентов, увеличивается лишь их количество. При добавлении 5% солей в обоих случаях выделяется значительно большее количество газообразных соединений; к существовавшим ранее добавляется также  $\text{NaF}$  и  $\text{AlF}_2$  – эффективные рафинирующие компоненты, что является благоприятным фактором. При добавлении 10% солей в обоих случаях сохраняется тенденция предыдущего состава, но образующихся газообразных соединений в два раза больше (рис. 3,4). С точки зрения эффективности рафинирования наиболее подходящей концентрацией солей является их добавка в количестве 10%, однако при таком количестве возможно образование большого количества шлака, это негативно сказывается на выходе годного продукта. Поэтому, приняв во внимание все факторы, оптимальное количество солей, рекомендуемое к использованию, составляет 2 или 5% от массы шихты. Обе представленные соли оказывают значительный рафинирующий эффект, однако предпочтение следует отдать соли  $\text{Na}_2\text{TiF}_6$ , поскольку в случае ее применения образуется несколько большее количество газообразных соединений.

### Количество целевой фазы TiC.

Анализ графиков показывает (рис. 5), что синтез целевой фазы возможен при использовании обеих солей, причем чем меньше процент добавления солей, тем больше количество синтезируемого карбида титана, особенно в присутствии соли  $\text{Na}_2\text{TiF}_6$ .

Таким образом, СВС композиционного сплава Al-5%Cu-4%Ni-10%TiC рекомендуется проводить при начальной температуре расплава  $900^\circ\text{C}$  в присутствии 2% соли  $\text{Na}_2\text{TiF}_6$ .

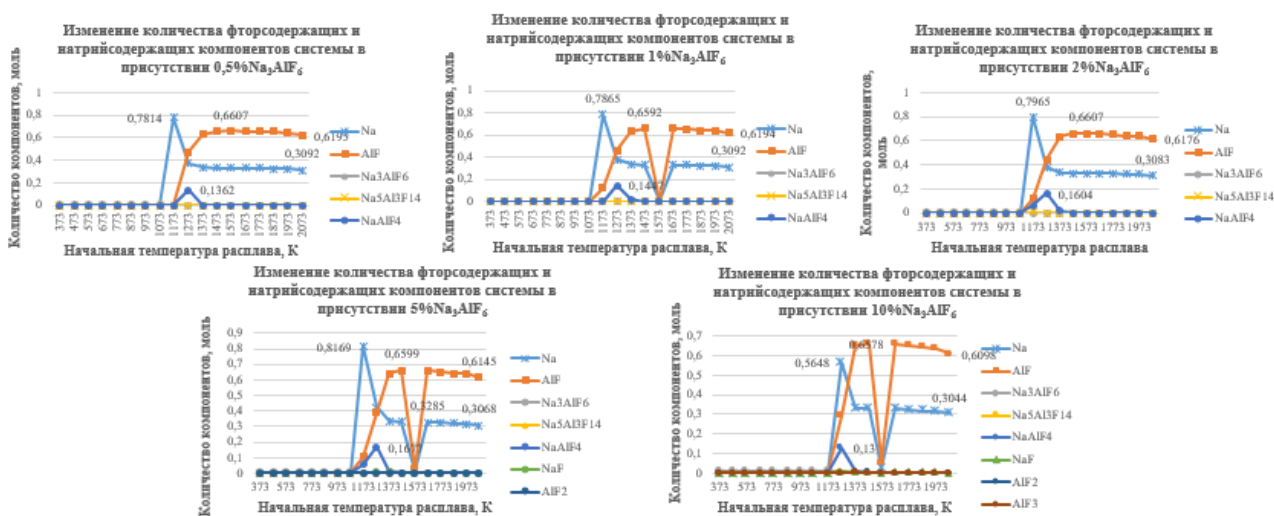


Рис. 3. Термодинамический анализ изменения количества газообразных фторсодержащих компонентов с применением галоидной соли  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ .



\*\*\*\*\*

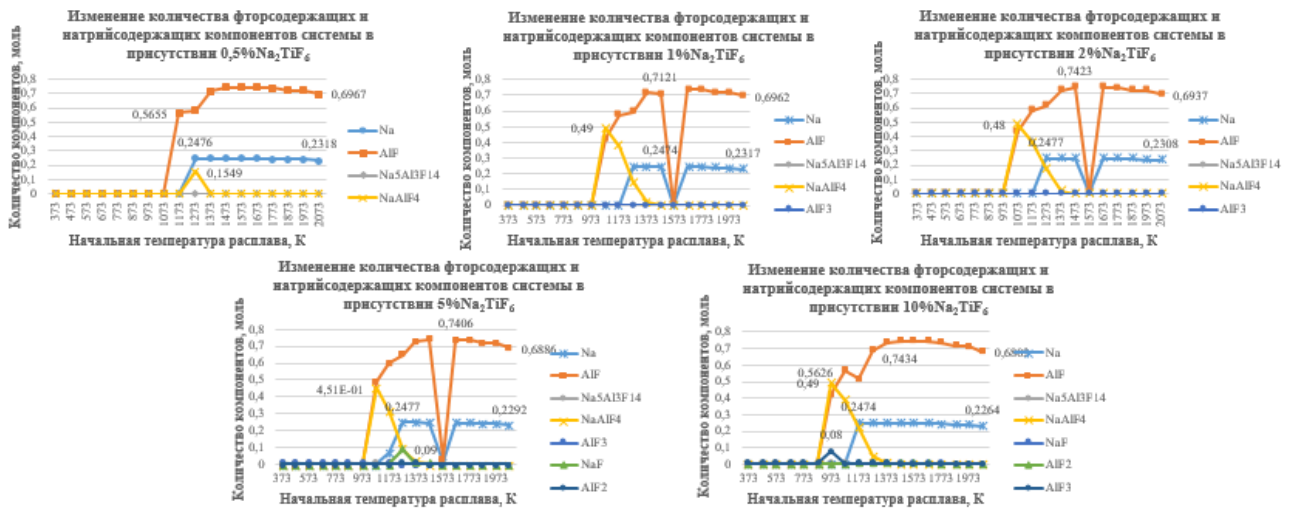


Рис. 4. Термодинамический анализ изменения количества газообразных фторсодержащих компонентов с применением галоидной соли  $\text{Na}_2\text{TiF}_6$ .

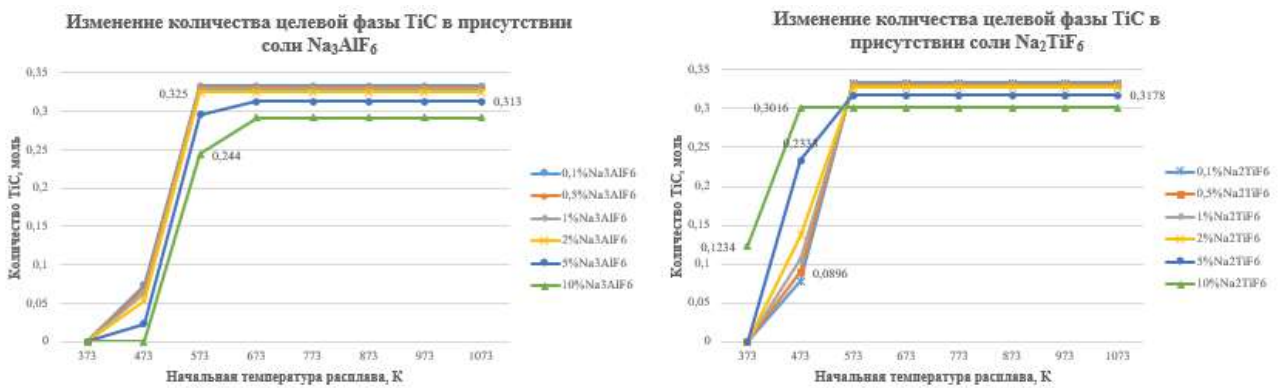


Рис. 5. Термодинамический анализ изменения количества целевой фазы TiC.

#### Список литературы:

1. А.Д. Рыбаков, Ю.В. Махонина, А.Р. Луц, А.П. Амосов. Термодинамический анализ влияния флюсов  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  и  $\text{Na}_2\text{TiF}_6$  на синтез карбида титана в составе системы Al-10%TiC методом СВС / 71 Всерос. науч.-техн. конференция. 18 апреля 2018 г., Ярославль: сб.материалов конф. В. 3 ч. Ч. 2 [Электронный ресурс]. – Ярославль: Издат.дом ЯГТУ, 2018. – 1189 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ по проекту № 17-48-630695/18.



\*\*\*\*\*

## ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СИСТЕМУ «ЖЕЛЕЗО-МЕДЬ-ВОДА»

Бурова<sup>1</sup> Д.Н. школьница, Цебрук<sup>2</sup> И.С., Классен<sup>2</sup> Н.В.

<sup>1</sup>- *Физико-математический лицей, Сергиев Посад, [darya5401@gmail.com](mailto:darya5401@gmail.com)*

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

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10045**

Нами обнаружены новые проявления влияния магнитного поля на систему «железо-медь-вода», которые расширяют представления об особенностях взаимодействий между парамагнитными и диамагнитными веществами. На основе этих эффектов мы разрабатываем несколько технологических методик и устройств. В экспериментах использовались поликристаллические образцы стали3 (доля железа 97%) и технической меди (доля меди не менее 99%), сернокислая медь (медный купорос) и дистиллированная вода. Магнитные воздействия создавались постоянными магнитами (поля до 0,4 Тл) и собственными магнитными моментами атомов железа как в объемной стали, так и в агломератах химических соединений железа. Динамика превращений в системе железо-медь-вода наблюдалась через оптический микроскоп и регистрировалась видеокамерой. Модельным процессом для изучения влияния магнитных воздействий служила хорошо известная реакция восстановления меди железом в водном растворе медного купороса.

Обнаружено, что восстановление меди железом замедляется вдвое уже при напряженности внешнего магнитного поля порядка 0,3 Тл. При дальнейшем увеличении поля замедление монотонно возрастает до поля 0,6 Тл, когда реакция замедляется втрое. Замедление восстановления меди объясняется тем, что в реакции окисления железа в основном участвуют атомы междоменных границ, которые гораздо слабее связаны. При увеличении поля домены укрупняются, сокращая общую длину границ и замедляя, тем самым, восстановление меди. При достижении поля насыщения, когда образец становится монодоменным, реакция выходит на стационарную скорость. В процессе восстановления меди железом раствор проходит через несколько превращений. В начале содержащиеся в нем ионы двухвалентной меди слабо парамагнитны, но при контакте с поверхностью железа они быстро восстанавливаются, становясь диамагнитными. В процессе восстановления в раствор переходят сильно парамагнитные ионы железа. Их магнитное поле выталкивает наружу диамагнитные ионы меди, которые высаживаются тонкой пленкой на поверхности контактирующего с раствором образца железа. При отсутствии внешнего магнитного поля раствор сульфата меди постепенно по



\*\*\*\*\*

мере замещения превращается в раствор сульфата железа, хорошо растворяющегося в воде. Но при наложении на раствор магнитного поля величиной более 0,3 Тл обнаружилось выделение из раствора белых микрочастиц, которые сначала плавают на поверхности капли, а затем собираются в каемку по ее контуру. Анализ показал, что это – микрочастицы безводного сульфата железа, водная растворимость которого при наложении магнитного поля оказалась резко уменьшенной. Это объясняется тем, что в сильном магнитном поле парамагнитные ионы железа стремятся максимально сблизиться, выдавливая молекулы воды, оказавшиеся между ними.

Если в раствор сернокислой меди, где идет восстановление ее железом, опустить стальную иглу, восстанавливаемая медь начинает преимущественно высаживаться на самой игле и на прилегающей к ней поверхности. Перемещения иглы вдоль этой поверхности позволяют получить на ней микро- и даже нанорисунки заданной геометрии из медного осадка. Тем самым создается простая альтернатива электронно-лучевой литографии для формирования сложных профилей из проводящих или полупроводниковых микродорожек. Еще один вариант магнито-химической литографии связан с сканированием вдоль поверхности ферромагнитного материала, погруженного в травящий раствор, магнитной иглы. В зоне сближения иглы с поверхностью структура магнитных доменов будет измельчаться из-за сильно неоднородного магнитного поля. Поэтому под магнитной иглой будут вытравливаться канавки, геометрия которых может регулироваться формой ее острия, степенью сближения с поверхностью, скоростью и направлением сканирования. Если же в раствор медного купороса наряду с железом ввести и медную проволоку, восстанавливаемая медь высаживается на ней.

На базе этих результатов проработаны методики наращивания меди на изношенные участки медных изделий непосредственно по месту их службы. Например, для реставрации контактных проводов электротранспорта их изношенные участки обрабатываются охватывающими нижнюю часть провода шариковыми обкатчиками с подачей к точкам их соприкосновения с проводом раствора сернокислой меди. Стальные шарики выполняют при этом две функции: активируют высаживание свежей меди на провод и упрочняют ее связь с исходным проводом посредством вкатывания.

Существенное влияние магнитных взаимодействий на систему железо-медь-вода обнаружилось и без магнита. На поверхность стальной пластины были нанесены две капли раствора медного купороса. После приблизительно двух минут процесса восстановления меди железом капли начали сближаться друг с другом до тех пор, пока между ними не образовалась перемычка раствора. Возник поток ионов железа из меньшей капли в большую, а навстречу ему пошла миграция ионов меди. В конечном итоге на месте меньшей капли образовался круговой осадок меди, а большая капля покрылась коркой сульфата железа. Такие процессы объясняются тем, что при переходе ионов железа из стальной



\*\*\*\*\*

подложки в раствор его парамагнитная восприимчивость значительно возрастает. В результате усиливается притяжение между каплями, приводящее к образованию перемычки. По ней ионы железа, втягиваясь в направлении увеличения поля, из меньшей капли переходят в большую. Им навстречу за счет отталкивания от пришедших ионов железа в меньшую каплю мигрируют диамагнитные атомы меди. В итоге большая капля пересыщается железом, а меньшая – медью, что и приводит к выделению из пересыщенных капель сульфата железа и меди. Еще один вид саморасслоения диамагнитной меди и парамагнитного железа был обнаружен при нанесении капель медного купороса на слой микрочастичек железа на полимерной подложке. За несколько десятков секунд боковые поверхности капель покрылись тонкой коркой порошков железа, которые поднимались от основания капли вверх. Сила, поднимающая эти микрочастицы вопреки силе тяжести, обусловлена химическим притяжением между ионами меди в приповерхностном слое капли и поверхностью железа. Но при осаждении диамагнитной меди на поверхность порошинки химическое притяжение сменяется на отталкивание от парамагнитного раствора. В итоге микрочастицы занимают стабильное положение именно на поверхности капли, где отталкивание от раствора диамагнитной меди уравновешено магнитным притяжением железа, на котором она лежит. Два обнаруженных процесса саморасслоения меди и железа позволяют формировать микроструктуры с чередованием диамагнитных и ферромагнитных слоев, востребованные спинтроникой, техникой терагерцовых микрорезонаторов, управляемых магнитным полем, и т.д.





\*\*\*\*\*

## ИЗМЕРЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СПЛАВА Ni-Ti

Маматказин Т.Р. студент, Мордасов М.Д. студент, Мордасов Д.М.

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов,*  
[mtrt@mail.ru](mailto:mtrt@mail.ru)

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10046

Актуальность исследований материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ) обусловлена необходимостью изучения различных свойств данных видов материалов с целью их использования в различных отраслях производства (авиация, робототехника, медицина и т.д.). Исследования и широкое внедрение материалов с ЭПФ является очередным звеном в научно-техническом прогрессе.

Твердость занимает отдельное место среди методов контроля качества материалов. Измеряя микротвердость, можно осуществлять быстрый и точный контроль качества изделий и материалов, а также проводить многочисленные физико-химические исследования, связанные с распознаванием веществ и изучением их свойств, фазовых и структурных превращений.

В результате металлографического анализа структуры сплава Ni-Ti (рис. 1) установлено, что в окрестности экваториального содержания, возможно наличие фаз  $Ti_2Ni$  и  $TiNi_3$  (темный фон), а также наличие аустенитной матрицы  $TiNi$  с кубической кристаллической решеткой (светлый фон).

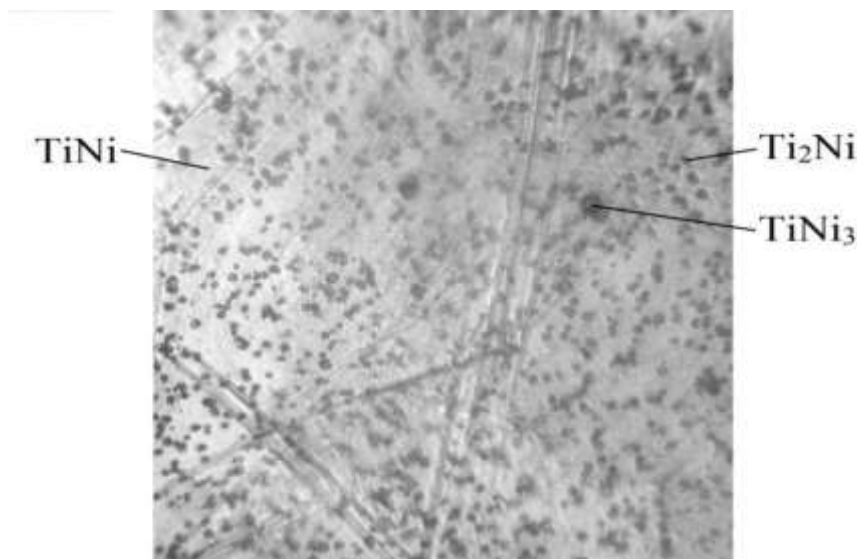


Рис. 1. Микроструктура сплава Ni-Ti.



\*\*\*\*\*

С целью подтверждения результатов металлографического анализа проведено измерение микротвердости указанных выше структурных составляющих. Измерения проводились на приборе ПМТ-3, принцип действия которого основан на вдавливании алмазной пирамиды под нагрузкой от 2 до 200 г в исследуемый образец. При испытании измеряют длину диагонали отпечатка и подсчитывают число твердости как частное от деления приложенной нагрузки на поверхность полученного отпечатка.

В ходе проведения исследований шток микротвердомера был нагружен грузом 100 г, что позволило использовать таблицу чисел микротвердости по ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников при испытании вдавливанием четырехгранной алмазной пирамиды» без дополнительных расчетов.

В результате обработки экспериментальных данных были получены следующие значения чисел микротвердости:

- фаза NiTi – 1550HV;
- фазы Ti<sub>2</sub>Ni и TiNi<sub>3</sub> – (600 - 1000) HV.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработана методика и определены значения микротвердости структурных составляющих сплава с ЭПФ, что в дальнейшем позволит изучать особенности изменения структуры этого сплава при термическом и термомеханическом воздействии.



## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТРЕПЕЛА ПРИ ЕГО ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

*Мордасов М.Д. студент, Никитин А.В. студент, Полушкин Д.Л.*

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

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10047**

Трепел представляет собой опаловую породу осадочного происхождения, имеющую рыхлую структуру, представленную некрупными опаловыми глобулами, а также примесями глины, кварца и полевого шпата. Основное количество кремнезема, входящего в состав трепела представлено аморфным диоксидом кремния с фрагментами кристаллической структуры кварца.

Композиционные материалы, полученные с использованием аморфного кремнезема, имеют повышенные физико-механические, теплоизоляционные и сорбционные свойства. Основным достоинством трепела при его применении в составе цементных систем, является способность связывать гидроксид кальция, образующийся при гидратации портландцементных минералов в присутствии воды при обычной температуре, и предотвращать тем самым выщелачивание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  [1].

При нормальных условиях поровое пространство трепела заполнено влагой и его эффективность невысока. Влагоу можно удалить путем термической обработки, способствующей увеличению удельной поверхности и существенному повышению адсорбционной способности частиц. Знание процессов, происходящих при термической обработке трепела, необходимо для решения практических задач, например, связанных с его подготовкой для введения полимерные матрицы при создании полимер-минеральных композиционных материалов [2, 3].

При термическом воздействии на частицы трепела происходит их дегидратация и дегидроксиляция, что приводит к структурным изменениям [4]. При проведении исследований использовался предварительно подготовленный трепел Краснослободского месторождения Тамбовской области. Подготовка включала в себя сушку породы при  $200^\circ\text{C}$  в течение 2 часов, измельчение на щековой дробилке ЩДб и помол на вибрационной конусной мельнице-дробилке ВКМДб.

На рис. 1 представлена диаграмма изменения массы навески  $m$  (рис. 1, а) и потери массы  $\Delta m$  (рис. 1, б) при нагреве образца в диапазоне температур  $200 \div 1000^\circ\text{C}$ . Выдержка навески трепела в печи при температурах 500, 600, 700, 800, 900 и  $1000^\circ\text{C}$  составляла 60 минут, взвешивание образца осуществлялось через 10 минут после его извлечения из печи.



\*\*\*\*\*

В результате анализа полученных термограмм с учетом особенностей структуры аморфного кремнезема установлены особенности изменения массы образца при его термической обработке.

Согласно исследованиям [1, 5] при нагревании кремнистых пород до 350°C происходит удаление адсорбционной воды на 80%, при этом структурных изменений не происходит, поэтому наибольшая потеря массы (рис. 1, б) приходится на диапазон температур прокаливания до 500°C. На участке 2 изменение массы образца идет за счет выгорания органических веществ.

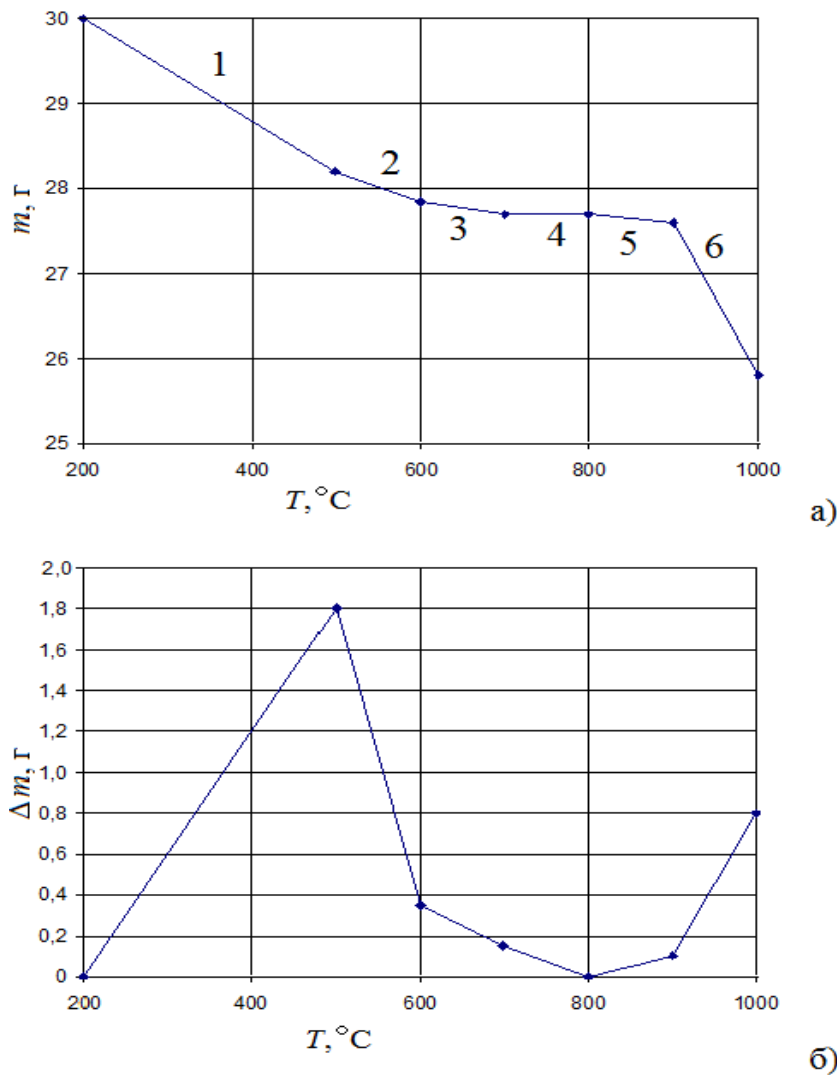


Рис. 1. Изменение массы навески  $m$  (а) и потери массы  $\Delta m$  (б) при нагреве образца.

Система  $\text{SiO}_2$  является однокомпонентной со сложными полиморфными превращениями. Согласно диаграмме состояния диоксида кремния, построенной К. Феннером, при температуре 573°C протекает полиморфное превращение  $\alpha$ -кварца в  $\beta$ -кварц. В высокотемпературной модификации кварца ( $\beta$ -кварц) увеличиваются размеры и количество пустот в упаковке ионов кислорода, что облегчает отщеплению структурно-связанной воды.



\*\*\*\*\*

На участке 3 изменение массы идет с меньшей, чем на предыдущих участках, скоростью, что обусловлено отщеплением диоксида углерода из примесей карбонатов, общее содержание которых достигает 20 %.

Экстремум на графике потери массы при температуре 800°C (рис. 1, б) обусловлен завершением удаления адсорбированной и структурно-связанной воды и началом полиморфного превращения  $\beta$ -кварца в  $\beta$ -тридимит, которое заканчивается при 870°C. Участки 5 и 6 потери массы (рис. 1, б) обусловлены удалением конституционной воды, высвободившейся в результате изменения топологии каркаса и разрушения функциональных активных центров в структуре.

Практическая ценность полученных результатов состоит в возможности их дальнейшего использования при разработке технологий термической обработки трепела с целью получения его заданной структуры и функциональных свойств, оптимальных при создании полимерминеральных композиционных материалов строительного назначения.

#### Список литературы:

1. Рахимов Р.З. Термически обработанный трепел как активная минеральная добавка в цемент / Р.З. Рахимов, З.А. Камалова, Е.Ю. Ермилова, О.В. Стоянов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 13. – С. 99 – 101.
2. Мордасов Д.М. Исследование структуры полимерного композиционного материала на основе смолы ЭД-20 и нанодисперсии сополимера стирола и акриловой кислоты / Д.М. Мордасов, П.В. Макеев, Д.Л. Полушкин, М.Д. Мордасов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2019. Т. 25. № 1. - С. 136-141.
3. Мордасов М.Д. Исследование структуры полимерного композиционного материала / М.Д. Мордасов, Д.М. Мордасов // Сб. материалов 71-й Всерос. науч.-техн. конф. студ., магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с междунар. участием, 18 апреля, 2018 г., Ярославль. - Ярославль, 2018. -Ч. 2. -С. 464 - 466.
4. Ивашко В.С. Влияние термической обработки модификаторов на характеристики композиционных материалов для защитных покрытий / В.С. Ивашко, А.С. Воронцов // Наука и техника, № 6, 2012. – С. 24-29.
5. Филиппович Е.Н. Выбор оптимальных условий термической обработки диатомита Инзенского месторождения Ульяновской области для синтеза кристаллических силикатов натрия / Е.Н. Филиппович, А.И. Хацринов, А.В. Скворцов, А.З. Сулейманова // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 5. – С. 83 – 86.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Тамбовской области в рамках научного проекта № 19-43-680003.*



## ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ТРЕПЕЛА КРАСНОСЛОБОДСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Мордасова<sup>1</sup> Н.А. студент, Завражин<sup>2</sup> Д.О., Мордасов<sup>2</sup> Д.М.

<sup>1</sup>- *Белгородский государственный технологический университет  
им. В. Г. Шухова, Белгород*

<sup>2</sup>- *Тамбовский государственный технический университет, Тамбов,  
[dmmordasov@rambler.ru](mailto:dmmordasov@rambler.ru)*

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-100489

При создании новых полимерцементных композиционных материалов широко используются минеральные порошковые добавки [1]]. Размеры и форма частиц порошка во многом определяют свойства композита на их основе. Знания об особенностях морфологического строения порошков позволяют дать объективное представление о рациональности их использования в качестве модифицирующих добавок и наполнителей [2].

Целью исследования является разработка методики изучения структуры минеральных порошков (на примере трепела Краснослободского месторождения Тамбовской области). Трепел представляет собой рыхлую или слабо сцементированную, тонкопористую опаловую осадочную породу. В сухом и молотом виде трепел может быть использован в составе сухих строительных смесей в качестве активного микронаполнителя.

В настоящее время существует множество методов изучения порошковых материалов [3]. Для оценки размеров частиц применяют седиментационный, микроскопический, рентгеновский, ситовый, кондуктометрический и пикнометрический методы анализа. Одним из наиболее точных прямых методов определения размеров и формы частиц порошков является микроскопический метод.

Для проведения микроанализа исследуемый порошок диспергируют в хорошо смачивающей жидкости, полученную суспензию помещают и равномерно распределяют на предметном стекле. Измерение размеров частиц производят с помощью окулярной сетки или шкалы окуляр-микрометра.

Составы дисперсионных жидкостей для металлических порошков и методика определения их формы регламентируются стандартами ГОСТ 22662-77 «Порошки металлические. Методы седиментационного анализа» и ГОСТ 25849-83 «Порошки металлические. Методы определения формы частиц». Для минеральных порошков, в силу их большого разнообразия и различия по свойствам таких рекомендаций нет. В каждом конкретном случае методика подготовки образца разрабатывается индивидуально.



\*\*\*\*\*

При проведении настоящих исследований осуществлен выбор оптимальной по своим диспергирующим свойствам жидкости для исследования аморфного диоксида кремния (трепела).

Исследование структурно-геометрических параметров кремнезема проводилось на микроскопе ММР-2Р. С целью выбора оптимальной по своим диспергирующим свойствам среды были исследованы жидкости, свойства которых приведены в табл. 1.

Таблица 1. Свойства дисперсионных жидкостей.

Жидкость	Плотность, $\rho$ [кг/м <sup>3</sup> ]	Вязкость, $\mu$ [мПа·с]	Поверхностное натяжение, $\sigma$ [Н/м]
вода	997	1,004	0,0728
спирт этиловый	790	1,190	0,0228
спирт изопропиловый	786	2,430	0,0217
керосин	819	1,490	0,0289
глицерин	1260	1480	0,0594
бензин	710	0,520	0,0220

Основополагающими аспектами при использовании дисперсионных жидкостей являются: равномерное распределение частиц исследуемого порошка в суспензии и на предметном стекле; минимизация образования больших кластеров частиц исследуемого образца; высокая скорость испарения (для предотвращения образования ореолов).

В результате анализа результатов эксперимента была выбрана наилучшая жидкость – изопропиловый спирт. Частицы полученного образца с использованием данной жидкости наиболее равномерно распределены по поверхности, большого скопления частиц при полном осмотре предметного стекла не найдены. Данная жидкость признана лучшей также ввиду того, что она быстро испарилась после нанесения суспензии на стекло.

На образцах с использованием этилового спирта и воды были обнаружены зоны большого скопления частиц порошка. Скорость испарения этилового спирта с поверхности стекла приблизительно равна скорости испарения изопропилового спирта. Вода испаряется намного медленнее спиртов, что оказывает негативное влияние на проведение эксперимента.

В силу того, что плотность и вязкость бензина наименьшие из всех исследованных жидкостей, его использование не позволяет получить суспензию, вследствие быстрого осаждения частиц порошка. Глицерин и керосин не пригодны для исследования выше описанным методом, так как обе жидкости имеют большое время испарения.



\*\*\*\*\*

На рис. 1 представлена микрофотография частиц трепела, полученная в результате проведенных исследований.

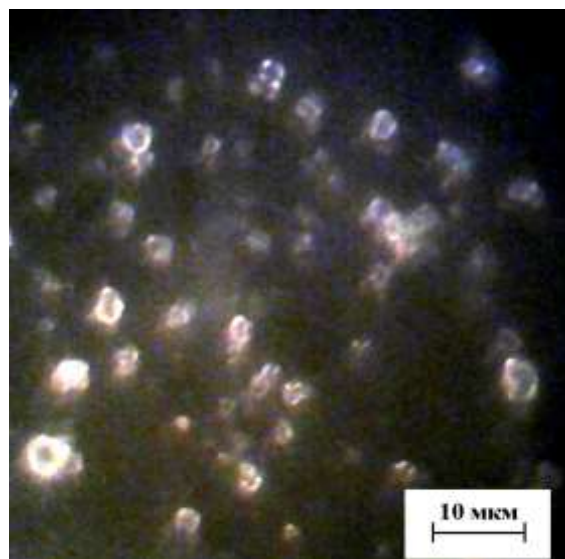


Рис. 1. Микрофотография частиц трепела.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при оценке структурных частиц изменений трепела при их термической обработке, а также для оценки размера и формы частиц после различных стадий измельчения.

#### Список литературы:

1. Мордасов М.Д. Исследование структуры полимерного композиционного материала / М.Д. Мордасов, Д.М. Мордасов // Семьдесят первая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: Сборник материалов конф. В 3-х частях. Ч. 2 - Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2018. С. 464-466.
2. 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.
3. Мордасов Д.М. Технические измерения плотности сыпучих материалов / Д.М. Мордасов, М.М. Мордасов. – Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. 80 с.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Тамбовской области в рамках научного проекта № 19-43-680003.*





## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ОКСИДНОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛАТУНИ

*Петренко В.И. студент, Земцова Я.С. студент, Мордасов М.Д. студент*

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов,  
[vadimasias2014@yandex.ru](mailto:vadimasias2014@yandex.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10049**

Латунь, являясь одним из самых распространенных сплавов на основе меди и цинка, обладает высокими физико-механическими свойствами и повышенной коррозионной стойкостью.

Коррозионная стойкость латуни определяется главным образом защитными свойствами оксидной пленки, образующейся на поверхности латуни. Такая пленка не эластична и обладает незначительной прочностью, на её создание требуется время [1].

При исследовании процессов взаимодействия латуни с различными окислительными средами, а также динамики окисления ее поверхности, актуальной является задача определения толщины окисленного слоя

В силу того, что формирующаяся окисная пленка имеет малую толщину (десятки нанометров) и прочно сцеплена с поверхностью сплава, использовать методики спектрального и химического анализа не представляется возможным. Данная задача может быть решена с применением туннельного микроскопа, с помощью которого можно исследовать поверхность специально подготовленного шлифа [2, 3].

В туннельном микроскопе используется специально подготовленный зонд в виде тонкой проволоочки из сплава платины и иридия. Принцип действия состоит в сканировании исследуемой поверхности зондом и измерении значений туннельного тока, который в случае однородного материала, определяется расстоянием от зонда до поверхности, составляющем единицы нанометров.

В настоящей работе проведены исследования поверхности латуни до и после ее окисления в азотсодержащей среде.

При проведении эксперимента, заранее отполированный образец, часть которого была покрыта лаком, помещался в емкость с окислительной средой на 20 мин. Покрытие части поверхности шлифа лаком осуществлялось с целью последующего сравнения окисленной и исходной поверхностей. После извлечения образца из окислительной среды слой лака снимался при помощи растворителя, и вся поверхность шлифа промывалась последовательно водой и спиртом.

На рис. 1 показаны результаты сканирования поверхности шлифа с помощью туннельного микроскопа FemtoScan. Получению данного СТМ-



\*\*\*\*\*

изображения предшествовало большое количество экспериментов, связанных с особенностями подготовки образцов, а также выбором оптимальных параметров сканирования.

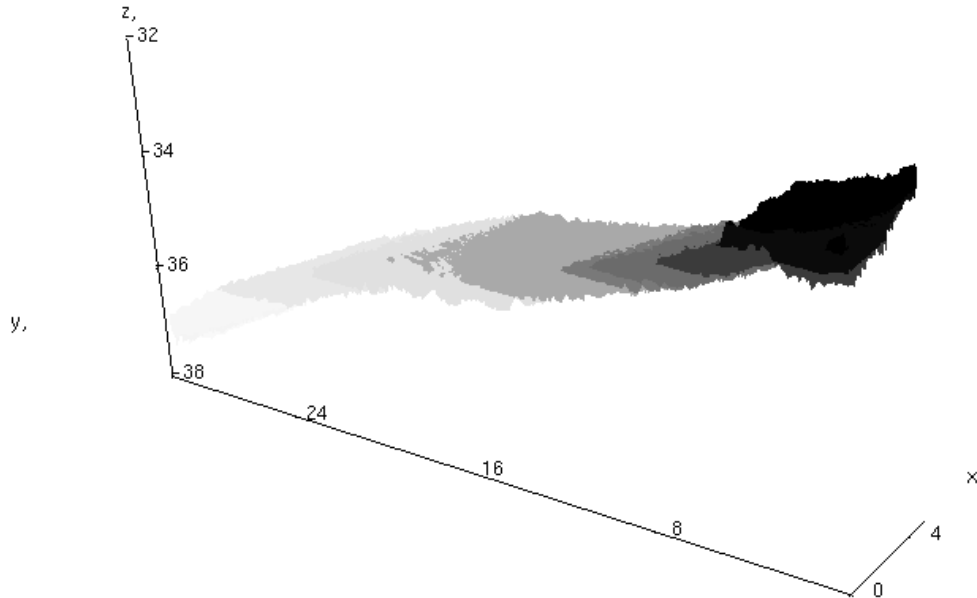


Рис. 1. Переход от металла к окислу.

Таким образом, в результате проведенных исследований создана эффективная методика определения толщины оксидной пленки на поверхности латуни, которая в дальнейшем может быть положена в основу метрологического обеспечения при разработке новых экспресс-методов контроля толщины оксидных пленок.

#### Список литературы:

1. Петренко В.И. Изменение координат аддитивной цветовой модели латуни после окисления в различных средах / В.И. Петренко, Я.С. Земцова, Д.М. Мордасов // Современные технологии композиционных материалов - Материалы IV Всероссийской научно-практической молодежной конференции с международным участием. - Уфа, 2019. - С. 319-320.
2. Фирсова, А.В. Сканирующая туннельная микроскопия диэлектрических пленок / А.В. Фирсова, Д.М. Мордасов // Материалы 69-й всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высш. учеб. заведений с междунар. участием. – Ярославль, 2016. – С. 809–812.
3. Проценко И.Г. Сканирующая зондовая микроскопия высококоэрцитивных материалов / И.Г. Проценко, Д.М. Мордасов // Междисциплинарные подходы в материаловедении и технологии. Теория и практика: сб. трудов Всероссийского совещания заведующих кафедрами материаловедения и технологии материалов. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – С. 163-171.



\*\*\*\*\*

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСХОДНОЙ СУСПЕНЗИИ И РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШИЛКИ НА РАЗМЕР И ФОРМУ ГРАНУЛ

*Рожин П.И. молодой ученый, Чупрунов К.О., Юдин А.Г.*

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, [rozhin@misis.ru](mailto:rozhin@misis.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10050**

Гидроксиапатит  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  является неорганической основой натуральной кости, и он может быть использован в ортопедии, стоматологии, косметологии, так как обладает отличными свойствами для вживления в живой организм. Для различных областей применения гидроксиапатита требуется определенный размер частиц, наличие частиц не соответствующие на данном интервале оказывает негативный эффект [1]. Гидроксиапатит с характерными размерами частиц в диапазоне 5 – 25 мкм используется для технологий 3D-печати имплантов, в диапазоне 25 – 45 мкм применяется в терапии ожогов и косметологии. Для биосовместимых покрытий требуется размер частиц в диапазоне 40 – 125 мкм. Поэтому становится, очевидно, что одним из важных задач применения гидроксиапатита является регулирование его размера.

Основными методами получения гранул гидроксиапатита являются сублимационные и распылительные сушки. Метод распылительной сушки имеет ряд преимуществ: простота системы, возможность использования различных органических и неорганических сред. Этот метод производительнее и дешевле, чем другие методы сушки. Размер гранул гидроксиапатита могут быть регулированы с помощью изменения параметров распылительной сушилки. Параметрами, которыми можно регулировать, являются скорость подачи суспензии, мощность ультразвукового распылителя, диаметр внутреннего сопла пневматической форсунки, определяющий давление в системе.

Гидроксиапатит был получен методом химического осаждения при температурах 250 – 290 °С и давлении 150 – 200 атм. Исходными реагентами являются нитрат кальция  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , гидрофосфат аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  и гидроксид аммония  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Образцы А1 и А2 были получены при величине рН равной 11, температуре Т – 65 °С, времени осаждения – 120 мин, концентрация исходных реагентов – 10 % масс. Суспензии распылялись на распылительной сушилке Mini Spray Dryer B-290, оснащенная пневматической форсункой, также на распылительной сушилке Mini Spray Dryer B-290, оснащенная ультразвуковой форсункой и на лабораторной распылительной сушилке Biorus UC-018, оснащенная пневматической форсункой.



\*\*\*\*\*

Суспензии гидроксиапатита были приготовлены при различных концентрациях и дисперсионных средах. В качестве сред использовались вода и этанол. Пять различных суспензий были приготовлены и пропущены через распылительную сушилку Buchi Mini Spray Dryer B-290. Для распыления суспензий использовался ультразвуковой распылитель Buchi Mini Spray Dryer B-290 Ultrasonic Package. В таблице 1 представлены результаты измерения 5 образцов с помощью метода лазерной дифракции.

Таблица 1. Гранулометрический состав образцов гранул, полученных распылением образца.

Образец	Концентрация суспензии, массовых долей, %	Дисперсионная среда	d <sub>10</sub> , мкм	d <sub>50</sub> , мкм	d <sub>90</sub> , мкм	Средний размер гранул, мкм
C1	2,5	Этанол	3,69	15,35	25,51	15,35
C2	2,5	Вода	4,27	15,21	24,41	15,12
C3	1,3	Вода	2,83	12,15	19,12	11,83
C4	3,6	Этанол	4,86	16,82	27,94	16,83
C5	1,3	Этанол	2,98	12,06	20,92	12,19

С помощью лазерного анализатора размеров частиц Fritsch Analysette-22 Nanotec были определены размеры получившихся гранул гидроксиапатита при 10, 50 и 90 % объем. Было показано, что при увеличении концентрации суспензии гидроксиапатита увеличивается средний размер гранул. Увеличение размера гранул обусловлено тем, что объем капли уменьшается медленнее при высокой концентрации.

От выбора дисперсионной среды, то есть от изменения вязкости суспензии размер гранул меняется слабо, но тем не менее этиловый спирт увеличивает объемную долю гранул в определенном интервале размеров. Гранулы, образовавшиеся при высокой вязкости, имеют не только большой размер, но и более сферическую форму [2]. Также увеличение вязкости увеличивает удельную поверхность гидроксиапатита.

На сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 SB были получены микрофотографии образцов. На рисунке 1 изображены микрофотографии, полученные после распыления этаноловой суспензии A1 с концентрацией 2,5 %.



\*\*\*\*\*

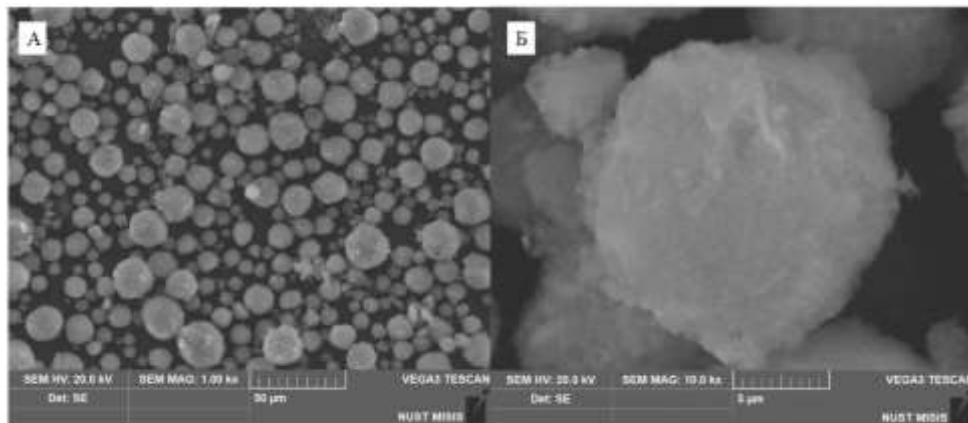


Рис. 1. Микрофотографии сферических гранул гидроксиапатита, полученных из суспензии С1 в среде этанола: а) увеличение 1000, б) увеличение 10000.

По микрофотографиям видно, что гранулы имеют сфероподобную форму с шероховатой поверхностью. В некоторых местах присутствуют раздробленные гранулы.

На рисунке 2 представлены микрофотографии гранул гидроксиапатита С3, полученные из водной суспензии с концентрацией 1,3 массовых долей, % с предварительной ультразвуковой обработкой в течение 5 минут.

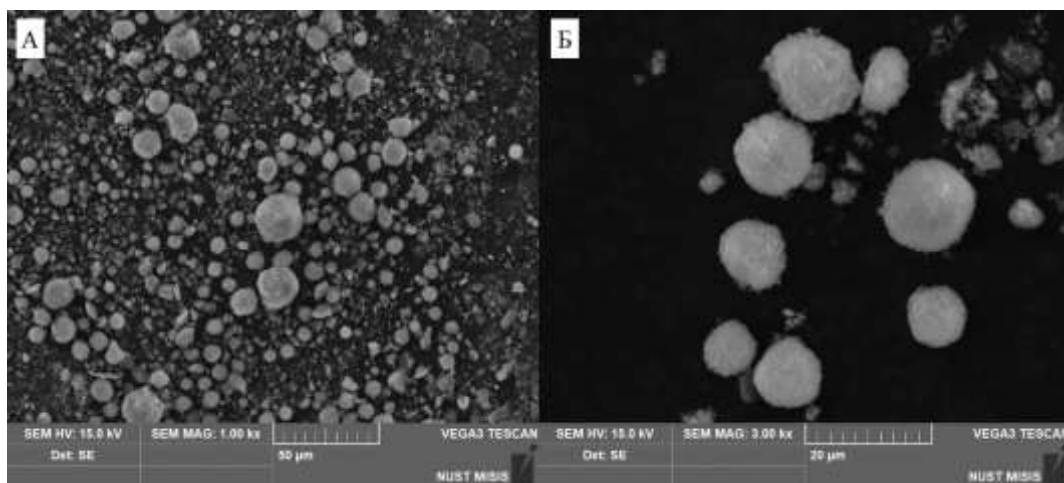


Рис. 2. Микрофотографии гранул гидроксиапатита, полученных из суспензии С3 в среде воды: а) увеличение 1000, б) увеличение 3000.

При одинаковых концентрациях, но при различных дисперсионных средах форма гранул не изменяется. Однако из водной суспензии при низкой концентрации образуются много гранул с неправильной формой.

Были приготовлены несколько суспензий с концентрациями 5, 10, 15 % масс. В таблице 2 представлены результаты проведения эксперимента.



\*\*\*\*\*

Таблица 2. Параметры распылительной сушилки Buchi Mini Spray Dryer B-290, оснащенная пневматической форсункой и гранулометрической состав образцов.

Образец	Концентрация суспензии, % масс.	Скорость подачи, мл/мин	Давление в распылительной форсунке, бар	T, °C	d <sub>10</sub> , мкм	d <sub>50</sub> , мкм	d <sub>90</sub> , мкм
6.1	10	30	8	220	4,64	24,59	53,56
6.2	10	30	5	220	4,64	24,59	53,56
6.3	5	30	5	220	2,26	8,81	19,77
6.4	15	30	5	220	1,67	8,09	25,49
6.5	10	15	5	220	1,56	4,84	12,51
6.6	5	15	5	220	7,44	11,64	17,63

Давление в распылительной форсунке не влияет на размер гранул в образцах 6.1 и 6.2. Уменьшение концентрации суспензии до 5 % масс. приводит к значительному уменьшению размеров гранул (образцы 6.2 и 6.3). Увеличение концентрации суспензии до 15 % масс. также приводит к уменьшению размеров образцов (образцы 6.2 и 6.4), однако, по сравнению с образцом 6,3 образец 6,4 имеет более широкую область распределения гранул по размерам. При скорости подачи суспензии 15 мл/мин область распределения гранул по размерам уже, чем при скорости подачи суспензии 30 мл/мин (образцы 6.2 и 6.5; образцы 6.3 и 6.6). Стоит отметить, что образец 6.6 принадлежит на требуемом интервале 5 – 25 мкм с максимально узкой областью распределения.

Для изучения влияния распылительной сушилки с ультразвуковым распылителем были приготовлены несколько образцов с концентрациями 5, 10 % масс. В таблице 3 представлены результаты проведения эксперимента.

Таблица 3. Параметры распылительной сушилки Buchi Mini Spray Dryer B-290, оснащенная ультразвуковым распылителем Buchi B-290 Ultrasonic Package и гранулометрический состав образцов.

Образец	Концентрация суспензии, % масс.	Скорость подачи, мл/мин	Мощность ультразвука, Вт	T, °C	d <sub>10</sub> , мкм	d <sub>50</sub> , мкм	d <sub>90</sub> , мкм
8.1	10	30	7	220	4,64	24,59	53,56
8.2	10	30	3,5	220	3,10	32,35	87,46
8.3	10	15	7	220	4,58	18,66	32,66
8.4	5	30	7	220	26,51	38,12	50,25



\*\*\*\*\*

Уменьшение давления в распылительной форсунке показывает значительное увеличение области распределения гранул по размерам (образцы 8.1 и 8.2). Уменьшение скорости подачи суспензии уменьшает размер гранул (образцы 8.1 и 8.3). Уменьшение концентрации суспензии значительно влияет на размер гранул, уменьшая область распределения гранул по размерам (образцы 8.1 и 8.4). Размер гранул образца 8.4 входит в диапазон 25 – 45 мкм и имеет наиболее узкую область распределения гранул по размерам.

Для изучения влияния распылительной сушилки Bioqus UC-018 с пневматическим распылителем были приготовлены несколько суспензий с концентрациями 5, 10 % масс. В таблице 4 представлены результаты проведения эксперимента.

Таблица 4. Параметры распылительной сушилки Bioqus UC-018, оснащенная пневматической форсункой и гранулометрический состав образцов.

Образец	Концентрация суспензии, % масс.	Скорость подачи, мл/мин	Диаметр сопла, мм	T, °C	d <sub>10</sub> , мкм	d <sub>50</sub> , мкм	d <sub>90</sub> , мкм
9.1	10	30	0,5	220	0,87	8,67	22,16
9.2	10	30	2	220	2,54	35,88	108,95
9.3	10	15	2	220	13,53	53,19	102,39
9.4	5	15	2	220	42,95	85,49	120,55

Область распределения гранул по размерам увеличивается при увеличении диаметра сопла (образцы 9.1 и 9.2). Уменьшение скорости подачи суспензии уменьшает область распределения гранул по размерам (образцы 9.1 и 9.3). Уменьшение концентрации суспензии «сдвигает» область распределения гранул в сторону больших размеров. Из всех образцов только образец 9.4 принадлежит в диапазоне 40 – 125 мкм.

На рисунке 3 изображены микрофотографии образца 6.6. Микрофотографии были получены на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 SB.



\*\*\*\*\*

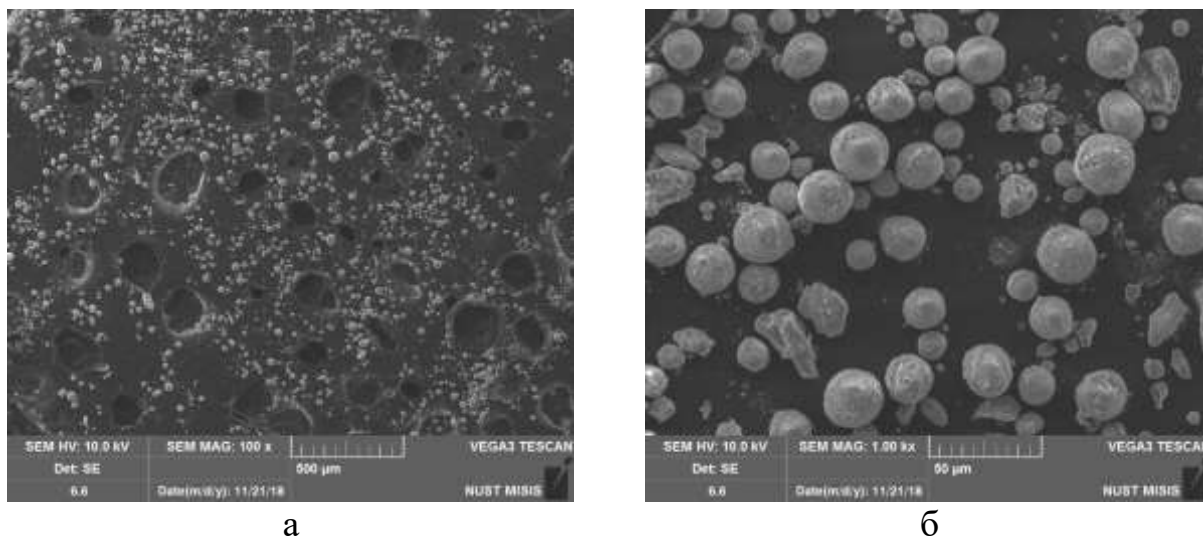


Рис. 3. Микрофотографии образца 6.6 при увеличении 100х (а), 1000х (б).

Гранулы образца 6.6 имеют сферическую форму, в некоторых местах присутствуют гранулы неправильной формы.

На рисунке 4 изображены микрофотографии образца 8.4. Микрофотографии были получены на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM 6510.

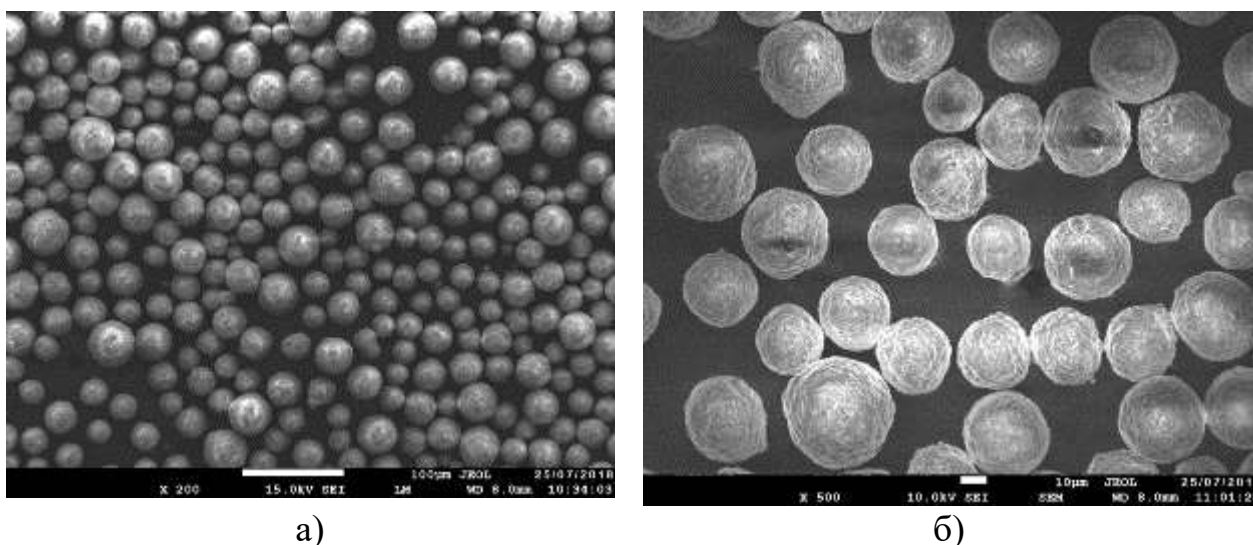


Рис. 4. Микрофотографии образца 8.4 при увеличении 200х (а), 500х (б).

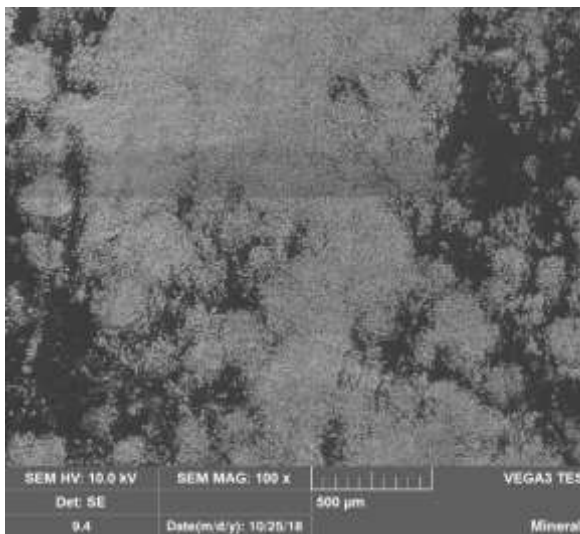
Гранулы имеют форму близкую к сферической.

На рисунке 5 изображены микрофотографии образца 9.4. Микрофотографии были получены на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 SB.

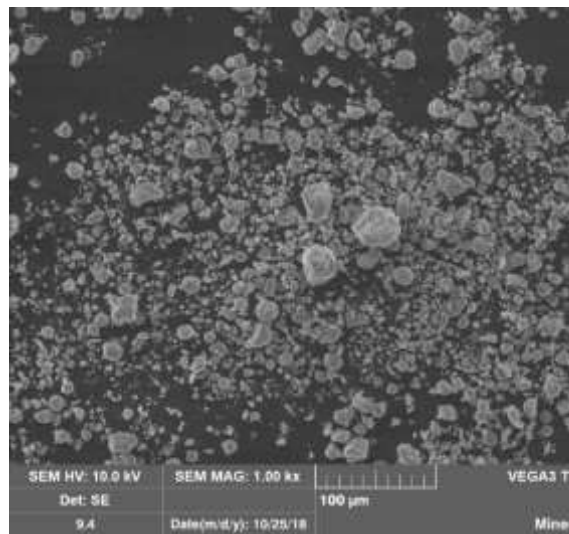




\*\*\*\*\*



а)



б)

Рис. 5. Микрофотографии образца 9.4 при увеличении 100х (а), 1000х (б).

Микрофотографии образца 9.4 демонстрируют частицы близкие по форме к сферическим, однако, имеющим некий рельеф на поверхности.

Таким образом, оптимальными параметрами для получения гранул с характерными размерами в диапазоне 5 – 25 мкм являются концентрация суспензии – 5 % масс., скорость подачи суспензии – 15 мл/мин, давление в распылительной форсунке – 5 бар; оптимальными параметрами для получения гранул с характерными размерами в диапазоне 25 – 45 мкм являются концентрация суспензии – 5 % масс., скорость подачи суспензии – 30 мл/мин, мощность ультразвука – 7 Вт; оптимальными параметрами для получения гранул с характерными размерами в диапазоне 40 – 125 мкм являются концентрация суспензии – 10 % масс., скорость подачи суспензии – 15 мл/мин, диаметр сопла – 2 мм.

#### Список литературы:

1. Liu W. et al. A simple method to controlled synthesis of nano hydroxyapatite in different particle size // Materials Letters. – 2018. – V. 217. – P. 177-180.
2. Zhang L. et al. Systematic optimization of spray drying for YAG transparent ceramics // Journal of the European Ceramic Society. – 2015. – V. 35. – №. 8. – P. 2391-2401.

*Работа проведена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № RFMEFI57517X0168).*



\*\*\*\*\*

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВС-ЭЛЕКТРОДОВ НА ОСНОВЕ TiB-Ti

*Жидович А.О. аспирант, Бажин П.М., Константинов А.С., Столин А.М.*

*Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения  
им. А.Г. Мержанова Российской академии наук, Черногловка,  
[L10012012@ya.ru](mailto:L10012012@ya.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10051**

Нанесение покрытий является одним из наиболее широко используемых способов повышения эксплуатационных характеристик и срока службы деталей машин различного назначения. Один из основных материалов для получения покрытий – керамика на основе боридов титана, который имеет высокую твердость среди тугоплавких соединений, выпускаемых в промышленных масштабах. Кроме того, присущие боридам титана низкий удельный вес и высокая химическая стабильность делают его одним из наиболее перспективных материалов при создании высоко износ- и термостойких покрытий. В то же время существенным его недостатком является низкая пластичность и невысокая прочность на изгиб и разрыв, что в значительной степени ограничивает область применения керамики на его основе. Данные недостатки можно компенсировать введением более пластичной связки, например, титана. В настоящее время перспективным путем создания композиционных материалов на основе боридов титана служит метод СВС-экструзии, который сочетает в себе проведение самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с последующим экструдированием горячего синтезированного материала через формующую матрицу.

В данной работе путем электродуговой наплавки (ЭДН) на подложку из VT1-0 наносилось покрытие электродов из материала на основе TiB-30%Ti. В зависимости от силы тока варьировалась толщина покрытия от 1,6 до 2,5 мм и качество покрытия. При силе тока 60-80 А в образцах отсутствовали поры, размер которых превышал 20 мкм.

При электродуговой наплавке образуется расплав из материала электрода и частично подложки. При проведении ЭДН в атмосфере воздуха приповерхностный расплавленный слой обогащается азотом. По причине высокой химической активности в приповерхностных слоях в расплаве образуется TiN. Бор, обладая низкой плотностью, в избытке концентрируется на поверхности расплава и, взаимодействуя с титаном, образует TiB<sub>2</sub>. На поверхности в результате окисления свободного титана образуется оксидный слой TiO<sub>2</sub>.



\*\*\*\*\*

В формировании структуры покрытия большую роль играет направленный теплоотвод через подложку. В результате чего наблюдается образование зональной структуры, о чем свидетельствуют результаты СЭМ. При нанесении покрытия методом ЭДН происходит частичное расплавление титановой подложки при попадании на нее расплавленного материала электрода (состава TiB-30%Ti). Вследствие градиента температуры и диффузии осуществляется миграция бора, обладающего низкой плотностью, в сторону более нагретой части капли расплавленного электрода. Таким образом поверхность обогащается бором, что способствует образованию при остывании высокотемпературного соединения TiB<sub>2</sub>, имеющего морфологию вискеров. В процессе остывания формируется эвтектика TiB<sub>2</sub>-TiN вглубь от поверхности образца.



\*\*\*\*\*

## РАСТЕНИЯ КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ШУМА В ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

*Иванов<sup>1</sup> И.М. школьник, Иванов<sup>1</sup> Е.А. школьник, Цебрук<sup>2</sup> И.С., Классен<sup>2</sup> Н.В.*

*<sup>1</sup>- Физико-математический лицей, Сергиев Посад,*

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

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10052**

С приходом 21 века резко обострились экологические проблемы, связанные с загрязнением атмосферы земного шара газообразными продуктами сгорания углеводородных топлив. В результате накопления в верхних слоях двуокиси углерода возник парниковый эффект, вызывающий монотонное повышение средней температуры атмосферы. Это уже нарушает равновесие атмосферы, приводя к непрерывному увеличению частоты тайфунов, ураганов, наводнений, засух и других погодных катаклизмов. Для решения этой проблемы необходимо в краткие сроки развить новые экологически чистые получения производства энергии, которые стали бы альтернативой углеводородной энергетики, которая с учетом тепловых электростанций, авиации, автомобильного, железнодорожного и водного транспорта производит более трех четвертей общей потребляемой человечеством энергии. Эта проблемы обостряется еще и тем, что в связи бурным развитием промышленности в Китае, Индии, Бразилии и других странах с большим количеством населения глобальное потребление энергии быстро возрастает. Среди альтернативных видов энергетики наиболее активно развиваются солнечная и ветровая. Значительное внимание уделяется методам получения электроэнергии от приливных волн, а также энергетике на биоматериалах. Но с энергетической точки зрения остается без внимания энергия шума, производимого различными техническими устройствами, которых становится все больше и больше (автомобили, самолеты, поезда и т.д.). Одним из наиболее шумящих устройств являются ветровые электрогенераторы, которых в связи с быстрым развитием ветроэнергетики становится все больше и больше (уже сейчас в некоторых странах доля электроэнергии, получаемой от ветра, приближается к цифре 30 – 40 %). Шум промышленных ветрогенераторов настолько силен, что жилые дома строятся на расстояниях не ближе 300 м, т.к. внутри этого радиуса уровень шума превышает 50 децибел, что при постоянном нахождении в этой зоне опасно для организма (а шум в 120 децибел создает острые болевые ощущения). То есть в зоне площадью почти в 10 гектаров вокруг таких генераторов человеку находиться вредно для здоровья. Для защиты от промышленного шума обычно выстраиваются стенки из металлических щитов, которые значительную часть шума все-таки пропускают.



\*\*\*\*\*

С другой стороны, высокая плотность энергии акустического шума в этой зоне создает естественный вопрос о его использовании для получения электроэнергии. Интенсивность шума в 100 децибел соответствует потоку энергии  $0,01 \text{ Вт/м}^2$ . Если на расстоянии 300 м она не должна превышать 40 дБ (т.е. порядка  $10^{-8} \text{ Вт/м}^2$ , т.к. интенсивность в децибелах определяется логарифмом отношения интенсивностей), то в непосредственной близости от генератора на расстоянии порядка 10 м шум может превысить 150 дБ, а поток энергии -  $1000 \text{ Вт/м}^2$ . Это означает, что на шумозащитную стенку высотой 10 м, выстроенную на этом радиусе, будет падать суммарный поток мощностью не менее 600 киловатт или 450 лошадиных сил. Такая энергия, будучи преобразованной в электричество, эквивалентна сжиганию около 40-50 литров бензина каждый час. Это указывает на экологическую и энергетическую целесообразность создания таких ограждений вокруг источников шума, которые не просто поглощали шум, но производили бы из него электроэнергию.

Из литературных данных мы определили, что деревья и кустарники – одни из наиболее эффективных поглотителей шума. С другой стороны, деформация растений, как было ранее показано, создает электроэнергию. Поэтому первой задачей на пути нахождения преобразователей шума в электричество мы приняли исследование генерации электроэнергии растениями при акустических воздействиях.

Методика исследований состояла в облучении комнатных растений или водных суспензий, приготовленных из их листьев, (спатифиллум, фикус, фиалка) звуком той или иной частоты от компьютерной звуковой колонки, на которую подавалось выходное напряжение от звукового генератора. В первой группе экспериментов проводились наблюдения с помощью оптического микроскопа зависимости поведения суспензий от частоты электрического выхода генератора. Во второй группе экспериментов проводилась регистрация электрических сигналов, возникающих при акустическом облучении от звуковой колонки живых растений между двумя электродами, которые были закреплены на листьях исследуемого растения. Сигналы измерялись либо осциллографом, либо мультиметром и изучались их зависимости от частоты и амплитуды звука.

При оптико-микроскопических наблюдениях суспензий было обнаружено, что при некоторых частотах зеленые микрочастицы от растертых листьев начинают совершать возвратно-поступательное движение, хотя при акустическом облучении с другими частотами они остаются неподвижными. Это показывает, что на некоторых акустических частотах в компонентах зеленой массы растений происходят изменения структуры или химического состава, стимулирующие их двигательную активность. Во второй группе экспериментов на листьях растений наблюдались синусоидальные электрические сигналы с частотой, совпадающей с частотой, задаваемой генератором. Это соответствует полученным в нашей группе ранее результатам о генерации электрических потенциалов на растениях при статическом деформировании стеблей или



\*\*\*\*\*

листьев (если принять в расчет, что акустическое воздействие вызывает знакопеременные деформации листьев и стеблей). Но при этом были обнаружены две особенности: первая состояла в том, что амплитуда сигнала на растении немонотонным образом зависела от подаваемой с генератора частоты: на некоторых частотах величина сигнала достигала максимума. То есть растение проявляло признаки резонансного поведения. При этом резонансные частоты были значительно ниже тех частот, которые наблюдались бы при акустических резонансах на листьях или стеблях. Поперечные размеры компонентов растений изменялись от нескольких миллиметров до пяти сантиметров. Резонансная частота в таком случае должна соответствовать отношению скорости звука в материале к поперечному размеру резонатора, т.е. листа или стебля. Скорость звука в растениях, которые более чем на 70 % состоят из водных суспензий, должна быть порядка скорости звука в воде (т.е. около 1500 м/сек). При делении этой величины на самый большой удвоенный для резонанса первого порядка размер (0,05 м) возникает частота в 15 000 гц, которая в несколько раз выше наблюдаемых резонансных значений. Следовательно, наблюдаемые максимумы резонансного типа имеют другие причины. Возможно, их природа соответствует резонансам, наблюдаемым в микроскоп на суспензиях, и связана с активизацией движения микро- или нано-частиц в суспензиях, заполняющих ткани листьев или стеблей. Вторая особенность состоит в задержке электрического отклика растения на изменение акустического воздействия, которая составляла не менее 10 секунд. Это указывает на то, что при изменении воздействия в структуре твердых или жидких компонентов растения происходят те или иные изменения. Например, изменяется концентрация микро- и нано-частиц в суспензии, перемещения которых при акустическом облучении растения и дают электрический сигнал. Задержка в реакции растения обусловлена тем, что на изменение состава водной суспензии требуется некоторое время. Так или иначе можно заключить, что электрические сигналы, возникающие в растениях при акустическом облучении связаны, главным образом, не с пьезоэлектрическим откликом твердых тканей, основу которых составляет пьезоэлектрически активная целлюлоза, а иными процессами, в которых участвуют и водные суспензии. Этот вывод позволяет, с одной стороны, понять эффективное поглощение акустической энергии растениями. С другой стороны, этот механизм предопределяет значительное увеличение электрических потенциалов, генерируемых в растениях, по сравнению с обычными пьезоэлектриками. Из этих двух выводов следует заключить, что звукозащитные стенки, описанные выше, следует организовывать не из неорганических материалов, а из зеленых насаждений, которые обеспечат повышенные эффективности как поглощения звука, так и генерируемой при этом электроэнергии. Более детальным обоснованием этого заключения и разработкой соответствующих технических решений мы планируем заниматься в дальнейшем.

Из результатов данной работы можно сделать следующие выводы:



\*\*\*\*\*

1. Зеленые насаждения способны обеспечить гораздо более эффективное преобразование шума в электроэнергию по сравнению с обычными пьезоэлектрическими преобразователями.

2. Одновременно с преобразованием шума в электричество зеленые насаждения обеспечивают защиту окрестностей от шума значительно эффективнее по сравнению с шумоотражающими стенками, которые широко применяются в настоящее время.

3. Высаживание зеленых насаждений вблизи ветроэлектростанций не только защищает окрестности от их мощного шума, но и значительно повышает их энергетическую эффективность.



\*\*\*\*\*

## ЛАЗЕРНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ И СВЕТОИЗЛУЧАТЕЛЕЙ САМООРГАНИЗАЦИЕЙ НАНОСУСПЕЗИЙ

*Винокуров<sup>1</sup> С.А., Коломиец<sup>2</sup> А.А. школьник, Классен<sup>1</sup> Н.В.*

*<sup>1-</sup> Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, [sergvin@issp.ac.ru](mailto:sergvin@issp.ac.ru)*

*<sup>2-</sup> Средняя школа № 45, Ямкино*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10053**

В настоящее время климатические катаклизмы, которые происходят все чаще, многократно обострили актуальность экстренного развития альтернативной систем производства энергии и экономичных энергопотребляющих устройств – осветительных приборов и т.д. Полупроводниковые солнечные батареи, которые превалируют сейчас в области альтернативной энергетики, пока не могут обеспечить достаточно низкую себестоимость производства электроэнергии, которая могла конкурировать с углеводородными системами. Это обусловлено сложностями производства полупроводниковых солнечных батарей: выращивание высокочистых крупногабаритных монокристаллов кремния, происходящее при высокой температуре, распиловка этих кристаллов на тонкие пластины алмазными пилами, термодиффузионная обработка этих пластин и т.д. – довольно энергоемкие и время-затратные процедуры. В то же время — это производство не относится к экологически чистым – например, для получения кремния его двуокись восстанавливается при высокой температуре углеродом. В результате этого образуется большое количество углекислого газа (по весу сопоставимое с количеством произведенного кремния), который и является основным загрязнителем атмосферы в случае углеводородной энергетики. Нами развиваются альтернативные методики изготовления солнечных батарей и других электронных устройств, основанные на самоорганизации регулярных наноструктур в суспензиях, представляющих собой композиции из связующей жидкости и функциональных нано- и микро-размерных наполнителей органической или неорганической природы. При изготовлении солнечных батарей используются зеленые компоненты растений – листья или трава. Их главным функциональным компонентом являются микрочастицы хлоропластов, включающие в себя молекулы хлорофилла. При поглощении видимого света в хлоропластах происходит разделение отрицательных и положительных зарядов (электронов и протонов), используемое для фотосинтеза веществ, обеспечивающих питание растения. Но, с другой стороны, разделение электрических зарядов – основной элемент любого способа производства электроэнергии. Но в зеленой массе эффективность разделения зарядов





\*\*\*\*\*

составляет более 90% от поглощенной световой энергии, в то время как в лучших полупроводниковых преобразователях она не превышает 50 %. Посредством облучения зеленой массы растений лазерами умеренной мощности в присутствии электрического поля удастся осуществить три операции, позволяющие создать на этой основе эффективные солнечные батареи: а) образование электрически полярных мембран, на одной стороне которых светом накапливаются отрицательные заряды, а на другой – положительные, б) формирование из этих мембран ориентированных стопок размерами в десятки микрон, приобретающих при освещении электрические дипольные моменты. в) самоорганизация этих микростопок в периодические структуры оптических масштабов. Совокупность трех этих параметров обеспечивает накопление светового потока внутри структуры микростопок за счет образования стоячих световых волн и эффективное превращение накопленных фотонов в электродвижущую силу за счет их поглощения хлорофиллами и вынос положительных и отрицательных зарядов на торцы стопок. Такого вида солнечная батарея должна быть значительно дешевле существующих сейчас, т.к. в ее производстве используются широко распространенные материалы и не требуется каких-либо дорогостоящих методик и больших энергозатрат.

Лазерное формирование регулярных микроструктур типа фотонных кристаллов, помимо сильно удешевленных солнечных батарей, перспективно для производства светодиодных осветителей и сцинтилляционных преобразователей ионизирующих излучений в световые сигналы для высокочувствительных радиационных детекторов нового поколения. Такие детекторы способны обеспечить экспрессную рентгеновскую микроскопию биологических объектов (включая человеческий организм) с минимальными дозами облучения, позволяющими непрерывно наблюдать происходящие в организмах процессы.



\*\*\*\*\*

## ЭЛЕКТРОХИМИЯ РАСТЕНИЙ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Коломиец<sup>1</sup> А.А. школьник, Винокуров<sup>2</sup> С.А., Цебрук<sup>2</sup> И.С., Классен<sup>2</sup> Н.В.

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

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

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10054

Нами обнаружены несколько экспериментальных фактов, выявляющих активные электрохимические процессы, которые происходят в зеленых и древесных частях растений при механическом деформировании, световом облучении, электрическом воздействии. Сейчас на основе этих явлений мы разрабатываем устройства для получения от растений электроэнергии, а также методики использования их в информационных технологиях. Во-первых, обнаружено, что при деформировании и ветвей, и листьев деревьев в них генерируются электрические потенциалы порядка вольта. Такая генерация имеет несколько особенностей: при последовательном деформировании циклами нагрузка – разгрузка величины возникающих при этом потенциалов монотонно возрастают от цикла к циклу, пока не достигают определенного уровня насыщения. Например, при сгибаниях-разгибаниях ветвей клена первый импульс потенциала составляет около 50 милливольт, а к шестому амплитуда доходит до 700 милливольт. Если такую ветку срезать и подержать неделю в сухом месте, амплитуда потенциала при таком же сгибании-разгибании достигнет всего 5 милливольт. Но после часовой выдержки в воде деформационный потенциал в значительной мере восстанавливается, доходя до 400 милливольт. Это показывает, что деформационная генерация в данном случае связана не с хорошо известным явлением пьезоэлектричества волокон целлюлозы (которое не должно так сильно различаться для свежих и слегка подсушенных веток), а с перемещениями электрических зарядов в водных растворах, заполняющих питательные микрокапилляры веток. Возрастание амплитуды от цикла к циклу можно объяснить защитной реакцией растения: так как повторяющаяся деформация грозит разрушением древесной ткани, в микрокапилляры впрыскиваются дополнительные заряды из окружающих их стенок, которые перемещаются в наиболее напряженные зоны растения и упрочняют их посредством обратного пьезоэлектрического воздействия. Растение, тем самым, демонстрирует способность к самообучению, модифицируя свое поведение применительно к внешним условиям. Увеличение количества свободных зарядов в биорастворах растения подтверждается



\*\*\*\*\*

измерениями электросопротивления ветвей и листьев в процессе деформирования: от цикла к циклу сопротивление уменьшается.

Следующее подтверждение «интеллектуальных» способностей растений – действия по сбережению магния. Мы облучали зеленые листья разных растений сфокусированными синим или красным лазерами с плотностью светового потока порядка 1 Вт/см<sup>2</sup>. После приблизительно минуты такого облучения облучаемая область чернела, т.е. обугливалась. Это напоминает известный процесс пиролиза древесины (получения древесного угля), когда при нагревании ее в бескислородной среде улетучиваются все химические элементы, кроме углерода. Но в данном случае на границе между обугленной и зеленой зонами возникла кольцевидная каемка белого цвета. Анализ показал, что белый цвет дает окись магния. Это означает, что ткань листа разрушается так, что магний, являющийся ключевым элементом хлорофилла, который отвечает за фотосинтез, не улетучивается при лазерном облучении (хотя атомы магния достаточно легки), а переводится растением в неповрежденные области. Магний – один из наиболее дефицитных микроэлементов, который растение добывает корнями из почвы. Без него в принципе невозможно формирование новых и древесной, и зеленой масс. Поэтому растения научились не только добывать магний, но и сберегать его. Еще одно подтверждение такой способности – реакция горшечной фасоли на описанное выше лазерное облучение. Листок одного из побегов кустика фасоли был прожжен лазером. Через неделю оказалось, что весь этот побег пожелтел, т.е. весь его хлорофилл саморазрушился и, вероятно, освободившийся магний был переведен растением либо в корни, либо в другие побеги (хотя площадь поврежденной лазером зоны была не больше 3 % от общей площади этого пожелтевшего впоследствии побега).

Еще один пример «псевдосознательного» поведения растений – скачки электросопротивления листьев при их освещении солнечным или лазерным светом. Эти скачки происходят с интервалами в 10 – 20 секунд и отношение амплитуд сопротивления в максимуме и минимуме составляет десятки или даже сотни раз. С одной стороны, известно, что хлоропласты, в которых при освещении идут реакции фотосинтеза, как бы специально размещены природой в полужидкой среде (строме) для того, чтобы время от времени переворачиваться на 180 градусов по отношению к световому потоку. Это делается для того, чтобы освещаемая сторона хлоропластов не «переутомлялась» и имела возможность «отдохнуть» в тени. Но для этого не требуется одновременного переворота всех хлоропластов сразу (именно такой синхронизованный переворот дает всплеск тока, приводящий в резкому падению электросопротивления). Они могут отдыхать, переворачиваясь и поодиночке. Но всплеск тока и вызванный им импульс электропотенциала создает импульс деформации на входах микрокапилляров, идущих от листьев к растущим фрагментам растения. Эти импульсы запускают в микрокапиллярах (благодаря пьезоэлектричеству их стенок) электромеханические волны, которые и переносят движением своих



\*\*\*\*\*

электрических полей образуемые при фотосинтезе питательные вещества в нужные места.

Представленные факты показывают, что, хотя у растений и нет мозга, по некоторым аспектам поведения они напоминают энергичные сознательные существа. На их основе мы сейчас планируем использовать растения в качестве электрогенераторов и формированию на их базе новых типов компьютеров. Для получения электроэнергии используются два явления: генерация электропотенциалов при деформировании ветвей деревьев (например, ветром) и разделение электрических зарядов со скачками электрического тока в зеленой массе растений при фотосинтезе. Деформация способна создать в отдельных ветках потенциалы в десятки вольт. Если эти ветки соединить параллельно, набросив на крону электропроводящую сеть из тонких нитей и понизить за счет параллельного соединения сопротивление между кроной и стволом до сотни Ом, одно растение станет электрогенератором с выходной мощностью в несколько десятков ватт. Автомобильный аккумулятор от такого растения можно будет зарядить за время порядка десяти-двадцати часов (точное время будет, естественно, зависеть от силы ветра, размера дерева и т.д.).

Создание солнечных электрогенераторов на растениях планируется двумя путями. Первый – использование скачков электрического тока в листьях живых растений, возникающих при фотосинтезе. Если окружить группу листьев, в которых эти скачки происходят синхронно, электрическим контуром, в нем будет возбуждаться электрический ток. Для реального осуществления такого генератора необходимо детально исследовать степень синхронизации скачков тока в разных листьях, амплитуды возникающих при этом переменных электромагнитных полей и возможную эффективность передачи во внешнюю цепь индукционным путем (без прямого контакта с растением). Второй путь – использование тилакоидов зеленой массы растений, изготовив из них ориентированные стопки тилакоидных мембран, в которых при освещении происходит разделение электрических зарядов. Макетный вариант методики образования таких стопок совместным воздействием лазерного облучения и электрического поля нами уже апробирован.

Разработка схем биокомпьютеров на основе растений планируется по двум путям. Первый – использование в традиционных схемах цифровых компьютеров тех компонентов растений, которые в наших экспериментах проявили характеристики, похожие на параметры используемых сейчас полупроводниковых элементов. Второй путь – использование логических схем, по которым происходит описанное выше самобучение растений, для разработки биокомпьютинга с параллельным проведением логических операций по типу работы человеческого мозга.



## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАСТИН ИЗ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ $Al_2O_3-CrV_2$ , ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВОБОДНОГО СВС-СЖАТИЯ

Чижигов А.П., молодой ученый, Бажин П.М., Столин А.М.

*Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения  
им. А.Г. Мержанова Российской академии наук, Черногловка,  
[chij@ism.ac.ru](mailto:chij@ism.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10055**

Материалы на основе оксидной керамики на сегодняшний день нашли широкое распространение в промышленности, особенно в области высокотемпературного применения для футеровки печей, изготовления тиглей, чехлов для термопар и т.д. Одним из наиболее распространенных видов оксидной керамики является керамика на основе оксида алюминия. Свое широкое распространение данный материал получил благодаря наличию таких свойств, как высокая твердость, химическая инертность и доступность. Однако применение керамических материалов на основе оксида алюминия ограничено из-за высокой хрупкости данного оксида и его низкой способности сопротивляться термоудару. Улучшить эти свойства оксида алюминия можно путем создания керамических композиционных материалов за счет введения в оксидную матрицу упрочняющих частиц, например, боридов и карбидов.

Перспективным для создания керамических композиционных материалов на основе оксида алюминия является использование методов, сочетающих процессы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и последующего сдвигового деформирования. К таким методам относится метод свободного СВС-сжатия. Метод свободного СВС-сжатия использует наиболее благоприятную схему сдвигового деформирования горячих продуктов синтеза, способствующую течению материала в поры, что позволяет достичь высокой плотности конечного изделия.

Данная работа посвящена получению пластин из керамического композиционного материала на основе системы  $Al_2O_3-CrV_2$  методом свободного СВС-сжатия. В работе изучены характеристики горения материала на основе системы  $Al_2O_3-CrV_2$  в режиме СВС, а также подобраны технологические режимы получения керамических пластин из указанного материала. Изучена микроструктура и фазовый состав полученных изделий, показано, что они имеют композиционную структуру. Также в работе изучено высокотемпературное поведение полученных пластин в результате отжига при температуре 950 °С в течении 20 часов.



## ИССЛЕДОВАНИЕ КВАНТОВАНИЯ В ПОЛЕВЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ

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

**ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,  
Тамбов, [anya.loskutova.94@mail.ru](mailto:anya.loskutova.94@mail.ru)**

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10056**

Первичные измерительные преобразователи температуры, выполненные в монокристалле кремния, находят широкое применение в приборах контроля параметров окружающей среды. Для их проектирования важно не только конструкторское решение, но и исследование электрофизических процессов в материале тела преобразователя. В полевых структурах иногда важно учитывать не только макропроцессы, но и квантовые законы. При наличии внешнего электрического поля энергетические уровни полупроводника искривляются так, что образуется треугольная квантовая яма [1,2] (рис. 1).

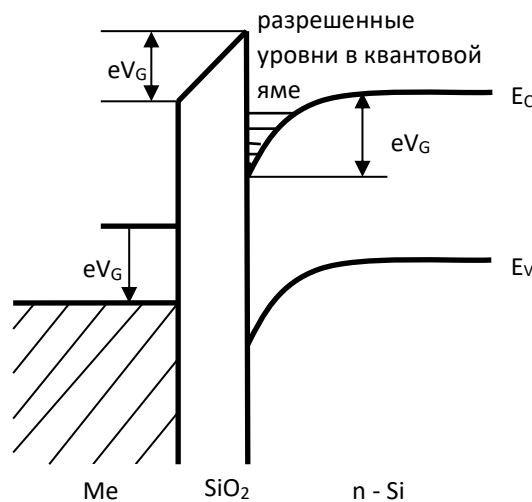


Рис. 1. Разрешенные энергетические уровни в треугольной квантовой яме.

По законам квантовой механики расстояние между энергетическими уровнями должно значительно превышать тепловую энергию:

$$E_{n+1} - E_n \gg kT.$$

Уравнение Шредингера для электронов в донорном полупроводнике:

$$-\frac{\hbar^2}{2m^*} \psi''(x) + eFx\psi(x) = E\psi(x).$$

Решение этого уравнения:



\*\*\*\*\*

$$E_m^{(1)} = \frac{\hbar^2}{2m^*} \left( \frac{\pi}{W} \right)^2 m^2 + 0,5eFW ,$$

где  $E_m$  - разрешенное значение энергии для электрона и  $m = 1, 2, 3, \dots$  .

Концентрация электронов проводимости в кристалле полупроводника [3]:

$$n = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \rho(E) f_0(E) dE ,$$

где  $f_0(E)$  - функция распределения Ферми-Дирака и  $\rho(E) = \frac{dN(E)}{dE}$  - функция плотности состояний.

#### Список литературы:

1. A.P. Korolev. Solid State Primary Initial Transformer Design for Heat Values Measurement. Korolev A.P., Shelochvostov V. P., Chernyshov V. N. Transactions of the Tambov State Technology University, 1999, v. 5, № 4, p. 536 – 542.
2. Ю.А. Брусенцов. Исследование электрофизических процессов в полевых полупроводниковых структурах для измерения теплофизических характеристик. Брусенцов Ю. А., Королев А.П., Озаренко А. В. Вестник Тамбовского Государственного Технического университета, 2006. Т.12, вып. 1А. С. 122 – 128.
3. Королев, А. П. Размерное квантование в подзатворном слое полевой полупроводниковой структуры / А. П. Королев, В. А. Ершов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. -2016. -Т. 22, № 1. - С. 108 -113 DOI: 10.17277/vestnik.2016.01.pp.108-113.



\*\*\*\*\*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРИБОРОВ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

*Лоскутова А.Д. аспирант, Никитин А.В. студент, Верченков В.С. студент*

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,  
Тамбов, [anya.loskutova.94@mail.ru](mailto:anya.loskutova.94@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10057**

В настоящее время в электронике активно используются различные композиционные материалы, в том числе изготовленные с помощью порошковой технологии [1]. Среди карбидов, например, широкое применение имеет SiC, обладающий полупроводниковыми свойствами. В связи с возрастающей потребностью в материалах с особыми физическими и электрофизическими свойствами представляют интерес также карбиды металлов, например, сплав системы W – C [2]. В основном, его применяют как конструкционный или абразивный материал. Кроме того, перспективными являются порошковые композиты на основе карбидов и металлов.

Методом порошковой металлургии [3] были изготовлены следующие виды композитов: WC+Fe, WC+Cu, SiC+Fe, SiC+Cu. У полученных образцов исследовалась зависимость сопротивления от температуры. Графики этих зависимостей представлены на рисунках 1 – 4.

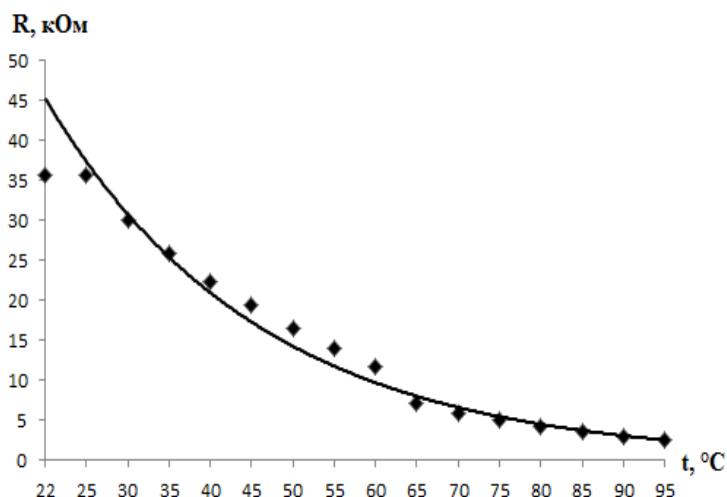


Рис. 1. Температурная зависимость сопротивления композиционного материала железо – карбид вольфрама.





\*\*\*\*\*

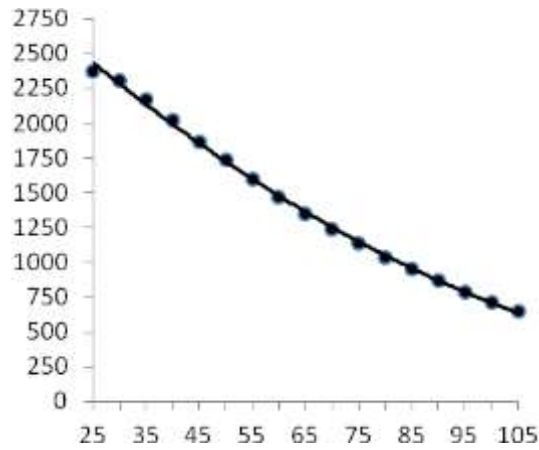


Рис. 2. Температурная зависимость сопротивления композиционного материала медь – карбид вольфрама.

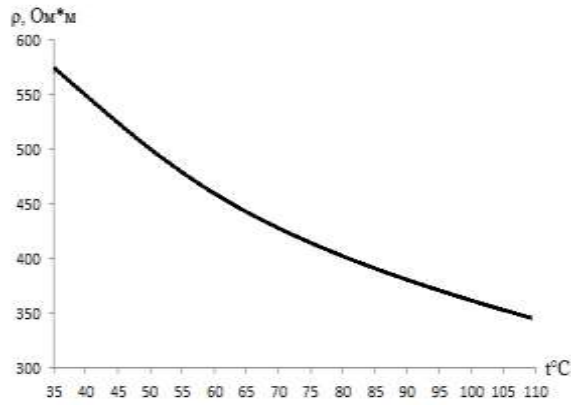


Рис. 3. Температурная зависимость сопротивления композиционного материала железо – карбид кремния.

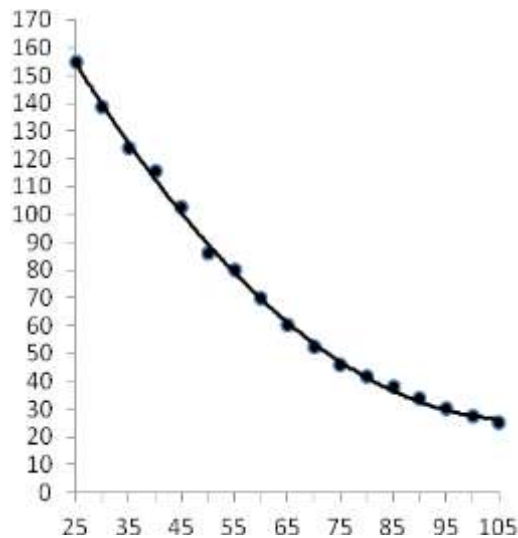


Рис. 4. Температурная зависимость сопротивления композиционного материала медь – карбид кремния.



\*\*\*\*\*

Из графиков видно, что температурная зависимость сопротивления у всех исследуемых материалов имеет полупроводниковую направленность (отрицательный температурный коэффициент сопротивления), причем график обладает явной линейностью, что говорит о стабильных электрофизических свойствах материалов в представленном диапазоне температур.

Представленные сплавы имеют высокие эксплуатационные свойства в качестве электротехнического материала [4]. Отрицательный ТКС позволяет использовать их как материалы термочувствительного элемента с преимуществами перед терморезисторами по надежности, прочности, стабильности во времени притом, что оксидные терморезисторы подвержены старению. Таким образом, композиционные сплавы на основе металл – карбид являются перспективными материалами термочувствительных элементов.

#### Список литературы:

1. Лоскутова, А.Д. Процесс получения электротехнического композита железо - карбид кремния / А.Д. Лоскутова, А.П. Королев // Сборник материалов конференции «Семьдесят первая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием», 2018 -С. 455-457.
2. Лоскутова, А.Д. Порошковые композитные материалы на основе карбидов / А.Д. Лоскутова, А.П. Королев // Материалы IX Международной научно-инновационной молодёжной конференции «Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент», 2018 -С. 124-125.
3. Лоскутова, А.Д. Изготовление композита железо - карбид вольфрама / А.Д. Лоскутова, М.В. Макачук // Сборник материалов конференции «Семьдесят первая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием», 2018 -С. 458-460.
4. Королев А.П. Исследование электрофизических свойств композита железо - карбид вольфрама / А.П. Королев, А.Д. Лоскутова // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. 2017. Т 23. №3. С. 535-540.



## ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ НА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КРЕМНИИ

*Макарчук А.П. студент, Королева И.Л., Лоскутова А. Д. аспирант*

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,  
Тамбов, [anya.loskutova.94@mail.ru](mailto:anya.loskutova.94@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10058**

Актуальным является разработка твердотельных термочувствительных преобразователей миниатюрных, с высокой точностью и быстродействием. Среди таких преобразователей важное место может занять полупроводниковая полевая структура, работающая в режиме обогащения основными носителями заряда.

Твердотельная основа преобразователя температуры представляет собой монокристаллическую кремниевую подложку. Кремний легирован донорной примесью. В режиме обогащения основными носителями заряда являются электроны.

Проводимость канала полевой структуры [1, 2] описывается следующим выражением:

$$g = \frac{Z}{L} \int_0^{x_i} \sigma(x) dx ,$$

где  $Z$  - ширина канала,  $L$  - длина канала,  $\sigma$  - удельная проводимость,  $x_i$  - глубина канала.

Удельная электропроводность в канале полупроводниковой подложки вычисляется по формуле:

$$\sigma(x) = en(x)\mu_n(x),$$

здесь  $e$  - элементарный заряд,  $n(x)$  - концентрация и  $\mu_n(x)$  - подвижность.

Используя формулу для удельной электропроводности, интегральную проводимость в канале можно рассчитать по формуле:

$$g = \frac{eZ\mu_n}{L} \int_0^{x_i} \sigma(x) dx = \frac{Z}{L} \mu_n |Q_s| .$$

Отсюда сопротивление канала:



\*\*\*\*\*

$$R = \frac{1}{g} = \frac{L}{Z\mu_n|Q_S|}.$$

Следовательно, по закону Ома ток в канале:

$$I_D = \frac{V_{SD}}{R} = \frac{Z}{L} V_{SD} \mu_n |Q_S|,$$

где  $V_{SD}$  - разность потенциалов между входом и выходом.

Используя выражение для заряда в канале [3], получим выходную характеристику преобразователя, связывающую ее с измеряемой температурой;

$$I_D = \frac{Z}{L} V_{SD} \mu_n \left[ -V_G + \left( V_D + \frac{2kT}{e} \ln \frac{N_D}{n_i} \right) \right] \frac{\epsilon_0 \epsilon_{SiO_2}}{d}.$$

#### Список литературы:

1. Пятибратов И.С. Исследование теплофизических характеристик полупроводниковой структуры / И.С. Пятибратов, М.В. Сертаков, А.П. Королев // Материалы IX Международной научно-инновационной молодежной конференции «Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент», 2017. – С. 117-118.
2. A.P. Korolev. Solid State Primary Initial Transformer Design for Heat Values Measurement. Korolev A.P., Shelochvostov V. P., Chernyshov V. N. Transactions of the Tambov State Technology University, 1999, v. 5, № 4, p. 536 – 542.
3. Королев, А. П. Размерное квантование в подзатворном слое полевой полупроводниковой структуры / А. П. Королев, В. А. Ершов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. -2016. -Т. 22, № 1. - С. 108 -113 DOI: 10.17277/vestnik.2016.01. pp.108-113.



## ПОЛУЧЕНИЕ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ В СРЕДЕ РЕАКЦИОННОГО ГАЗА

Ахметова Э.З. аспирант

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа, [elvira-ahmetova@yandex.ru](mailto:elvira-ahmetova@yandex.ru)

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10059

В связи со своими особенными свойствами, наноструктурированные покрытия успешно применяются для упрочнения поверхности инструмента и изделий, подвергающихся влиянию различных видов износа и высоких температур. Это, первоначально, режущий и штамповый инструмент, детали автомобильных и авиационных двигателей, газовых турбин и компрессоров. Наилучшие перспективы для получения наноструктурированных покрытий раскрываются с использованием вакуумно-плазменных технологий [1].

Однако применение вакуумно-плазменных технологий в производстве ответственных деталей авиационной техники ограничивается рядом проблем, объединенных с обеспечением отличного выполнения разных технологических стадий формирования покрытий и модификации поверхности:

- выстраивание однородного потока плазмы в рабочем объеме вакуумной камеры; расположение плазменного потока относительно обрабатываемой поверхности;

- выстраивание проверяемой текстуры покрытия за счет вариации энергии и плотности плазменного потока;

- формирование проверяемого состава многокомпонентных покрытий из чистых металлических элементов;

- улучшение технологии подготовки поверхности изделий перед вакуумно-плазменной обработкой.

В настоящее время известен целый ряд способов нанесения износостойких покрытий, однако значительное применение нашел способ химико-термической обработки (ХТО) изделий ионно-плазменным методом в среде реакционного газа [2].

Химико-термическая обработка изделий осуществляется погружением в газовую плазму, начинаемый электрическим разрядом с дальнейшими очисткой, нагревом и выдержкой в назначенном температурном режиме, при этом выдержку в назначенном режиме выполняют при совместном воздействии на изделие направленного пучка ускоренных частиц, осуществляемых автономным ионным источником.

Химико-термическую обработку используют с целью:



\*\*\*\*\*

- поверхностного упрочнения металлов и сплавов (повышения износостойкости, твердости, усталостной и коррозионной прочности и т.д.);
- сопротивления электрохимической и химической коррозии в различных агрессивных средах при повышенной температуре;
- ослабление технологических операций обработки металлов (резанием, давлением и т.д.);
- придания изделиям требуемых физических свойств (магнитных, электрических и т.д.).

В результате ХТО образуется диффузионный слой, т.е. происходит изменение химического состава, структуры и свойств поверхностных слоев. Изменение химического состава определяет изменения структуры и свойств диффузионного слоя.

Известен способ вакуумно-плазменной обработки изделий направленным пучком ускоренных ионов, генерируемых ионным источником [3].

Конкретный способ не предоставляет повышения износостойкости изделий, потому что не формирует высокоэффективных износостойких структур.

Известен другой способ химико-термической обработки изделий ионно-плазменным методом в среде реакционного газа, содержащий погружение изделий в газовую плазму, иницируемую электрическим разрядом, с предстоящей очисткой, нагревом и выдержкой в заданном температурном режиме [4].

Недостатком данного способа является недостаточно хорошая износостойкость поверхности из-за развития хрупких фаз на поверхности изделия. При этом уменьшается не только износостойкость, но и следует уменьшение скорости насыщения поверхности, так как хрупкие фазы мешают высокоэффективной диффузии в полость поверхности. Кроме того, при наличии следующего нанесения покрытия на диффузионный слой, может произойти его отслоение.

Сравнительный анализ показывает, что техническое решение по сравнению между двумя способами способствует дальнейшему исследованию. Достижимый результат может быть реализован лишь всей совокупностью существенных признаков, так как он не является простым суммированием элементов отдельных признаков, поскольку не проявляется при применении любого из них в отдельности.

#### Библиографический список

1. Будилов В.В., Иванов В.Ю., Мухин В.С. Интегрированные вакуумные ионно-плазменные технологии обработки деталей ГТД. Физические основы, моделирование, проектирование – Уфа: Гилем, 2004. – 216 с.
2. Илакин В.С., Козлов А.И., Лукин П.М. Основы автоматизации процессов химической технологии – Чебоксары: Чувашский университет, 2006. – 178 с.



\*\*\*\*\*

3. Ивановский Г.Ф., Петров В.И. Ионно-плазменная обработка материалов - Москва: Радио и связь, 1986. – 230 с.
4. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов – Москва: Металлургия, 1985. – 173 с.



\*\*\*\*\*

## ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИИ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ ПАУТИНЫ

*Щербинин<sup>1</sup> Ф.С. школьник, Цебрук<sup>2</sup> И.С., Классен<sup>2</sup> Н.В.*

*<sup>1</sup>- Физико-математический лицей, Сергиев Посад*

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

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10060**

Актуальность данной работы вызвана тем, что паутина, с одной стороны, обладает рекордной среди всех известных материалов удельной прочностью (отношением разрывающего усилия к произведению поперечного сечения на удельный вес материала). Но при этом механизм формирования столь уникальных свойств до конца не выяснен. Кроме того, продолжающиеся несколько веков попытки разработать промышленную технологию производства паутины для изготовления разного рода конструкционных изделий пока успехов не дали. Пауки - одни из древнейших обитателей Земли, появившиеся более 200 миллионов лет назад. За это время они выработали способность производить паутинный шелк, непревзойденное по прочности натуральное волокно. Оно производится особыми железами, расположенными в задней части брюшка паука. Известно по крайней мере семь типов паутинных желез, производящих разные нити, но обычно у паука не все семь типов, а от одной до четырех пар разных желез. На плетение ловчей сети паутины у паука уходит приблизительно полчаса. Паутинное волокно сочетает в себе два рекордных свойства – прочность и эластичность. По этим параметрам паутина в пять – шесть раз превосходит самую прочную сталь. Подобно человеческому волосу, шерсти овцы и шелку коконов гусеницы шелкопряда, паутина состоит в основном из белков. По аминокислотному составу белки паутины - спидроины - относительно близки к фиброинам, белкам, из которых состоит шелк, вырабатываемый гусеницами шелкопряда. И те, и другие содержат необычно много аминокислот аланина (25%) и глицина (около 40%). Участки белковых молекул, богатые аланином, образуют плотно упакованные в складки кристаллические области, обеспечивающие высокую прочность, а те участки, где больше глицина, представляют собой более аморфный материал, способный хорошо растягиваться и тем самым придающий нити эластичность. Процесс формирования такой уникальной нити до сих пор не выяснен.

Для ответов на поставленные выше вопросы мы исследуем изменения механических свойств, структуры и химического состава паутины при воздействиях электрического поля. С этой целью пучки паутинных волокон размещались на двух параллельных друг другу электродных полосках из алюминиевой фольги, которые были закреплены на предметном стекле





\*\*\*\*\*

бинокулярного оптического микроскопа. К электродам прикладывались постоянные или переменные электрические поля, а вызванные ими изменения в форме и структуре паутины регистрировались видеокамерой, установленной на месте одного из окуляров. При этих экспериментах межэлектродное пространство либо оставлялось сухим, либо заполнялось дистиллированной водой или раствором медного купороса. В этих экспериментах была обнаружена высокая электрическая активность паутины. Электромеханически она проявлялась так: во-первых, при приложении разности электрических потенциалов к электродам с закрепленными на них концами паутинного пучка волокна пучка, в начале располагавшиеся на некотором расстоянии друг от друга, при приложении электрического напряжения быстро сближались, образуя плотный жгут. После выключения электрического поля волокна вновь постепенно отходили друг от друга. Во втором эксперименте разность потенциалов прикладывалась не к электродам, на которых закреплен пучок паутины, а к дополнительной паре электродов, ось которых была расположена перпендикулярно пучку и проходила параллельно основным электродам посередине между ними. В этом случае паутинный пучок начинал колебаться как целое между этими дополнительными электродами с периодом в несколько секунд: сначала он прижимался к одному электроду, через несколько секунд отрывался от него и прижимался к противоположному электроду. Такие осцилляции между электродами могли продолжаться длительное время.

Электрохимические особенности паутины проявились в трех экспериментах. При заполнении межэлектродного пространства дистиллированной водой и подключении к основным электродам постоянной разности потенциалов порядка 30 вольт паутина растворялась. После высыхания воды на месте раствора наблюдались оптически анизотропные микрокристаллы. Мы предполагаем, что они образовались из белков, составлявших до включения поля паутинные волокна. Если межэлектродное пространство заполнялось не водой, а насыщенным водным раствором медного купороса (сульфата меди), волокна паутины при включении электрического поля не растворялись, но вокруг них вырастали оптически анизотропные микрокристаллы. А когда раствор медного купороса не заливался между электродами, а помещался в виде капли на один из них, то при включении электрического поля конец паутинного пучка, прилегающий к электроду с купоросом, постепенно приобретал голубоватую окраску.

Обнаруженные в данной работе электромеханические и электрохимические особенности паутины можно объяснить процессами электрической поляризации и переполяризации белков, образующих ее волокна. Например, известно, что в воде хорошо растворяются электрически полярные вещества, что обусловлено большими дипольными моментами молекул воды. Но до включения электрического поля компоненты паутины не имели электрической поляризации и поэтому паутина в воде не растворялась.



\*\*\*\*\*

Приложение к паутине внешнего поля вызвало электрическую поляризацию входящих в нее белков, которые по этой причине начали активно взаимодействовать с молекулами воды и переходить в водный раствор. При последующем высыхании воды оставшиеся между электродами белки образовали анизотропные микрокристаллы. Притяжение отдельных волокон сухого пучка паутины друг к другу при подключении к ним электрического также можно объяснить индуцированием в них дипольных моментов, вызывающих диполь-дипольное притяжение между волокнами. Сложнее объяснить осциллирующее поведение паутинного пучка между дополнительными электродами с осью, расположенной перпендикулярно волокнам. Такого рода перескоки пучка от одного электрода к противоположному могли бы наблюдаться, если бы внутри волокон с периодичностью в несколько секунд по непонятной пока причине происходили спонтанные изменения знака поперечной волокон электрической поляризации, индуцированной внешним полем.

Обрастание волокон паутины, помещенных в раствор медного купороса, микрокристаллами при включении внешнего электрического поля можно объяснить тем же индуцированием электрической поляризации, которое в чистой воде приводит к растворению паутины. Но в данном случае с индуцированными в волокнах диполями взаимодействуют не молекулы воды, а растворенные в ней ионы медного купороса. Детальный состав образующихся при этом микрокристаллов планируется определить в ближайшее время. Приобретение волокон паутины голубой окраски при размещении капли медного купороса на одном из электродов свидетельствует о миграции ионов раствора под действием электрического поля либо по поверхности волокон, либо же непосредственно внутри них. С учетом того, волокна паутины характеризуются разнообразием оптических свойств в видимой области спектра (например, в некоторых волокнах наблюдается продольная модуляция показателя преломления микронных масштабов, обеспечивающая распределенную обратную связь), электростимулированное внедрение в них оптически активных ионов существенно расширяет возможности микрофотоники на основе паутины.

Полученные в данной работе результаты открывают возможности управления структурой и свойствами паутины вплоть до формирования из составляющих ее волокон белков искусственных волокон, по свойствам, не уступающим натуральным, и создания из них нескольких видов функциональных материалов с необходимыми механическими, химическими, оптическими и электрическими характеристиками.

*Данная работа частично поддерживалась грантом РФФИ 16-29-11702.*



\*\*\*\*\*

## ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРИЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

*Классен Е.Н., Цебрук И.С., Классен Н.В.*

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

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10061**

Роль приповерхностных областей твердых тел, и раньше имевшая важное значение в формировании их физических и механических свойств твердых тел, по мере развития нанотехнологий многократно возрастает. Соответственно умножается актуальность развития экономичных методов управления структурой, составом и свойствами зон, примыкающих к поверхности. Ранее в наших работах было показано, что деформационная полировка поверхности твердых тел путем либо обжатия, либо шариковой обкатки приводит к заметному улучшению нескольких эксплуатационных характеристик твердотельных оптических элементов и сцинтилляционных детекторов: повышению радиационной и оптической прочности, увеличению коэффициента оптического отражения, повышению микротвердости, улучшению химической стойкости. Данная работа посвящена дальнейшему развитию деформационных методов улучшающего регулирования приповерхностных свойств материалов.

Были обнаружены два новых явления, существенно расширяющие представления о физических и химических процессах, происходящих в приповерхностных слоях твердых тел при деформационных воздействиях. Оказалось, что при шариковой обкатке за счет того, что в каждой отдельно взятой нанообласти приповерхностного слоя происходят непрерывные изменения как величины, так и ориентации тензора действующих напряжений и соответствующих деформаций, первоначально формируется сильно запутанная наномасштабная структура дислокаций, которая через некоторое время преобразуется в регулярную трехмерную систему нанозерен. Наблюдаются признаки того, что дальнейший деформационный массоперенос производится перемещениями этих «свежесформированных» нанозерен. В такой трехмерной сверхструктуре сильно модифицируются состояния электронной и фононной подсистем, т.к. масштабы периодичности намного меньше, чем длины пробега этих квазичастиц. Более того, при освещении такой материала видимым светом в его приповерхностном слое создаются специфические фотонные резонансы, благодаря которым отражение света от поверхности увеличивается. А если освещение производится в процессе локального деформирования приповерхностного слоя шариковой обкаткой, в нем формируются взаимосвязанные самосогласованные состояния наноструктурных неоднородностей, фононов, электронов и фотонов. Этой взаимосвязанной



\*\*\*\*\*

системой можно управлять, варьируя интенсивность и длину волны света, налагая внешние электрические, магнитные и акустические поля. Тем самым имеется возможность формировать регулируемые наноструктуры сравнительно недорогими методами.

При нанесении на обкатываемую поверхность жидких веществ, нанопорошков или суспензий из жидких связок с твердыми наночастицами обнаружено аномально быстрое и глубокое проникновение этих инородных веществ в глубину приповерхностного слоя. В течение 10 -20 минут обкатки при комнатной температуре глубина такого легирования достигает до 50 микрон, хотя глубина обычного термодиффузионного легирования не превышает 1 - 2 микрон при существенно больших температурах и временах. Оптической и электронной микроскопией этих процессов установлено, что главную роль в таком сверхбыстром массопереносе играют нано- и микротрещины, которые создаваемыми при обкатке знакопеременными напряжениями и деформациями то открываются, то закрываются. Если в открывшуюся при обкатке от растягивающей деформации нанотрещину с поверхности попадает наночастица инородного вещества, то при смене деформации на сжимающую закрывание приповерхностной части трещины создаст в ее нижней части, расположенной под наночастицей, растягивающее напряжение (в соответствии с «правилом рычага»). За счет концентрации напряжений в вершине трещина продвинется глубже, а следом за ней продвинется и наночастица. Циклически повторяющиеся при возвратно-поступательном движении шарика смены деформаций с растягивающей на сжимающую и создадут наблюдаемый поток инородного вещества в глубину приповерхностного слоя.

Этот процесс сверхбыстрого и сверхглубокого легирования имеет перспективы широких применений в технологиях различных несущих конструкций, электронных и оптических устройств. Важно подчеркнуть, что методика легирования шариковой обкаткой не требует особых условий типа высокой температуры или специальной атмосферы. Она может применяться и в открытом поле, и под водой – например, для антикоррозионной защиты корпусов кораблей. Это актуально, например, при освоении Арктики, когда обычная антикоррозионная покраска неэффективна из-за быстрого стирания любой краски частыми ударами льдин. С точки зрения создания принципиально новых материалов интересен вариант внедрения в металлы или полупроводники органических, или биоорганических молекул. До сих пор композиции такого рода представляют собой неорганические наночастицы, внедренные в органические матрицы. Сделать наоборот не удастся из-за того, что обычные способы легирования требуют настолько повышенных температур, что органические молекулы разлагаются.

*Данная работа выполнялась в соответствии с государственным заданием ИФТТ РАН и частично поддерживалась грантом РФФИ 16-29-11702.*



\*\*\*\*\*

## ОСОБЕННОСТИ НАНОСТРУКТУРЫ, ОПТИЧЕСКИХ И РАДИАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ МИКРОВОЛОКОН

*Покидов А.П. молодой ученый, Цебрук И.С., магистрант, Кедров В.В.,  
Классен Н.В.*

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

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10062**

Ранее в нашей группе были разработаны новые типы композитных сцинтилляторов из наночастиц диэлектриков в связке с органическими люминофорами. Такие сцинтилляторы характеризуются рекордным сочетанием параметров, характеризующих качество радиационных детекторов: высокую поглощательную способность, создаваемую тяжелыми наночастицами, наносекундное быстроедействие за счет быстрой передачи энергии от наночастицы, поглотившей гамма-квант, органическому люминофору, и высокий коэффициент преобразования энергии радиации в световые сигналы, обеспеченный высокой светимостью люминофора. Однако по причине неоднородностей в распределении наночастиц в органической связке эти композиты сильно рассеивали излучаемый ими свет и поэтому толщина пластин таких сцинтилляторов, пригодных для применения в радиационных детекторах, не превышала 2 – 3 миллиметров. В данной работе мы представляем новую методику формирования сцинтилляторов из таких композиций, основанную на вытягивании микроволокон, в которой неоднородности в распределении наночастиц стали регулярными с периодом, сопоставимым с длиной волны излучаемого света и за счет формирования при этом положительной распределенной обратной связи из недостатка превратились в достоинство.

В качестве органического люминофора мы использовали полистирол, активированный 2,5-дифенилоксазолом с наполнителем из наночастиц сульфата цезия. Жидкие композиции для вытягивания волокон составлялись растворением указанной смеси в бензоле или толуоле. Формирование микроволокон производилось двумя способами: центрифугированием, когда на плоский диск диаметром 20 см наливался коллоидный раствор смеси полистирола с наночастицами сульфата цезия, после чего диск раскручивался до скорости 20-30 оборотов в секунду. С края диска под действием центробежной силы выбрасывались капли субмиллиметровых размеров, которые за доли секунды вытягивались в волокна диаметрами от 0.5 до 50 микрон. Ход процесса формирования таких микроволокон регистрировался скоростной видеокамерой. Второй способ формирования сцинтилляционных микроволокон состоял в вытягивании волокна из раствора стеклянной палочкой, сначала окунаемой в



\*\*\*\*\*

раствор, а затем плавно поднимаемой вверх со скоростью в несколько сантиметров в секунду. Если в первом варианте морфология формируемых волокон была практически постоянной по длине, то во втором варианте по длине волокна наблюдались существенные изменения морфологии. В начале волокно было круговым цилиндром, но затем поперечное сечение становилось гантелевидным: два круглых стержня по краям, соединенные плоской перемычкой. Это объясняется неустойчивостью кругового сечения из-за увеличения скорости испарения толуола (приводящего к затвердеванию волокна) при флуктуационном увеличении локальной кривизны. В этом месте начинается ускоренное затвердевание, и за счет сокращения при испарении удельного объема сюда подтягивается раствор из середины. В результате край утолщается, а середина утоньшается. Из-за утоньшения середины приток к отверждаемому краю слабеет, но по причине этого утоньшения возрастает кривизна противоположного края волокна, где теперь, в свою очередь, начинается ускоренное испарение растворителя с соответствующим формированием утолщенного стержня. Из-за рассогласования процессов отверждения этих краевых стержней скорости сокращения их длин различаются, в результате чего такая квазиплоская лента приобретает винтовую закрутку. А в ряде случаев эта закрутка настолько сильна, что лента приобретает форму синусоиды. При дальнейшем вытягивании количество вытягиваемого в секунду раствора уменьшается и волокно снова приобретает круговое сечение с модуляцией формы не в поперечном, а в продольном направлении. Диаметр кругового сечения периодически осциллирует с амплитудой порядка 10% от средней величины. Это объясняется генерацией неустойчивостей Релея-Тейлора, когда за счет флуктуационного уменьшения диаметра в этом месте возрастает лапласовское давление, обусловленное поверхностным натяжением. Возрастание давления вызывает перетекание части раствора в соседнюю область волокна, диаметр которой из-за этого возрастает, приводя к уменьшению лапласовского давления. Такие осцилляции давления приводят к модуляции плотности наночастиц, вслед за чем возникает и модуляция локального показателя преломления волокна, отчетливо наблюдаемой в оптическом микроскопе. Но на этом расслоение первоначально однородного волокна не заканчивается. Продолжающиеся флуктуации кривизны по окружности поперечного сечения приводят на этот раз не к образованию гантелевидного сечения, а к расщеплению цельного микроволокна на пучок параллельных нановолокон, что было зарегистрировано в электронном микроскопе. В волокнах, получаемых центрифугированием, винтовая закрутка была менее выражена, но продольная модуляция показателя преломления и расщепление цельных микроволокон на пучки нанонитей наблюдались на том же уровне, что и в вытягиваемых волокнах.

Столь отчетливые особенности морфологии и оптических характеристик, масштаб которых был сопоставим с длиной волны сцинтилляционного света,



\*\*\*\*\*

привели к ряду оптических аномалий. При возбуждении люминесценции волокон с помощью рентгеновской трубки наблюдалось угловая анизотропия направленности светового потока с усилением излучения вдоль волокна по сравнению с поперечным направлением. Но при этом поляризация излучаемого света также была параллельна волокнам. Это, на первый взгляд, странно, т.к. световые волны в однородной среде являются чисто поперечными, когда преимущественная поляризация перпендикулярна преимущественному направлению светового потока. Такая аномалия объясняется наличием в волокне нанонитей. В этой ситуации, хотя наибольшая часть изучаемого светового потока и идет в вакууме, но он как бы привязан к нанонитям и за счет этого световые волны приобретают частичный характер продольных. Это достаточно типично для распространения света вдоль нанонитей с достаточно большими диэлектрическими проницаемостями, хотя их поперечные размеры и намного меньше длины волны света. Преимущественное же излучение света вдоль микроволокон объясняется поперечной модуляцией их усредненного показателя преломления, за счет чего организуется распределенная положительная обратная связь.

Таким образом, структурные неоднородности пластин из композитных сцинтилляторов, которые были их явным недостатком, придали микроволоконным сцинтилляторам сразу несколько достоинств: усиление общего световыхода сцинтилляций, что с преимущественной направленностью их излучения вдоль волокон еще более увеличивает чувствительность радиационных детекторов. Кроме того, пространственное разрешение такого рода детекторов из сцинтилляционных композитных микроволокон определяется их поперечными размерами и, соответственно, может быть улучшено до субмикронных масштабов.

В сочетании с увеличенной чувствительностью волоконных сцинтилляционных детекторов на их основе реально сформировать детекторную матрицу с микронным разрешением для рентгеновской просвечивающей микроскопии биологических объектов вплоть до наблюдения за динамикой работы внутренних органов биоструктур, включая и человеческий организм.

Кроме того, такого рода рентгеновские микроскопы способны дать существенную новую информацию и о динамике микропроцессов в разного рода технических изделиях – электронных микросхемах, элементах всевозможных несущих конструкций и компонентах динамических устройств типа двигателей и др.

*Данная работа выполнялась в соответствии с государственным заданием ИФТТ РАН и частично поддерживалась грантом РФФИ 16-29-11702.*



\*\*\*\*\*

## НОВЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ НА ЧИПЕ

*Терещенко А.Н.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
физики твердого тела Российской академии наук, Черноголовка,  
[tan@issp.ac.ru](mailto:tan@issp.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10063**

Создание эффективного светодиода на основе кремния является одной из нерешенных проблем современной оптоэлектроники. Главным образом, это связано с непрямой запрещенной зоной кремния и, соответственно, малым квантовым выходом люминесценции. Одним из возможных решений этой проблемы является использование излучательной рекомбинации на глубоких энергетических состояниях, связанных с дислокациями в кремнии. Среди различных методов генерации дислокаций особое место занимает создание центров дислокационной люминесценции (ДЛ) методом имплантации ионов кремния средних энергий с последующей термообработкой. Наряду с тем, что этот метод является наиболее совместимым со CMOS технологией, он позволяет проводить модификацию параметров центров ДЛ в широких пределах с помощью изменения режимов облучения, дополнительного ионного легирования и термообработки. Однако, одним из главных препятствий к практическому использованию ДЛ является ее сильное температурное гашение. В настоящей работе исследовано влияние процедуры алюминиевого геттерирования (AlG), а также идентичной геттерированию термообработки на температурную зависимость люминесценции дислокационных структур в кремнии, сформированных путем облучения ионами  $\text{Si}^+$  с последующей дополнительной имплантацией ионов  $\text{B}^+$  различной концентрации.

В данной работе показано, что процедура AlG, как и аналогичные геттерированию термообработки исследуемых дислокационных структур радикально влияют на температурную зависимость интенсивности линии D1 ДЛ. В образцах, подвергнутых AlG, наблюдается кратное возрастание интенсивности линии D1 в температурном интервале 6 - 100 К независимо от концентрации бора. Термообработка образцов, идентичная AlG, приводит к возникновению интенсивных максимумов на температурной зависимости, положение которых коррелирует с содержанием имплантированного бора. Установлено, что в обоих случаях примесь бора играет ключевую роль в возникновении наблюдаемых особенностей температурной зависимости ДЛ. Мы предполагаем, что





\*\*\*\*\*

наблюдаемый рост интенсивности линии D1 ДЛ с повышением температуры связан с термическим высвобождением носителей с борсодержащих комплексов, энергия ионизации и другие параметры которых зависят от содержания бора в кристалле. Это приводит к эффективному увеличению накачки D1-центров люминесценции в определенном температурном интервале.

Ионное легирование бором с последующим отжигом, наряду с полезным эффектом – образованием центров температурной «подкачки» электронов на уровни, с которых осуществляется излучательный переход линии D1, вносит центры, связанные с неконтролируемыми примесями, гасящими люминесценцию. Геттерирование неконтролируемых примесей устраняет или снижает влияние таких центров. Таким образом, как процедура AlG, так и идентичная термообработка служат эффективным способом улучшения температурной зависимости интенсивности линии D1 для исследуемых дислокационных структур. Благодаря обнаруженному аномальному поведению люминесценции стало возможным получать технологичным способом светоизлучающие структуры, в которых интенсивность линии D1 при возрастании температуры от 6 К до 270 К падает всего в несколько раз (рис.1).

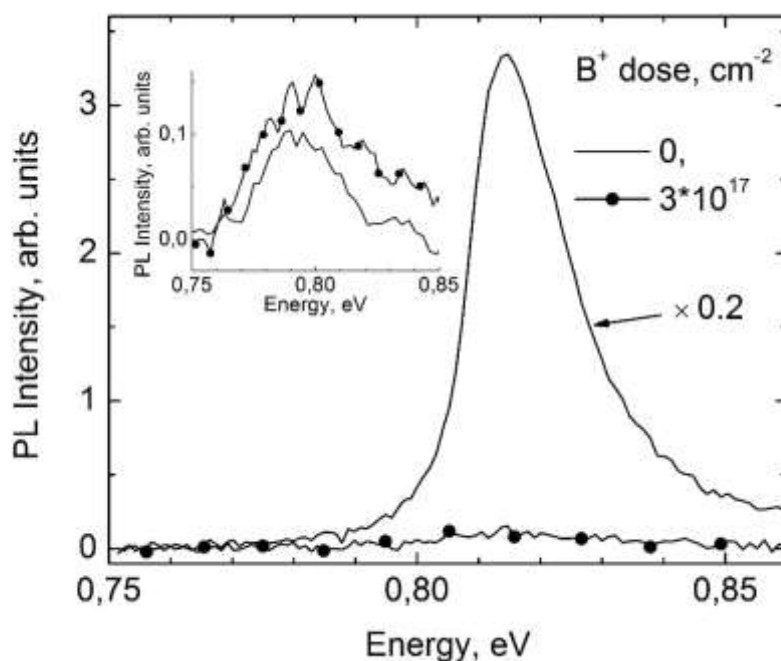


Рисунок 1. Сравнение линий D1 при температуре 6К для образцов без бора и имплантированном  $B^+$  с дозой  $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  после отжига, идентичному AlG. Для удобства сравнения в одной шкале интенсивность D1 образца без бора уменьшена в 5 раз. На вставке: аналогичное сравнение интенсивности линии D1 при температуре 270К.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-02-01070), а также частично в рамках государственного задания ИФТТ РАН.



\*\*\*\*\*

## УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКОЙ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ ПОВЫШЕННОЙ ПЛОТНОСТИ

Нагимов Р.Ш. магистрант, Варданян Э.Л.

*Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет, Уфа,*  
[r.sh.nagimov@gmail.com](mailto:r.sh.nagimov@gmail.com)

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10064**

Сегодня авиадвигателестроение активно повышает требования к конструкционным материалам с целью улучшения основных характеристик двигателя: увеличенной тяги, повышенной эффективности, снижения расхода топлива. В связи с этим повышается рабочая температура в газотурбинных двигателях и все чаще используются труднодоступные жаропрочные сплавы. Низкая обрабатываемость этих сплавов определяется их физико-механическими свойствами. Учитывая эту тенденцию, требования к металлорежущим инструментам, (таким как фрезы, резцы, долбяки и т.д.) также растут.

Для решения проблемы повышения ресурса работы металлорежущих инструментов, используемых в авиационной промышленности из быстрорежущих сталей и твердых сплавов, был предложен метод комплексной модификации поверхности в низкотемпературной плазме высокой плотности, включающий в себя ионное азотирование и последующее формирование многослойных наноструктурных покрытий на основе интерметаллических соединений системы Ti-Al, синтезированных в реакционных газах O, C, N. Исследования влияния низкотемпературного азотирования и последующего формирования многослойных покрытий на основе интерметаллической системы Ti-Al на изменение микротвердости поверхностного слоя и износостойкости инструментальных материалов.

Разработан технологический процесс комплексной модификации поверхности инструментальных материалов при разрядах при низком давлении, включая низкотемпературное азотирование и последующее осаждение ультратонких покрытий на основе интерметаллических соединений системы Ti-Al. Показано, что комплексная модификация увеличивает микротвердость поверхности, а также повышает адгезионную прочность по сравнению с инструментами, прошедшими только нанесение защитных покрытий.



\*\*\*\*\*

## САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ НАНОПОРОШКОВ Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO ДЛЯ ИК-ПРОЗРАЧНОЙ КЕРАМИКИ

*Пермин<sup>1</sup> Д.А., Беляев<sup>1</sup> А.В., Балабанов<sup>1</sup> С.С., Кошкин<sup>1</sup> В.А. студент,  
Болдин<sup>2</sup> М.С., Попов<sup>2</sup> А.А., Мурашов<sup>1,2</sup> А.А.*

*<sup>1</sup>-Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых Российской академии наук, Нижний Новгород, [dustchem@bk.ru](mailto:dustchem@bk.ru)*

*<sup>2</sup>- Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Научно-исследовательский физико-технический институт, Нижний Новгород*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10065**

Композиционный керамический материал оксид магния/оксид иттрия (MgO-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) с субмикронным размером зёрен является перспективным для создания защитных окон инфракрасных систем аэрокосмической техники. Основной стадией получения оптической керамики является синтез наноразмерных слабоагломерированных порошков высокой чистоты. Одним из методов синтеза ультрадисперсных порошков MgO-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Целью данной работы являлась разработка методики синтеза порошков оксидов иттрия-магния методом растворного сжигания с применением смесей нитратов иттрия и магния в качестве окислителя и аминокислоты в качестве восстановителя, а также установление возможности спекания на их основе ИК-прозрачной керамики.

Методика получения нанопорошков заключалась в растворении навесок оксидов магния (MgO) и иттрия (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) в разбавленной азотной кислоте (HNO<sub>3</sub>) с последующим добавлением к полученному раствору нитратов металлов глицина. Раствор упаривался и сжигался при температуре 500°C. Продукт синтеза представлял из себя объёмный порошок белого цвета.

Свойства порошков охарактеризованы рядом инструментальных методов. По данным рентгенодифракционного анализа продукт СВС представляет собой смесь кубических фаз оксида иттрия и магния с характерным размером области когерентного рассеяния 20-30 нм. Морфология синтезированных порошков характеризуется наличием рыхлых пористых агломератов, состоящих из первичных частиц со средним размером 50-100 нм.

С использованием синтезированных порошков методом электроимпульсного плазменного спекания (ЭИПС) получены керамические



XVII Всероссийская с международным участием школа – семинар по структурной макрокинетике для молодых ученых имени академика А.Г. Мержанова

\*\*\*\*\*

образы композитного материала  $\text{MgO-Y}_2\text{O}_3$  с характерным размером зёрен 200-300 нм и линейным пропусканием 82% на длине волны 5 мкм.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-73-10127).*



\*\*\*\*\*

## ИССЛЕДОВАНИЯ САМОВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИИ ЖИВЫХ РАСТЕНИЙ

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

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

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

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10066**

На такой же конференции 2018 года мы сообщали об электрической активности древесных и зеленых компонентов растений, которая, с одной стороны, позволяет разработать автономные экологически чистые источники электроэнергии путем преобразования в электричество энергий ветра и солнечного света. С другой стороны, экспериментальное изучение поведения растений при механических деформациях, электрических и световых воздействиях показывает, что они способны изменять свои характеристики, когда интенсивность внешних воздействий превышает допустимый уровень, угрожая растению серьезным повреждением. Эти изменения характеристик поведения направлены на уменьшение опасности повреждения. Такие поведенческие перестройки мы в первую очередь регистрировали через вариации электрического сопротивления и электрических потенциалов ветвей и листьев при их механических деформациях, освещении, воздействиях электрических разрядов. Например, при обратимых изгибных деформациях веток возникающая в ней разность потенциалов по мере повторения циклов изгиб – распрямление монотонно возрастает от 50 милливольт до 700 милливольт, а ведь при этом амплитуда деформации при каждом цикле не изменялась. Похожим образом изменяются амплитуды электрических потенциалов при деформациях зеленых листьев. Сами по себе величины потенциалов, а также изменения их амплитуды показывают, что основная причина этого – перемещения электрических зарядов в водных растворах, заполняющих питающие микрокапилляры растений. Наблюдаемые одновременно с деформационными увеличениями потенциалов уменьшения электрического сопротивления измеряемых ветвей или листьев показывают, что они имеют электрохимическую природу, причем по мере увеличения количества циклов деформации в микрокапиллярах возрастает количество свободных электрических зарядов. Вероятно, при появлении опасности механического повреждения растение впрыскивает в капиллярную жидкость дополнительные заряды, перемещения которых, наблюдаемые по генерации потенциалов, направлены на компенсацию опасных уровней деформации стенок сосудов за счет подвода к ним этих зарядов, электрическое поле которых снижает величину



\*\*\*\*\*

деформации стенок за счет встречной деформации целлюлозных стенок, обладающих высокой пьезоэлектрической активностью.

При облучении ветвей живых растений дуговыми электрическими разрядами их электросопротивление уменьшается, как и при деформации. Это тоже можно объяснить тем, что растение, защищаясь от угрозы разрушения, впрыскивает в капилляры дополнительные заряды, поле которых упрочняет стенки. Но при действии разрядов на зеленые листья иногда наблюдается обратное явление – увеличение электросопротивления зеленой ткани листа в несколько раз. То есть концентрация свободных зарядов в листе уменьшается. Мы предполагаем, что рост электросопротивления листа происходит, когда уровень электрического потенциала от внешнего источника превышает порог, выше которого электрическое поле приводит к разрушению. Тогда растение жертвует листом и за счет повышения его сопротивления, обусловленного оттоком свободных зарядов, изолирует побеги и ветви, на которых расположен этот лист, защищая их от электрического разрушения. Изучение электрохимических процессов в растениях выявило еще одно сильно изменчивое их свойство – вентиляную асимметрию электросопротивления, напоминающую асимметрию полупроводниковых диодов. В данном случае она выражается в том, что электрическое сопротивление, измеряемой на отдельных участках ветвей или листьев, сильно зависит, от того, как направлена при измерениях разность потенциалов: от начала к концу (т.е. когда положительный полюс ближе к началу листа или ветки, чем отрицательный) или наоборот. Разница электросопротивлений при изменении знака разности потенциалов иногда достигала нескольких раз. Это означает, что, например, если при плюсе у начала сопротивление меньше, чем при минусе, движение положительных зарядов от начала к концу идет легче, чем в противоположном направлении. При этом оказалось, что знаки асимметрии данного участка ветви или листа в разные моменты времени различны. Тем самым в одном интервале времени растение облегчает движение положительных зарядов (например, протонов) от начала к концу, а в другом делает это же для отрицательных зарядов. Такое поведение можно объяснить непрерывными изменениями локальных распределений ионов, электронов и других электрически активных компонентов биорастворов растения, которые обусловлены происходящими в них биохимическими процессами. А для выравнивания баланса растение время от времени переключает знаки потоков положительных и отрицательных ионов.

Еще один признак самообучаемой «интеллектуальной» деятельности растения – перераспределения магния, составляющего сердцевину молекул хлорофилла, обеспечивающих наиболее важный компонент жизнедеятельности – фотосинтез глюкозы и других «строительных материалов» для роста тканей растения. Хорошо известно, что листья с наступлением осени желтеют, хотя, если надломить летом веточку дерева, оставшиеся на ней листья к осени засохнут, но останутся зелеными. Пожелтение означает, что задающий зеленую



\*\*\*\*\*

окраску хлорофилл к осени разрушается. Отделяющиеся при этом атомы магния не впитываются в почву при падении пожелтевших листьев на землю, а уходят в ствол (и, вероятно, далее к корням), пока еще лист соединен с деревом. Подтверждение этого мы наблюдали, облучая зеленые листья красным лазером или синим лазерами, вызывающими разрушение хлорофилла. Под действием лазерного луча на листе постепенно образуется черное пятно, означающее, что здесь остался углерод, а остальные химические элементы отсюда перераспределились. Но на краю этого черного пятна постепенно образуется белая каемка. Локальный химический анализ этой каемки показал, что в ней преобладает оксид магния. Через один-два дня эта белая каемка рассасывается, а прожженный лазером лист, если он остается на живом растении, желтеет. Более того, далее желтеет не только облученный лист, но и весь поддерживающий его побег вместе с другими листьями. Такое поведение можно объяснить тем, что растение, получив от облучаемого листа сигнал о разрушении, забирает к себе магний как самый дефицитный компонент, необходимый для жизнедеятельности. А для страховки – не только магний от облученного листа, но и от его соседей.

Таким образом, живые растения могут служить не только источниками альтернативной экологически чистой электроэнергии, но и проявляют самообучающуюся «сознательную» деятельность. Это создает возможность формировать на основе живых растений или их компонентов модели мыслящих существ. Такое свойство растений представляет интерес для создания компьютеров нового типа, работающих не по фон-Неймановской схеме двоичного кода, а на принципах параллельного оперирования целыми понятиями, напоминающих работу мозга.



\*\*\*\*\*

## АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛИЗАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

*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-2019-10067**

В мировой практике восстановления деталей техники значительное распространение получила электродуговая металлизация (ЭМ), как один из самых технологичных, производительных, качественных методов металлопокрытий. Несмотря на обширный объем выполненных исследований по ЭМ, ее извечной проблемой, которая остается до конца нерешенной, является низкая адгезионная прочность.

Для решения данной проблемы предлагается использовать метод аэрозольного флюсования (АФ) при ЭМ. 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 адгезионной прочности электрометаллизационных покрытий (ЭМ-покрытий) применяли сварочную проволоку Св-08Г2С, а для приготовления аэрозоли использовали дистиллированную воду и флюс состоящий из кальцинированной соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , тетрафтората натрия  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  и криолита  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ . Покрытия наносили на сталь 18ХГТ. Для исследований были выбраны два флюса со следующим содержанием компонентов: флюс №1  $\text{CNa}_2\text{CO}_3=42$  г/л,  $\text{CNa}_3\text{AlF}_6=6$  г/л,  $\text{CNa}_2\text{B}_4\text{O}_7=12$  г/л и флюс №2  $\text{CNa}_2\text{CO}_3=42$  г/л,  $\text{CNa}_3\text{AlF}_6=6$  г/л,  $\text{CNa}_2\text{B}_4\text{O}_7=16$  г/л.

Адгезионную прочность нанесенных ЭМ-покрытий, определяли штифтовым методом. Суть метода заключается в определении величины разрушающего усилия при вытягивании штифта в направлении по нормали к его торцевой поверхности, на которую нанесено ЭМ-покрытие. Образец (рис. 1) состоит из штифта и шайбы с захватным устройством в виде отверстия.





\*\*\*\*\*

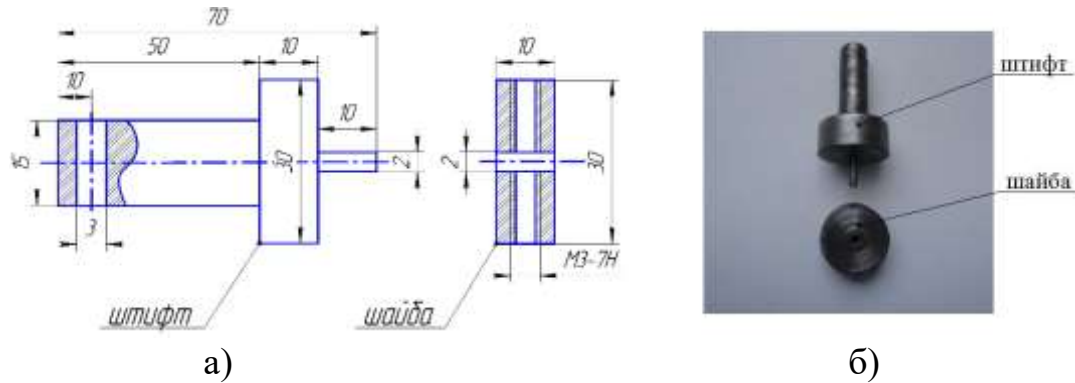


Рис. 1. Образец для исследования адгезионной прочности ЭМ-покрытий: а) схема; б) общий вид.

Штифт, в сборе с шайбой устанавливали в устройстве для закрепления образца и предварительно проводили струйно-корундовую обработку. ЭМ-покрытие наносили на рабочую поверхность образца при его равномерном перемещении вокруг своей оси (рис. 2).



Рис. 2. Образец (в сборе) для определения величины адгезионной прочности ЭМ-покрытия.

Сравнительный анализ полученной адгезионной прочности в зависимости от используемых флюсов и содержащихся в них компонентов (рис. 3) показал, что у ЭМ-покрытий, нанесенных с применением АФ (60...66 МПа), она в 2,1 – 2,2 раза выше, чем у аналогичных покрытий, полученных без АФ (30 МПа).



\*\*\*\*\*

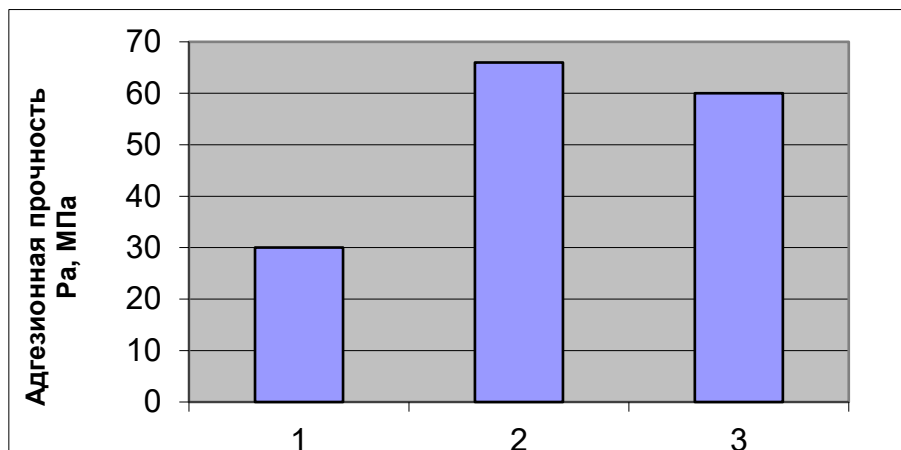


Рис. 3. Значения адгезионной прочности ЭМ-покрытий: 1 – Св-08Г2С (без АФ); 2 – Св-08Г2С + АФ (флюс №1); 3 – Св-08Г2С + АФ (флюс №2).

Повышение адгезионной прочности ЭМ-покрытий, полученных с применением АФ, объясняется раскисляющим действием углерода. Под действием высокой температуры электрической дуги происходит термическая диссоциация с выделением активных элементов с С, СО и последующий карботермический процесс, то есть происходит раскисление железа при расплавлении стальной проволоки в дуге металлизатора, в результате чего с подложкой контактирует более чистый диспергированный металл, что повышает прочность его сцепления с материалом основы.

Таким образом, данные исследований адгезионной прочности ЭМ-покрытий, подтверждают, что за счет применения АФ при ЭМ адгезионная прочность ЭМ-покрытий увеличивается. Наибольшее значение адгезионной прочности (66 МПа) получено на флюсе № 2.



\*\*\*\*\*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА 5БДСР

*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-2019-10068**

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 толщиной 10...150 мкм.

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

В данной работе исследуются ЭИП, нанесенные 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 наносились на подложку из стали 65Г ГОСТ 14959 электродами из сплава марки 5БДСР. При нанесении ЭИП из лент нанокристаллического сплава изготавливался сборный электрод. Подложка предварительно закаливалась токами высокой частоты, затем шлифовалась до достижения параметра шероховатости  $R_a \leq 0,32$  мкм.

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°, действие нагрузки - не менее 5 с.

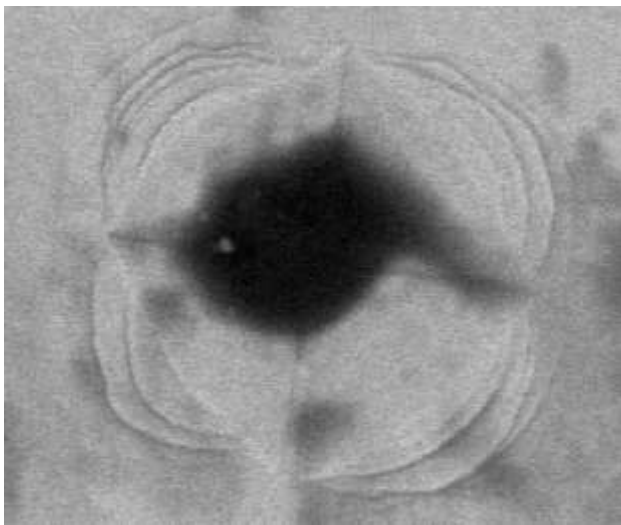
Исследования толщины ЭИП из сплава 5БДСР показали, что покрытие имеет сравнительно низкий порог хрупкого разрушения. Это можно объяснить термическими и усталостными напряжениями, которые усугубляются деформациями теплового расширения и напряжениями, возникшими в нем при



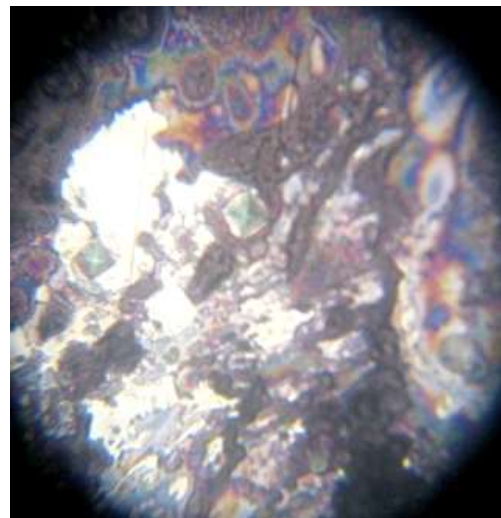
\*\*\*\*\*

переохлаждении расплава (жидкой фазы эродированного с электрода материала). Средняя толщина покрытий, получаемых при вышеуказанных режимах работы установки, составляет 32 мкм.

В результате проведенных исследований микротвердости было установлено, что на образцах с ЭИП встречается эффект вдавливания отпечатка и наблюдается незначительный разброс значений микротвердости (рис. 1). На гранях продавленных отпечатков встречаются радиальные трещины. Большинство отпечатков индентора имеют в своем основании характерную «корону», которая, по утверждению некоторых исследователей, определяется относительной величиной пластически деформированного объема. Этот факт позволяет утверждать, что исследуемые ЭИП пластичны и, в дальнейшем, для их последующей обработки возможно использовать процессы пластического деформирования. Появление трещин на гранях отпечатка индентора можно объяснить наличием в покрытиях отожженных зон, в которых произошел процесс релаксации из-за термоактивированной перестройкой атомов. Результаты исследований показывают, что в целом ЭИП, полученные электродами из сплава 5БДСР, обладают высокой микротвердостью, которая характерна материалам электродов. Микротвердость исследуемых ЭИП в среднем составляет 10147 МПа.



×4000



×500

Рис. 1. Отпечатки индентора в ЭИП из сплава марки 5БДСР.

Высокую микротвердость ЭИП можно объяснить присутствием большого количества атомов металлоидов и небольшого количества примесей атомов переходных металлов, которые при большой концентрации способны снизить интенсивность химических связей между металлоидами и атомами основного металла ЭИП. Таким образом, можно утверждать, что химический состав нанокристаллического сплава марки 5БДСР определяет наличие интенсивных химических связей, которые, в свою очередь, обеспечивают



\*\*\*\*\*

высокую микротвердость ЭИП. Обобщая изложенное, можно сделать вывод, что ЭИП, нанесенные электродом из сплава 5БДСР, удовлетворяют требованию повышения микротвердости по сравнению с материалом подложки (сталь 65Г ГОСТ 14959).



\*\*\*\*\*

## ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ КАРБОВИБРОДУГОВОМ УПРОЧНЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УГОЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДА

*Титов<sup>1</sup> Н.В. молодой ученый, Бажин<sup>2</sup> П.М., Столин<sup>2</sup> А.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-2019-10069**

Современным способом создания металлокерамических покрытий, позволяющим значительно повысить долговечность упрочняемых деталей, является карбовибродуговое упрочнение (КВДУ). При КВДУ на упрочняемую поверхность наносится многокомпонентная паста, содержащая металлическую матрицу, керамические компоненты и материал, активирующий процесс горения дуги (криолит). Высохшая паста расплавляется с использованием вибрирующего угольного электрода специальной установки. При горении электрической дуги на упрочняемой поверхности из компонентов пасты образуется композиционное металлокерамическое покрытие (МКП). Одновременно с формированием покрытия идет процесс диффузионного насыщения материала упрочняемой детали углеродом, выделяющимся при горении угольного электрода. В работе исследована возможность использования в составах паст для КВДУ матричных порошков на железной основе вместо традиционно применяемых никелевых. Методами сканирующей электронной микроскопии, рентгеноспектрального и рентгенофазового анализа исследованы микроструктура и фазовый состав получаемых МКП.

Многокомпонентную пасту для КВДУ готовили путем механического смешения порошка ПР-Х30СРНДЮ (60% по массе), карбида бора В<sub>4</sub>С (30% по массе) и криолита. Связующим веществом являлся 50% водный раствор клея ПВА. После приготовления пасту наносили на металлическую основу из стали 30ГР слоем толщиной 2,0...2,2 мм и высушивали до затвердевания. КВДУ осуществляли с использованием установки ВДГУ-2 на следующих режимах: сила тока – 70 А, частота и амплитуда вибрации угольного электрода – 25 Гц и 1,1 мм соответственно.

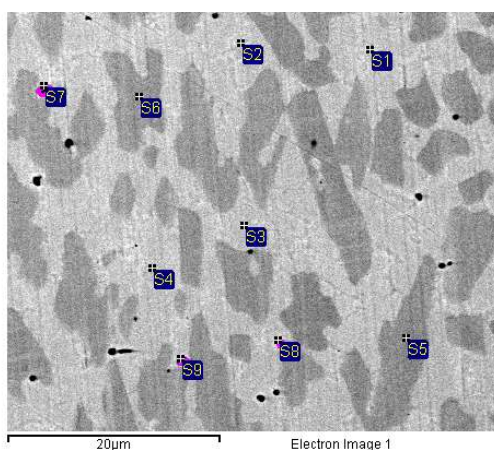
По результатам проведенных исследований установлено, что МКП, полученные при КВДУ с использованием матричного порошка ПР-Х30СРНДЮ на железной основе, имеют плотную и практически бездефектную структуру, с минимальным количеством пор. Это выгодно отличает их от покрытий,



\*\*\*\*\*

получаемых с использованием порошков на никелевой основе, содержащих значительное количество пор.

Основой МКП, полученного при КВДУ с использованием многокомпонентной пасты на железной основе, является твердый раствор хрома в железе  $Fe_4Cr$ , в котором содержится упрочняющая фаза  $Fe_{1,1}Cr_{0,9}V_{0,9}$  (рис. 1). Таким образом, сформированное покрытие может рассматриваться как композиционное. Упрочняющая фаза  $Fe_{1,1}Cr_{0,9}V_{0,9}$  (спектры S<sub>5</sub> и S<sub>6</sub> на рис. 1) представляет собой вытянутые столбчатые дендритные зерна размером до 30 мкм.



Спектры	Химические элементы						
	V	C	N	O	Cr	Mn	Fe
S1	–	5,96	–	–	3,24	1,57	89,24
S2	–	5,90	–	–	4,88	3,46	85,75
S3	–	6,81	–	1,42	15,34	2,18	74,26
S4	–	6,23	–	1,97	17,87	1,69	72,24
S5	4,74	2,69	–	–	14,18	1,31	77,08
S6	5,02	1,73	–	1,41	14,72	1,32	75,81
S7	–	30,70	–	–	6,74	1,11	61,44
S8	8,44	15,23	6,68	–	12,33	1,55	55,77
S9	–	18,24	–	–	9,90	2,07	69,80

Рис. 1. Микроструктура и рентгеноспектральный анализ МКП, полученного при КВДУ с использованием многокомпонентной пасты, содержащей порошок ПР-Х30СРНДЮ.

При удалении от поверхности покрытия и приближении к материалу основы упрочняющая фаза  $Fe_{1,1}Cr_{0,9}V_{0,9}$  меняет свою форму и становится более округлой, при этом ее размеры варьируются в диапазоне 4...8 мкм. Эти изменения связаны с тем, что при формировании МКП способом КВДУ имеет место значительный теплоотвод в основу, вследствие чего зарождающиеся зерна не успевают вырастать до значительных размеров и вытягиваться по вектору отвода теплоты.



\*\*\*\*\*

Между МКП и материалом основы присутствует переходная зона величиной 60...80 мкм, по структуре существенно отличающаяся от самого покрытия. В данной зоне покрытия отсутствуют упрочняющие фазы, она представляет собой только твердый раствор хрома в железе  $Fe_4Cr$ . Анализ концентрационных кривых распределения элементов в поперечном сечении МКП показывает, что оно имеет высокую прочности сцепления с материалом основы.





\*\*\*\*\*

## ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ И ЭКОЛОГИЧНОГО СЕПАРИРОВАНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Бетенина<sup>1</sup> Т.Д. школьница, Классен<sup>2</sup> Н.В.

<sup>1</sup>- Средняя школа № 3, Красноармейск

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

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10070

Экология нашей планеты сильно страдает от пластиковых отходов, которых накапливается все больше из-за их широкого применения в упаковках, одноразовой посуде, бытовых и промышленных устройствах и исключительно медленного разложения в обычных условиях (это занимает несколько сотен лет). Ежегодно в мире производится около 300 миллионов тонн пластика, из которых около восьми миллионов оказывается в океанах. Там появились целые острова из пластиковых упаковок и посуды. Вредные микрочастицы пластика заглатываются рыбами, а через них по пищевая цепочке попадают в организмы людей. Сжигание пластика создает опасные парниковые и отравляющие газы, а известные сейчас экологичные способы утилизации пластика требуют много энергии, производство которой тоже экологически вредно. Поэтому сейчас во многих странах директивными методами пластиковые упаковки заменяются на бумажные и картонные, т.к. их естественная утилизация происходит гораздо быстрее и не опасна для экологии. Но при этом необходимо учитывать отрицательные последствия расширения производства целлюлозы. При промышленных методах сепарирования целлюлозы древесная пульпа вываривается в растворах серной кислоты или щелока, испарения которых настолько вредны для живой природы, что у целлюлозно-бумажных комбинатов на несколько километров вокруг ничего не растет. Поэтому сейчас актуальны разработки экологически чистых и экономичных способов утилизации пластика и производства целлюлозы. Мы сейчас разрабатываем методики этого назначения, пользуясь результатами работ других школьников, которые докладывались и на молодежных конференциях в ИСМАНе. Школьница из Черногловки Яна Салганская обнаружила, что при облучении древесной пульпы маломощным лазером лигнин, связывающий целлюлозу, становится водорастворимым. Это приводит к сепарированию чистых волокон целлюлозы, а из лигнина, утилизация которого на ЦБК – большая проблема, при лазерной обработке образуется ванилин пищевой чистоты. Десятиклассник из Сергиева Посада Федор Щербинин при изучении паутины обнаружил, что ее волокна, которые в обычных условиях прочнее стали, под действием электрического поля растворяются в воде. Девятиклассник из Ногинска Аркадий Коломиец



\*\*\*\*\*

докладывал об экологичном получении электроэнергии от живых деревьев и освещения компонентов зеленой травы и листьев. Школьница из Сергиева Посада Арина Зыкова получала электричество из потоков растворов солей в растворах с помощью магнитов. Растворение лигнина в воде с помощью света объясняется разрывом электронных связей внутри молекул при поглощении фотонов. Такие же разрывы связей при освещении происходят и в синтетических полимерах – например, полиэтиленовая пленка на парниках или теплицах под солнечным освещением за два-три месяца лета разрушается. Растворение волокон паутины в воде под действием электрического поля можно объяснить тем, что полимеры составляющих ее белков становятся электрически полярными. А вода как сильно полярная жидкость неполярные вещества растворить не может, но полярные (например, сахарозу или глюкозу) растворяет довольно легко. На основе этих результатов мы разрабатываем две автономные макетных методики с использованием солнечного света и электрических воздействий – для экологичной утилизации пластика и экологичного сепарирования целлюлозы из древесных отходов (утилизация которых – серьезная забота и лесозаготовителей, и деревообрабатывающих комбинатов). Автономность этих методик обеспечивается тем, что они не требуют внешнего подвода электричества, т.к. оно может производиться непосредственно на месте тремя способами – солнечными батареями на зеленых компонентах растений, ветровыми колебаниями растений в лесу или поле и магнитогидродинамическим преобразованием энергии движения воды – в открытом море. В данный момент мы изучаем динамики разложения пластика и сепарирования целлюлозы от лигнина совместным действием электрического поля и света. На основе этих результатов будут получены технические и экономические характеристики двух указанных методик, главные достоинства которых – их полная экологическая безвредность и возможности применений как в лесу, так и в открытом море.



## ЦЕНТРОБЕЖНАЯ СВС-МЕТАЛЛУРГИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТА

*Захаров К.В. аспирант, Андреев Д.Е., Юхвид В.И., Хоменко Н.Ю.,  
Сачкова Н.В.*

*Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения  
РАН, Черноголовка, [zakharov@ism.ac.ru](mailto:zakharov@ism.ac.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10071**

Данная работа направлена на синтез методом центробежной СВС-металлургии литых легированных композиционных материалов на основе кобальта: твердых сплавов (Co – Cr – Ti – C и др.), жаропрочных сплавов (Co – Al – Mo и др.). Помимо решения фундаментальной проблемы, связанной с получением новых композиционных материалов на основе кобальта с уникальными свойствами, будет решена задача разработки основ высокотехнологичных, высокопроизводительных технологий производства. Разрабатываемые материалы могут быть использованы в металлообработке (штамповке), для решения задач аэрокосмического комплекса (тугоплавкие материалы).

Ранее авторы показали, что методы и подходы центробежной СВС-металлургии могут быть эффективно использованы для получения суперсплавов на основе никеля и титана, силицидов ниобия, а также твердых сплавов и функционально-градиентных материалов на основе карбидов титана и хрома. Было выявлено, что автоволновое (фронтальное) химическое превращение исходной смеси в конечные продукты происходит в волне горения. Целевым продуктом автоволнового синтеза является жаропрочный материал (ЖМ), а побочным продуктом является оксидная фаза (оксид металла восстановителя). Высокая температура горения приводит к газообразованию и диспергированию расплава при атмосферном давлении [1, 2]. Повышенное давление и центробежное воздействие позволяют подавить распространение, поэтому СВС-металлургия проводится в реакторах под давлением газа или, чаще всего, на центробежных установках. Оптимизация состава исходных смесей, уровень перегрузки позволили получить композитные материалы (КМ) с высоким уровнем свойств, необходимых для использования в промышленности.

На начальном этапе исследований были разработаны высокоэкзотермические смеси для синтеза материала и получения композиционных материалов на основе Co – Cr – Mo – Nb – Ti – C с дисперсно-дисперсионным упрочнением TiC / Ti + C соответственно. Были проведены эксперименты на центробежных установках, выявлено влияние скорости



\*\*\*\*\*

горения и перегрузки на формирование химического и фазового состава, макро- и микроструктуры литых продуктов сгорания.

Было обнаружено, что в случае дисперсного легирования готовым карбидом титана (TiC) скорость горения, температура горения и, как следствие, процент образования кермета, снижаются. В случае дисперсионного легирования (при вводе в экзотермическую смесь Ti и C), процесс горения смеси вместе с введёнными порошком титана (ПТМ) и сажей претерпевает следующие изменения: происходит образование субоксидов металлов и взаимодействие сажи с результатами разложения исходных оксидов; расширение пределов горения и разделения фаз.

#### Список литературы:

1. Alymov M.I., Yukhvid V.I., Andreev D.E., Sanin V.N. Chemical transformations of multicomponent thermite-type mixtures in combustion waves. *Doklady Physical Chemistry*. 2015, Vol. 460, Iss. 1, P. 6–9.
2. Andreev D.E., Yukhvid V.I., Ikornikov D.M., Sanin V.N., Ignat'eva T.I. Gravity Gravity-Assisted Metallothermic SHS of Titanium Aluminide with Al–Ca Mixture as a Reducing Agent. *Int. J. Self-Propagating High-Temperature Synth.* 2018, Vol. 27, Iss. 2, P. 89–91.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, 19-03-00088.*



\*\*\*\*\*

## **ЭФФЕКТИВНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ ХИМИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДА ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН САХАРНОЙ СВЕКЛЫ**

*Канаев А.Т., Баймырзаев К.М., Камбарова А. молодой ученый,  
Жакупжанова М., Сатымбеков Р.*

*Научно-исследовательский институт проблем биотехнологии  
Жетысуского государственного университета им. И.Жансугурова,  
Казахстан*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10072**

*Аннотация:* Важнейшей составной частью любой успешной программы получения устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур является разработка действенных средств защиты растений.

Использование пестицидов и химических методов контроля совершило революцию в сельском хозяйстве. Химические средства защиты привлекли внимание дешевой, разнообразием препаратов, а самое главное, высокой эффективностью. Токсичность некоторых пестицидов не вызывала особого беспокойства, и только чрезмерное насыщение среды пестицидами остро поставило вопрос об ограничении их использования и необходимости поиска альтернативных средств защиты растений. Так возникло новое направление - разработка микробиологических способов защиты растений от фитопатогенов. Приведены результаты исследований предпосевной обработки семян сахарной свеклы, обеспечивающих: повышение посевных качеств семян; стимулирование физиолого-биохимических процессов роста и развития проростков; снижение расхода посевного материала; повышение устойчивости проростков к патогенным микроорганизмам. Для предпосевной обработки семян сахарной свеклы были использованы водорастворимые пленкообразующие полимеры: карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ - 2%), поливиниловый спирт (ПВС - 3%) протравители Максим (2,5%, 5%) и Скор (2,5%, 5%). В опыте высевали гибрид Аксу - нормально-сахаристый гибрид КазСиб-14 в 9-ти вариантах протравливания.



\*\*\*\*\*



Рис.1. Сравнение показателей урожайности.

Сравнивая показатели урожайности за год исследований можно сделать вывод, что наибольшую урожайность имеют варианты протравливания Максимом, которые превышают варианты обработанных Скором по урожайностью в среднем на 4,3-5,8 т/га.

*Выводы:* Таким образом, в ходе проведенных нами исследований по изучению влияния предпосевной обработки семян на посевные качества, рост и развитие сахарной свеклы в условиях Юго-восточного региона Казахстана мы пришли к следующим выводам: варианты ПВС 3,0%, Максим 5,0%, Максим 2,5%, КМЦ 1,0%, Скор 2,5%, 5,0% обеспечивают повышение сахаристости по сравнению с другими вариантами капсулирования.

В целом выращивание сахарной свеклы в условиях Алматинской области является экономически выгодным и рентабельным, при этом протравливание семян Максимом способствует эффективной защите сахарной свеклы от почвообитающих вредителей, в результате чего формируется более равномерная расстановка растений в рядке и оптимальная густота насаждений к уборке.

В опыте высевали гибрид Аксу - нормально-сахаристый гибрид КазСиб-14 в 9-ти вариантах протравливания. Анализ полученных данных показывает, что наибольшую урожайность имеют варианты протравливания Максимом, которые превышают варианты обработанных Скором по урожайностью в среднем на 4,3-5,8 т/га. Исследованиями установлено, варианты ПВС 3%, Максим 5%, Максим 2,5%, КМЦ 1%, Скор 2,5%, 5% обеспечивают повышение сахаристости по сравнению с другими вариантами капсулирования.



\*\*\*\*\*

Список литературы:

1. Апасов И.В., Парфенов А.М., Безлер Н.В. Сортовой состав свеклы и его влияние на эффективность свеклосахарного производства. // Сахарная свекла. - 2004.- №1. - С. 2-4.
2. Гуреев И.И. Современные технологии возделывания и уборки сахарной свеклы. Практическое руководство -М.: Печатный Город, 2009.-224с.
3. Корниенко А.В., Парфенов А.М., Зенин Л.С. О внедрении научных достижений в практическое свекловодство // Сахарная свекла.- 2002.-№8.- С.8-10.
4. Кузнецов С.Ю. Сурков Н.А., Смуров С.И. Урожайность сортов и гибридов иностранно селекции в условиях Белгородской области // Сахарная свекла. - 2010. - №3. С.12-19.
5. Дворянкин Е.А. Влияние стимуляторов роста на развитие болезней сельскохозяйственных культур // Сахарная свекла, 2003, № 4. - С. 29-31.
6. Сапронов Н.М., Морозов А.Н., Цуканов В.Н., Куцакова В.Е., Мурашев С.В. Биостим-М для повышения продуктивности и технологических качеств корнеплодов // Сахарная свекла, 2005, № 6. - С. 27-28.



## DETERMINATION OF THE EFFECT OF COMMON BUNT INFECTION ON THE STABILITY OF WINTER WHEAT LINES FOR USE IN BREEDING PROGRAMS

A. Spabekova, A. Kanaev, A. Kambarova, M. Zhakupzhanova, R. Satimbekov

Research Institute of biotechnology problems, Zhetysu State University named after I. Zhansugurov, Republic Kazakhstan, 040009, c. Taldykorgan, Zhansugurova st., 187a. \*[kambarova.aigerim.zh@gmail.com](mailto:kambarova.aigerim.zh@gmail.com)

DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10073

**Abstract.** Common bunt (*Tilletia caries*) is a seed transmitted fungal disease in wheat. The resistance cultivars and lines of wheat should use to control this type of diseases in organic farming. A set of 75 wheat cultivars and lines from IWWIP of Turkey used. During the period 2016-2017, an experiment was carried out at the Kazakh Research Institute of Agriculture and Growing in an artificially inoculated nursery. The susceptible check, GEREK 79, had a high level of susceptibility to common bunt with 59.7% infected heads. The high mean disease incidence in the nursery was 74.4%. The sixteen genotypes were resistant to disease under artificial inoculation. The forty-two wheat genotypes (56% of all genotypes) expressed moderate resistance, which infected around 2.0-27.3% of ears. The wheat lines had different levels of agronomic traits under artificial inoculation of common bunt. The productivity of wheat genotypes under artificial infection ranged from 1.13 t/ha to 7.29 t/ha. The expected strong positive correlation was detected between the grain number and grain weight ( $r = 0.7$ ), between the grain weight and TKW ( $r = 0.75$ ) and the grain weight and total grain weight ( $r = 0.79$ ). The negative correlation was found between the bunted ears and all agronomic traits. Identified resistance genotypes will be useful for breeding programs to forming resistance cultivars to common bunt in Kazakhstan.

**Keywords:** wheat, wheat cultivars, wheat lines, common bunt, resistance, productivity.

### RESULTS AND DISCUSSION

Resistance to common bunt. A mixture of common bunt teliospores from races for field in southeast part of Kazakhstan induced a different reaction on wheat lines of International CBUNT Nursery. The winter susceptible check, GEREK 79, had a high level of susceptibility to common bunt with 59.7% infected heads (table 1). This high level of infection in the susceptible check on cultivar GEREK 79 confirmed that the common bunt infection was successful. Goates (1996) [3] suggested that common bunt resistance evaluation should be considered valid when a susceptible check had more than 50% infected heads. The two resistance winter genotypes, MUFITBEY and NACIBEY, had similar degrees of resistance with 10.1 and 2.0% infected heads, respectively. The high mean disease incidence in the nursery was 74.4%.





\*\*\*\*\*

## CONCLUSION

In conclusion, the common bunt infection was found to decrease the productivity and biological yield in the tested genotypes. Artificial inoculation tests for common bunt resistance showed that a large number of resistance genotypes is available in disease condition of southeast part of Kazakhstan. On base this study sixteen genotypes from the CBUNT Nursery of IWWIP can be considered as valuable resistance sources to common bunt. Identified resistance genotypes will be useful for breeding programs to forming resistance cultivars to common bunt in Kazakhstan.

## REFERENCES

1. Kokhmetova A., Sapakhova Z., Urazaliev R., Yessimbekova M., Yeleshev R., Morgounov A. Effect of spring biomass removal on expression of agronomic traits of winter wheat // World Applied Sciences Journal. 2014. N 30 (3). P. 322-329.
2. Munjal, R. L. Bunt disease of wheat // Sci. Rep. 1966. N 3. P. 33-36.
3. Bahadur P., Singh B.M. Hill bunt of wheat and its importance // Int. J. Trop. Plant Dis. 1987. N 5. P. 25-33.
4. Wilcoxson, R.D. and E.E. Saari (eds.). Bunt and smut diseases of wheat: concepts and methods of disease management. Mexico, D.F.: CIMMYT, 1996. P. 66.
5. Holton C.S. Host selectivity as a factor in the establishment of physiologic races of *Tilletia caries* and *T. foetida* produced by hybridization // Phytopathology. 1947. N 37. P. 817-821.



\*\*\*\*\*

## CHEMICALS AND THE STUDY OF MORPHOLOGY - BIOLOGY OF SEED GERMINATION HIEMS TRITICUM

*Akmullaeva A.S., Kanaev A.T., Baimyrzaev K.M., Askarbekova K.B.*

*Research Institute of Biotechnology Problems, Zhetysu State University named after I. Zhansugurova, Taldykorgan, Kazakhstan, [kenzhegul.askarbekova@mail.ru](mailto:kenzhegul.askarbekova@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10074**

Winter wheat (Hiems triticum) - Winter crops sown in autumn; before the onset of winter, they germinate, and in the spring they continue their life cycle and ripen somewhat earlier than spring crops - annual crops sown in the spring. Winter varieties, as a rule, give a higher yield (due to the use of moisture reserves in the soil in early spring), but they can be grown only in areas with high snow cover and mild winters. Winter plants have two stages of active vegetation separated in time: autumn (45-50 days) and spring-summer (from 75 days the next year). Between these periods, the seedlings spend the winter in a dormant state.

We set a goal: To study the morphology and biology of germination of seed material Hiems triticum.

The object of the study was the seed material of winter wheat., Collected in 2018. The study of germination and seed germination energy was carried out according to the guidelines of M.S. Zorina, S.P. Kabanova and M.V. Maltseva. When studying seed germination, the following phases were taken into account: pecking, emergence of the germinal root, removal of cotyledon leaves and their expansion, the appearance of the first pair of real leaves and their opening. In laboratory conditions, the seeds were germinated in Petri dishes on 2 layers of filter paper moistened with distilled water. Seed was germinated in the light and in the dark. The determination of the weight of 100 pieces of seeds was carried out in accordance with the method of S.S. Lischuk. The morphology of seeds and seedlings was examined using a microscope at a magnification of 10-40 times. Statistical processing of the results was carried out according to the method of N. L. Udolskaya.

Based on the studies of morphometric parameters and weight indicators of seeds of Niems triticum - winter wheat, which were collected in 2018, the stem is thin-walled, grains are glassy, mealy, the color can vary from white to dark brown. Seed length is 1-1.5 mm, width - 0.5 mm. The surface of the seed is smooth. Color from light brown to dark brown. Weight 100 pieces 4.24 g.

We have studied the biology of the germination of Hiems triticum in the light. Sticking of seeds was observed on the 2nd – 3rd day — on the narrowed part, a white germinal root 1 mm long with a well-defined root cover appeared. After 4 days, the length of the hypocotyl was 1.2 mm, up to 1 mm in diameter, the spine extends to 2.2



\*\*\*\*\*

mm. On the 4th day of germination, the light green hypocotyl lengthens to 1.5 mm, bends and makes cotyledonous leaves.

We also studied the biology of the germination of *Hiems triticum* in the dark. Seeding of seeds was observed on the 2nd – 3rd day — a white germinal root 1–1.5 mm long with a well-defined root cover appears on the narrowed part. After 4-5 days, the length of the hypocotyl is 3.5 mm, up to 1 mm in diameter, the spine extends to 5.5 mm. The light yellow hypocotyl lengthens, bends and tolerates cotyledon leaves.

Thus, the features of germination and germination of a winter wheat seed variety have been studied. It has been established that germination in wheat is aerial. Phases such as the appearance of the main root, exit and lengthening of the hypocotyl, removal and unfolding of the cotyledon, the appearance and disclosure of the first pair of true leaves are observed.



## МЕТОДЫ ХИМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОДУКТИВНОСТИ СОРТОВ СОИ

*Акмуллаева А.С., Канаев А.Т., Баймырзаев К.М., Ринар А.Р.*

*Жетысуский государственный университет им. И. Жансугурова, Научно –  
исследовательский институт проблем Биотехнологии, Талдыкорган,  
Казахстан, [almas.rinar.zhgu@mail.ru](mailto:almas.rinar.zhgu@mail.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10075**

Соя – самая распространенная зернобобовая культура мирового значения. В семенах сои содержится в среднем 36-42% полноценного белка, состоящего из глобулинов и небольшого количества альбуминов, 19-22% полувывсыхающего масла и до 30% углеводов. Белок характеризуется высокой усвояемостью, хорошей растворимостью в воде. В 1 кг. сои 320-450 грамм протеина, 21 грамм лизина, 4,8 грамм метионина, 5,3 грамм цистина и 4,9 грамм триптофана.

По химическому составу, соя превосходит пшеницу и рожь по содержанию моно и дисахаридов, витаминов В1 и В2, а также таких минеральных элементов, как Са, Fe, Mg, К. Биологическая ценность обезжиренной соевой муки равна 75% (гороховой 48%).

Интерес к сое как к сельскохозяйственной культуре многоплановый. С помощью сои в США и других развитых странах решена проблема продуктивности животноводства и птицеводства за счет введения ее в кормовой рацион. Продукты переработки сои используются в пищевой промышленности (молочные, хлебопекарные, кондитерские изделия); белок используют для получения искусственной шерсти, пластмассы, клея, чернил; масло применяют при изготовлении лаков, красок, мыла, дизельного топлива, лецитина, используют в медицинской, текстильной и других отраслях промышленности [1].

Медицинские исследования обнаружили у соевого белка активные лечебные и профилактические свойства. Соя, как и другие бобовые культуры, обладает ассимилировать азот из воздуха посредством симбиоза с клубеньковыми бактериями. В начальные фазы вегетации азотфиксация идет слабо, достигает максимума во время цветения и плодообразования, затем активность снижается по мере приближения растений к созреванию. Количество атмосферного азота, фиксируемого соей за вегетацию, составляет от 40 до 180 кг/га. Фиксируемый азот составляет примерно 60-65% от его общего количества в урожае сои. Интенсивность азотфиксации в посевах сои зависит от почвенно-климатических условий, уровня агротехники, а также от генетических особенностей сорта и штамма клубеньковых бактерий [2].



\*\*\*\*\*

Принимаются меры по повышению урожайности этой ценной культуры, расширению посевных площадей, сокращению потерь урожая. Общеизвестно, что среди зернобобовых культур соя отличается высоким содержанием важнейших питательных веществ. Семена ее содержат до 50% белка и 20% масла. Соя содержит также витамины и минеральные вещества. Все это позволяет использовать ее для пищевых, технических и кормовых целей.

В настоящее время в республике практически отсутствуют комплексные разработки по интегрированной защите масличных культур, что определяет новизну, оригинальность и перспективность данной работы.

В настоящее время с целью увеличения урожайности этой культуры, ведутся селекционные работы в ТОО «Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства», посевные площади которого сосредоточены в Алматинской области. В институте создано около 30 сортов сои, 17 – из которых допущены к использованию на территории Республики Казахстан. Здесь они проходят селекционный процесс по полной схеме с целью создания высокоурожайных сортов для данных зон возделывания. Получены перспективные сорта «*Ай Сауле*» и «*Жансая*».

Научно-исследовательская работа с соей заключается в проведении скрещиваний с последующим отбором линейного материала с нужными признаками. Качественные характеристики семян изучаются в лаборатории качества сельскохозяйственных культур КазНИИЗиР. В опытах по экологическому испытанию сортов учитываются урожай семян, содержание белка, высота растений, вегетационный период, устойчивость к вредителям и болезням, устойчивость к полеганию, осыпанию, дружность созревания. Полученный материал подвергается лабораторному, структурному анализу.

*Сорт «Жансая»* был выведен в ТОО «КазНИИЗиР» методом индивидуального отбора из сорта «*Dekabig*».

*Качественные характеристики:*

- Относится к группе среднеспелых (II группа спелости), вегетационный период в Алматинской области 120-125 суток;
- Урожайность зерна 45-47 ц/га;
- Содержание белка в зерне 40-41%;
- Содержание масла 19%;

*Сорт допущен к использованию в Алматинской области с 2012 года.*

*Сорт «Ай Сауле»* выведен в ТОО «КазНИИЗиР» методом индивидуального отбора из гибридной популяции с применением методов биохимического, фитопатологического и генетического анализа.

*Качественные характеристики:*

- Относится к группе среднеспелых (II группа спелости), вегетационный период в Алматинской области 135-145 суток;
- Урожайность зерна 45,7 ц/га;
- Содержание белка в зерне 38,7%;



\*\*\*\*\*

- Содержание масла 23,4%;

*Сорт допущен к использованию в Алматинской области с 2019 года.*

В этой связи разработка и внедрение интегрированной системы защиты посевов сои от сорной растительности является актуальной и насущной проблемой в устойчивом развитии земледелия и растениеводства республики.



\*\*\*\*\*

## **ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ МЕТОДАМИ СВС- МЕТАЛЛУРГИИ**

***Икорников Д.М. молодой ученый, Санин В.Н., Андреев Д.Е., Юхвид В.И.***

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
структурной макрокинетике и проблем материаловедения  
им. А.Г. Мержанова Российской академии наук (ИСМАН), Черноголовка,  
[denis-ikornikov@yandex.ru](mailto:denis-ikornikov@yandex.ru)*

**DOI: 10.24411/9999-004A-2019-10076**

Ежегодно в мире образуется около 3,5 млрд тонн отходов, из которых примерно две трети создают промышленные предприятия. В России перерабатывается всего около 20% техногенных отходов, тогда как в мире этот показатель достигает 85-90%.

Для металлургии эта проблема особенно характерна. «Производство тонны черного металла сопровождается получением от 5 до 17 тонн отходов, а цветных и благородных - до 100 тонн и более». По оценке Уральского института металлов и ЦНИИ Цветмет, на металлургических предприятиях России, в отвалах и шламохранилищах скопилось более миллиарда тонн отходов, из которых свыше 506 млн тонн накопившиеся отходы предприятий черной металлургии, более 800 млн тонн — цветной. По запасам накопившиеся отвалы становятся соизмеримы с небольшими месторождениями.

В условиях, когда эксплуатируемые запасы минерального сырья истощаются, а новые месторождения, как правило, более бедны и не имеют транспортной и энергетической инфраструктуры, вопрос повторного использования отходов все более актуален. Техногенные образования располагаются на относительно небольших территориях, находящихся в промышленно развитых районах с наличием рабочей силы и уже апробированные новые технологические приемы переработки техногенных отходов металлургических предприятий (ТОМП) показывают, что во многих случаях технологии затраты на организацию разработки здесь значительно ниже, чем при разработке природных месторождений.

При производстве металлопроката при повышенных температурах неизбежно образуется окалина. Окалина представляет собой продукт окисления железа [1,2]. Согласно исследованиям, в окалине содержится от 55 до 80% FeO и от 20 до 50% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, что соответствует содержанию 66-69% чистого железа в окалине. На многих предприятиях окалина складывается в виде отвалов, что закономерно вызывает внимание со стороны экологов. Окалина является



\*\*\*\*\*

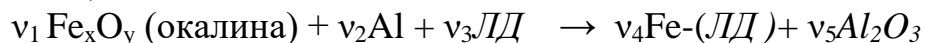
техногенными отходами и в настоящее время на крупных промышленных предприятиях РФ шламонакопители крупнейших заводов содержат сотни тысяч тонн окалины. Примером могут служить Златоустовский металлургический и Челябинский трубопрокатный заводы, на которых образуется около 5 тыс. т в год таких отходов, а на Челябинском металлургическом комбинате – свыше 50 тыс. т. Окалина прокатного производства, запасы которой только на металлургических предприятиях Урала оцениваются в 30 млн т, может стать источником сырья. Содержание железа в окалине – около 70%, что гораздо выше, чем в руде или железорудном концентрате.

Использование техногенных отходов могут быть сырьем для получения многих практически ценных металлических и металлокерамических материалов. Одним из таких продуктов является ферросплавы. Раскисление стали при помощи ферросплавов необходимо для связывания и вывода в шлак кислорода из общей массы.

Таким образом разработка новых энерго- и ресурсосберегающих технологических решений, направленных на получение массово-востребованных ферросплавов путем переработки накопившихся и постоянно пополняемых техногенных отходов металлургического производства (окалины) является актуальным как с точки зрения утилизации промышленных отходов так и с практической стороны, для снижения энергозатрат и себестоимости металлических материалов в целом.

В рамках выполнения научно-исследовательских работ, будут представлены некоторые результаты исследований направленных на разработку химико-технологических основ переработки отходов металлургического производства (окалины) для получения коммерчески-востребованной продукции (комплексно- легированных ферросплавов) методами СВС-металлургии [3,4], одним из самых ресурсосберегающих методов получения литых материалов.

В общем виде химическую схему синтеза литых ферросплавов методом СВС-металлургии с использованием металлургических отходов (окалины) можно представить, как:



где ЛД- легирующие добавки (Si, SiO<sub>2</sub>, В, В<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.и др.)

Синтез комплексно-легированных ферросплавов (с контролируемым уровнем легирования и составом компонентов) проводился с участием различных активных компонентов (ЛД), вводимых непосредственно в исходные экзотермические составы.

Для осуществления запланированных исследований были получены техногенные отходы с двух различных металлургических предприятий, т.к. в зависимости от технологических операций при обработке металлопродукции соотношения оксидов в окалине (FeO-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) может изменяться.

Окалина в исходном состоянии имела размер частиц от 2 до 15 мм. Для использования окалины в качестве исходного реагента ее предварительно





\*\*\*\*\*

подвергали термообработке в течении часа при температуре 400 С. После предварительной термообработки для удаления органических примесей окалина дробилась до размера частиц <200 мкм.

Эксперименты по синтезу сплавов были проведены на центробежных СВС-установках под воздействием перегрузки от 10 до 500g, которая в свою очередь является мощным инструментом управления процессами горения и формирования продуктов синтеза. Воздействие перегрузки на стадии горения позволило подавить разброс продуктов синтеза в процессе горения (для высокоэкзотермических составов), реализовать интенсивное перемешивание всех компонентов вблизи фронта горения, увеличить конверсию (глубины реагирования) исходной смеси во фронте горения и существенно расширить пределы горения (для низко экзотермических составов). На стадии гравитационной сепарации и охлаждения перегрузка позволила реализовать высокий выход металлической фазы в слиток, удалить газообразные продукты, получить слитки литых ферросплавов с равномерным распределением компонентов по объёму слитка.

Синтез комплексно-легированных ферросплавов был проведен в режиме фронтального горения исходных составов с участием различных активных компонентов, вводимых непосредственно в исходные экзотермические составы. Основные данные по определению оптимальных химических и технологических условий для синтеза литых ферросплавов в системах Fe-Si-Al, Fe-Si-Al (Cr, Mn), Fe-Si-Al-B будут представлены в докладе. На рис. 1 представлена микроструктура и состав ферросиликоалюминия полученного методом СВС путем переработки металлургической окалины.

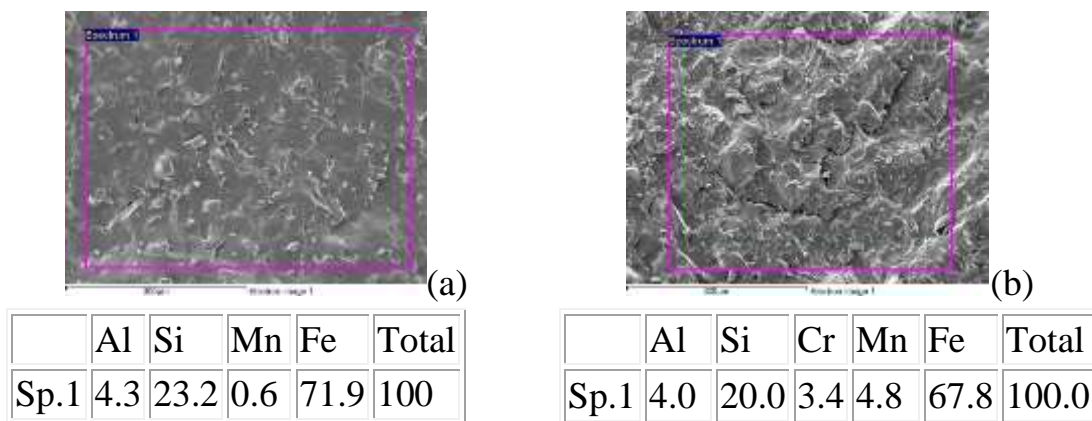


Рис.1. Микроструктура (скол) и микроанализ химического состава (EDS) синтезированных литых ферросплавов: (a) - Fe-Si-Al, (b) - Fe-Si-Al (Cr, Mn)

Список литературы:

1. Северденко В.П., Макушок Е.М., Раввин А.И. Окалина при горячей обработке металлов давлением. М.: Металлургия, 1977. 208с



\*\*\*\*\*

2. V. I. Shatokha, O. O. Gogenko, S. M. Kripak, "Utilising of the oiled rolling mills scale in iron ore sintering process", Res. Cons. and Recyc., Vol. 55, 2011, pp. 435-440.
3. Sanin, V.N., Ikornikov, D.M., Andreev, D.E., and Yuxhvid, V.I., Centrifugal SHS metallurgy of nickel aluminide based eutectic alloys, Russ. J. Non-Ferr. Metall., 2014, vol. 55, no. 6, pp. 613–619. doi 10.3103/S1067821214060212
4. V. Sanin, D. Andreev, D. Ikornikov and V. Yuxhvid, "Cast Intermetallic Alloys and Composites Based on Them by Combined Centrifugal Casting—SHS Process," Open Journal of Metal, Vol. 3 No. 2B, 2013, pp. 12-24. doi: 10.4236/ojmetal.2013.32A2003.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований РАН по приоритетным направлениям (КП 15).*



\*\*\*\*\*

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Ф.И.О. участника	Номер страницы	Ф.И.О. участника	Номер страницы
Абзалов Н.И.	41	Малахов А.Ю.	90, 92
Аверичев О.А.	112	Маматказин Т.Р.	137
Aktullaeva A.S.	210	Махонина Ю.В.	130
Ахметова Э.З.	173	Минеханова А.Ф.	55
Баймырзаев К.М.	212	Михеев М.В.	38
Балусов И.С.	99	Моисеев Н.В.	94
Беличко Д.Р.	97	Мордасов М.Д.	139
Бетенина Т.Д.	201	Мордасова Н.А.	142
Богданова Е.С.	125	Нагимов Р.Ш.	186
Болоцкая А.В.	35	Николаев А.А.	115
Бурова Д.Н.	134	Падерин С.Н.	28
Винокуров С.А.	160	Первухина О.Л.	22
Волонова А.Е.	110	Переверзева С.Ю.	53
Галиев Ф.Ф.	102	Пермикин А.А.	77
Дударев В.А.	17	Петренко В.И.	145
Жидович А.О.	154	Покидов А.П.	181
Захаров К.В.	203	Прилипко С.Ю.	50
Зюбанова В.И.	44	Прокопец А.Д.	32
Зюкин И.В.	69	Рожин П.И.	147
Иванов И.М.	156	Санин В.В.	85
Измалков А.А.	192	Саркисов В.В.	65
Икорников Д.М.	215	R. Satimbekov	208
Камбарова А.	205	Серопян С.А.	108
Канаев А.Т.	121	Ноняк Д.В.	63
Карпов С.В.	29	Остроухов Д.В.	60
Киселева Н.Н.	13	Тагиров М.И.	116
Классен Е.Н.	179	Терещенко А.Н.	184
Коломиец А.А.	162, 189	Титов Н.В.	198
Константинов А.С.	72	Турганов З.Т.	123
Королева И.Л.	166	Уварова И.А.	80
Кошкин В.А.	187	Фрейман В.М.	74
Кузнецов И.С.	195	Цветков М.В.	105
Лебедев Е.А.	67	Цветкова Ю.Ю.	83
Липунов В.Н.	47	Чижиков А.П.	31, 165
Лоскутова А.Д.	168	Щербакова В.Б.	58
Лутовинова Т.А.	127	Щербинин Ф.С.	176
Макарчук А.П.	171		