

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Г.Р. ДЕРЖАВИНА

# СБОРНИК ТЕЗИСОВ

IV ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС  
НАУЧНЫХ ДОКЛАДОВ СТУДЕНТОВ

-----  
«ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ:  
РАЗРАБОТКА, ИССЛЕДОВАНИЕ, ПРИМЕНЕНИЕ»

23-24 мая 2017 г.  
Томск-Тамбов



УДК 620.22(063)

ББК 30.3л0

Ф948

**Функциональные материалы: разработка, исследование, применение:** сборник тезисов докладов IV Всероссийского конкурса научных докладов студентов, 23-24 мая 2017 г. / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017, 73 с.

В сборнике представлены тезисы реферативных, аналитических, научно-исследовательских работ участников IV Всероссийского конкурса научных докладов студентов «Функциональные материалы: разработка, исследование, применение» в области получения и исследования функциональных материалов различного назначения, включая керамические, металлические, углеродные, композитные, полимерные материалы, методы исследования их свойств и изготовления функциональных материалов, а также применение функциональных материалов в строительстве, медицине, экологии, металлургии, машиностроении, катализе и др.

УДК 620.22(063)

ББК 30.3л0

Редакционная коллегия

Годымчук А.Ю., кандидат технических наук, ведущий эксперт НИТУ «МИСиС»

Каракчиева Н.И., кандидат химических наук, старший научный сотрудник Томского государственного университета

Гусев А.А., доктор биологических наук, директор НИИ экологии и биотехнологии Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2017

© Авторы, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>СЕКЦИЯ 1 «НАНОМАТЕРИАЛЫ» .....</b>	<b>2</b>
<b>СЕКЦИЯ 2 «МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ».....</b>	<b>24</b>
<b>СЕКЦИЯ 3 «МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ И ЭКОЛОГИИ» .....</b>	<b>34</b>
<b>СЕКЦИЯ 4 «МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ».....</b>	<b>49</b>

## Секция 1 «Наноматериалы»

### ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ КЕРАМИКИ SiC ПРИ ЭЛЕКТРОННО- ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКЕ

Кузичкин Е.Е.

Томский политехнический университет

E-mail: saybot92@mail.ru

Научный руководитель: Иванов Ю.Ф.,  
д.т.н., профессор Томского политехнического университета, г.Томск

В последнее время активно ведутся работы по изменению свойств поверхностных слоев материала при воздействии сильнофокусированного импульсного пучка низкоэнергетических электронов для создания субмикронного и нанокристаллического состояния с целью повышения эксплуатационных характеристик [1-3]. В работе проведено исследование структурных и фазовых изменений поверхностного слоя керамики из карбида кремния при воздействии СИПНЭ с параметрами пучка: энергия ускоренных электронов 18 кэВ, длительность импульса 200 нс, плотность энергии в пучке: 10, 15, 20 Дж/см<sup>2</sup> количество импульсов 3. Облучение проводилось на установке SOLO (ИСЭ СО РАН, г.Томск). Для исследований использовались образцы SiC с 3 масс.% добавкой нанопорошка этого же состава были получены SPS-методом. Методами сканирующей и просвечивающей микроскопии, а также рентгеноструктурного анализа проведены исследования структуры, фазового состава и субструктуры до и после электронной обработки с плотностью энергии пучка: 10, 15, 20 Дж/см<sup>2</sup>. Показано, что электронно-пучковая обработка поверхностного слоя приводит к изменениям в политипном составе, зависящим от плотности энергии пучка электронов. Это позволит целенаправленно варьировать в широких пределах политипный состав поверхностного слоя и, следовательно, его свойства. Выявлено появление наноструктурированного поверхностного слоя (появление наноструктурированных слоев и протяженных прослоек вдоль границ кристаллитов) при плотности энергии пучка электронов 10 и 15 Дж/см<sup>2</sup>.

### Литература

1. Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф. Изв. Вузов, Физика, 2008, 5, 60-70.
2. Псахье С.Г. и др. Изв. вузов, Физика, 2013, 56, 283-291.
3. Бурдовицин В.А. и др. Журнал технической физики, 2013, 83(1).

## ФОТОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ СУЛЬФАТА БАРИЯ

Попова Е.А.

Томский политехнический университет

E-mail: eap34@tpu.ru

Научный руководитель: Егоров Н.Б.,  
к.х.н., доцент Томского политехнического университета, г.Томск

Для удаления радия из водных растворов солей редкоземельных элементов (РЗЭ) используется его способность соосаждаться с сульфатом бария ( $BaSO_4$ ). Для синтеза  $BaSO_4$  в растворе РЗЭ используется химический метод, заключающийся в добавлении к водному раствору, содержащему ионы бария серной кислоты или сульфата натрия. Для полной дезактивации в раствор РЗЭ необходимо добавлять избыток сульфат-ионов, что приводит к частичному осаждению из раствора РЗЭ и их потере в виде двойных сульфатов (иногда до 60 %).

Для понижения концентрации сульфат-ионов в растворе можно использовать метод возникающего реагента, при котором  $BaSO_4$  возникает при УФ-облучении водных растворов тиосульфата бария ( $BaS_2O_3$ ). Преимуществом данного метода является использование небольших концентраций осадителя, равномерно распределенного в объеме раствора и приводящего к гомогенному осаждению радия в виде хорошо фильтрующегося изоморфного осадка  $Ba(Ra)SO_4$ .

Облучение водных растворов  $BaS_2O_3$  с концентрацией  $7,5 \times 10^{-3}$  моль/л приводит к выделению из объема фотолита коллоида (конус Тиндаля), имеющего в электронных спектрах поглощения максимум при 315 нм. Со временем коллоид разрушается с выделением осадка, идентифицируемого как  $BaSO_4$  (PDF 01-072-1390).

Размеры и морфология полученного фотохимическим способом  $BaSO_4$  была изучена методами электронной спектроскопии высокого разрешения и лазерной дифракции, которые показали, что в начальный момент времени (~1,5 мин) происходит формирование коллоидных пленок, имеющих неправильную форму и размеры ~100 нм. С увеличением времени фотолиза до 40 мин образуются агрегаты размером от 0,5 до 3 мкм с удельной поверхностью  $2,72 \pm 0,03$  м<sup>2</sup>/г. Исследование полученного  $BaSO_4$  методом электронного парамагнитного резонанса показало наличие в нем парамагнитных частиц – ион-радикалов  $SO_2^-$  с g-фактором, равным 2,0055.

*Результаты электронной микроскопии и удельной поверхности наночастиц  $BaSO_4$  получены на оборудовании научно-образовательного инновационного центра Томского политехнического университета «Наноматериалы и нанотехнологии».*

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ДИОКСИДЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ

Ащепкова А.С.

Томский политехнический университет

E-mail: a.asherpkova@yandex.ru

Научный руководитель: Иванов Ю.Ф.,

д.т.н., профессор Томского политехнического университета, г.Томск

Изучено действие сильнофокусированного импульсного пучка низкоэнергетических электронов (СИПНЭ) на структуру и физико-механические свойства диоксидциркониевой керамики, стабилизированной оксидом иттрия ( $ZrO_2+Y_2O_3$ ), с предварительно нанесенной на ее поверхность пленкой титана. Цель работы – изучение формирования в керамических материалах приповерхностных слоев с измененными физико-механическими свойствами.

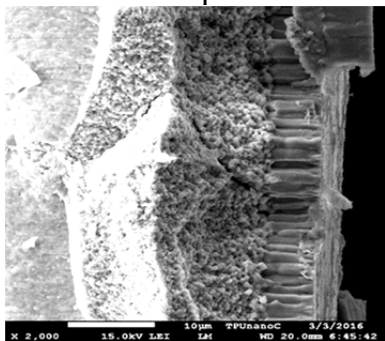


Рис. СЭМ-изображение скола

Образцы (таблетки диаметром  $\approx 12$  мм, высотой  $\approx 2$  мм) изготавливали из субмикронного порошка диоксида циркония  $ZrO_2-Y_2O_3$  с добавкой 10 мол. % наноструктурированного порошка  $Y_2O_3$  спеканием в плазме искрового разряда на установке S515 (SPS Syntex, Япония).

На полированную поверхность образцов термическим испарением наносили плёнку титана 0,5 мкм. Облучение системы «пленка (титан) / (YSZ керамика) подложка» осуществляли СИПНЭ на установке «СОЛО» (ИСЭ СО РАН); плотность энергии пучка электронов  $E = 15$  Дж/см<sup>2</sup>, частота следования импульсов  $0,3$  с<sup>-1</sup>, число импульсов 3, длительность импульса 200 мкс, энергия электронов 16 кэВ [1,2]. В модифицированной пучком области размер и форма зёрен изменяется (рис.). Зёрна вытягиваются в направлении действия пучка и приобретают колоннообразную форму длиной до 7 мкм, приводят к изменению твёрдости и вязкости разрушения образцов. Изображение поперечного скола образца получены методом СЭМ (сканирующая электронная микроскопия). Колоннообразные формы зёрен при электронном облучении наблюдали в работе [3]. Итак, в работе установлено, что электронная обработка вызывает изменение микроструктуры в приповерхностной области керамики.

### Литература

1. Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф. Изв. вузов. Физика, 2008, 5, 60-70.
2. Бурдовицин В.А. и др. Журнал технической физики, 2013, 83(1), 117.
3. Суржиков А.П. и др. Письма в ЖТФ, 40, 2014(17), 78-85.

## **ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НАНОПОРОШКАМИ Fe, Ni И ЭНЕРГО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ПОВЕДЕНИЕ ИСКРОВО-ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ W**

**Нгуен В.М., Танг С.З.**

Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»

E-mail: chinhnhan88@gmail.com, duongvampire@mail.ru

Научный руководитель: Конюхов Ю.В.,  
к.т.н., доцент Национального исследовательского технологического  
университета «МИСиС», г. Москва

Использование наночастиц (НЧ) металлов является эффективным методом для активирования процессов спекания различных порошковых материалов. НЧ обладают повышенной диффузионной активностью благодаря значительной доли поверхностных атомов [1], и их поведение при спекании отличается от крупнозернистых порошков [2]. В работе проведено исследование влияния модифицирования нанопорошками (НП) Fe, Ni и энерго-механической обработки (ЭМО) на поведение искрово-плазменного спекания (ИПС) материалов на основе W.

В работе было изучено влияние добавок 0,5 масс.% НП Fe, Ni размером 94, 92 нм, соответственно, на процесс ИПС микронного порошка W марки ПВН ТУ48-19-72-92. НП W также был использован для сравнения. Смешивание микронного порошка W с добавками НЧ металлов осуществляется в турбулентном смесителе и методом ЭМО в вихревом слое ферромагнитных тел.

Показано, что модифицирование микронного W нанопорошками Fe и Ni позволяет снизить температуру его спекания до 1600 и 1400 °С за счет механизма зернограничного проскальзывания микронных частиц основы, обеспечивает высокую плотность и компактную структуру полученных образцов. ЭМО образцов W в вихревом слое ферромагнитных тел за 5 минут позволяет повысить степень гомогенизации полидисперсных порошковых шихт, способствует образованию неравновесных пересыщенных твердых растворов за счет деформационного растворения, что приводит к снижению температуры спекания на 200 °С по сравнению с образцами без ЭМО.

### **Литература**

1. Bhushan B. Springer Handbook of Nanotechnology, 3<sup>rd</sup> ed. Springer-Verlag, Heidelberg, 2010, 1964.
2. Wang H., et al. Int. J. Refract. Metals Hard Mater, 2010, 28, 312.

## СОЗДАНИЕ ЗАЩИТНЫХ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ AL-SI-N ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Калиева Р.А.

Томский политехнический университет

E-mail: keshrim95@gmail.com

Научный руководитель: Божко И.А.,  
к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Института физики прочности и  
материаловедения СО РАН, г.Томск

Активное освоение космоса и необходимость разработки космических аппаратов (КА), способных работать в экстремальных условиях космического пространства, требует разработки новых функциональных материалов и технологий их получения. К числу важнейших факторов, способных вызывать эрозию поверхности и местные разрушения, относятся столкновения КА с микрометеороидами. Наиболее от ударов микрометеороидов страдают различные оптические элементы КА [1]. Одним из способов решения данной проблемы может стать нанесение на оптические детали КА защитных покрытий системы Al-Si-N [2]. Целью данной работы являлось исследование структурно-фазового состояния и физико-механических свойств магнетронных покрытий системы Al-Si-N толщиной от 1 до 10 мкм, а также оценка их стойкости к ударному воздействию микрочастиц Fe, движущихся со скоростью 5–8 км/с.

Методами рентгеноструктурного анализа и просвечивающей электронной микроскопии показано, что полученные покрытия Al-Si-N различной толщины имеют аморфно-кристаллическую структуру и содержат фазы AlN (ГПУ) и  $\alpha$ -S<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Нанесение покрытий Al-Si-N позволяет не только увеличить нанотвердость поверхностного слоя кварцевого стекла до 29 ГПа, но и сохранить высокий уровень упругих свойств ( $W_e > 0.70$ ). Исследование процессов кратерообразования на поверхности исследуемых образцов в результате бомбардировки их микрочастицами Fe показали, что увеличение толщины формируемых покрытий Al-Si-N от 1 мкм до 10 мкм позволяет уменьшить поверхностную плотность кратеров для кварцевого стекла в 4 раза [3].

### Литература

1. Drolshagen G. *Advances in Space Research*, 2008, 41, 1123-1131.
2. Liu H., et al. *Thin Solid Films*, 2009, 517, 5988-5993.
3. Bozhko I.A., et al. *AIP Conference Proceedings*, 2016, 1783, 020018.



## **СЛАБОЕ ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОСТИ НА ДИСПЕРСНОСТЬ НИКЕЛЕВЫХ НАНОЧАСТИЦ**

**Карепина Е.Е.**

Томский политехнический университет

E-mail: karerina\_ee@mail.ru

Научный руководитель: Годымчук А.Ю.,  
к.т.н., доцент Томского политехнического университета, г.Томск

Размер наночастиц является определяющим фактором в современной нано(эко)токсикологии. В литературе накоплено большое количество данных относительно изменения размера частиц в различных условиях (кислотность, соленость или концентрация наночастиц и др.) [1,2]. Однако, ввиду уникальности свойств каждой отдельно взятых наночастиц, частицы разного состава требуют индивидуального изучения. В настоящей работе изучено влияние величины рН дисперсионной среды на дисперсность водных суспензий нанопорошка никеля с помощью лазерной дифракции (ЛД, концентрация частиц 200 мг/л), динамического рассеяния света (ДРС, 2 мг/л) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (МСИСП, 0,02 мг/л).

Продемонстрировано, что для всех суспензий при рН=4...9 характерно мономодальное распределение, а средний размер частиц составляет 220 нм ...46 мкм, 106 ... 936 нм, и 43...532 нм для 200, 2 и 0,02 мг/л суспензии, соответственно. Показано, что чем выше концентрация наночастиц в суспензии, тем ниже влияние рН: например, при отклонении от нейтральной рН средний размер частиц незначительно уменьшается не более 4 % при концентрации 200 мг/л, а при разбавлении суспензии в 100 раз изменение размера составляет 12 %. Для суспензии, изучаемой МСИСП, значение отклонения не превышает 10 %. Установлено смещение моды и изменение формы распределения частиц. В целом, при увеличении рН основной пик распределения смещается вправо в область больших размеров, в тоже время само распределение становится более пологим, с неявно выраженной модой.

Таким образом, в работе показано слабое влияние величины рН на величину среднего размера никелевых наночастиц, но для суспензий характерно изменение дисперсионного состава за счет увеличения числа крупных частиц при переходе в область оснований.

### **Литература**

1. Lewinski N., et al. Cytotoxicity of Nanoparticles, 2008, 4(1), 26-49.
2. Godymchuk A., et al. Journal of Nanoparticles Research, 2015, 1, 1-8.

## СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ $ZrW_{2-x}Mo_xO_8$ ( $0 \leq x \leq 2$ ) ДЛЯ СОЗДАНИЯ КЕРАМИКИ С ЗАДАНЫМ ТЕПЛОВЫМ РАСШИРЕНИЕМ.

Петрушина М.Ю.

Новосибирский государственный университет

E-mail: mapet1003@mail.ru

Научный руководитель: Губанов А.И.,  
к.х.н., старший научный сотрудник Института неорганической химии  
имени А.В. Николаева СО РАН, г. Новосибирск

Материалы, обладающие отрицательным тепловым расширением (сжимающиеся при нагревании), являются привлекательными как с научной точки зрения, так и в плане практического применения [1,2]. Основное применение подобные материалы находят в технологии создания композитов с заданным коэффициентом теплового расширения (КТР) для оптико-механической, космической, электронной и нефтегазовой промышленности. Одним из наиболее перспективных материалов с отрицательным КТР является семейство  $ZrW_{2-x}Mo_xO_8$  ( $0 \leq x \leq 2$ ). Традиционно такие материалы получают методом совместного осаждения из растворов, содержащих Zr, W и Mo. Данный метод имеет ряд недостатков: время синтеза (более 10 дней), агломерация частиц [3].

В рамках данной работы были получены твердые растворы  $ZrW_{2-x}Mo_xO_8$  ( $0 \leq x \leq 2$ ) наиболее эффективным гидротермальным методом с использованием автоклавного оборудования. Методами высокотемпературного *in situ* рентгенофазового анализа, дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрического анализа (ТГ) были определены составы твердого раствора  $ZrW_{2-x}Mo_xO_8$  ( $0 \leq x \leq 2$ ) с наилучшими дилатометрическими характеристиками.

Так же была получена совокупность данных о фазовом составе, структуре и тепловых свойствах керамических материалов на основе  $ZrW_{2-x}Mo_xO_8$  ( $x=0$ ), полученных методом горячего прессования. Установлена зависимость изменения состава, структуры и свойств керамики от режима спекания, и концентрации  $ZrW_{2-x}Mo_xO_8$  ( $x=0$ ).

### Литература

1. Sleight A.W., Inorganic Chemistry, 1998, 37(12), 2854-2860.
2. Evans J.S.O., et al. J. of the Chemical Society, Dalton Transactions, 1999, 19, 3317-3326.
3. Closmann C., et al. J. of Solid State Chemistry, 1998, 139(2), 424-426.

## **Pd/C КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ: ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ**

**Фаддеев Н.А.**

Южно-Российский государственный политехнический университет  
имени М.И. Платова (НПИ)  
E-mail: nikita.faddeev@yandex.ru

Научный руководитель: Куриганова А.Б.,  
к.т.н., доцент Южно-Российского государственного политехнического  
университета имени М.И. Платова (НПИ), г. Новочеркасск

Перспективным катализатором процессов, протекающих в топливных элементах с прямым окислением жидкого топлива, является Pd, так как он имеет высокую электрокаталитическую активность, сравнимую с Pt в реакции электрохимического окисления этанола в щелочной среде [1]. В настоящей работе Pd/C композиционные материалы получали методом электрохимического диспергирования [2].

Методом рентгеноструктурного анализа было показано, что результатом диспергирования Pd электродов явилось образование наночастиц палладия. Размер частиц, рассчитанный по формуле Шеррера, составил 5 нм.

Каталитические свойства полученного Pd/C композиционного материала были исследованы в процессах электрохимического окисления этанола в щелочной среде и установлено, что скорость окисления этанола на Pd/C катализаторе в щелочной среде сравнима со скоростью окисления этанола в кислой среде на платино-содержащем катализаторе.

Таким образом, электрохимическое диспергирование металлов является перспективным методом получения Pd/C композиционных материалов для электрокаталитического окисления двухатомных алифатических спиртов в щелочной среде.

### **Литература**

1. Xu C., et al. *Electrochem. Commun.*, 2007, 9, 997-1001.
2. Смирнова Н.В., Куриганова А.Б. Применение импульсного переменного тока для получения электрохимически активных материалов. Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова (НПИ), Новочеркасск, НОК, 2016, 86.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ФТОРИДА ДИСПРОЗИЯ Кучукова Я.В.

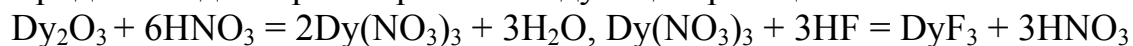
Томский политехнический университет

E-mail: kuchukova\_yana@mail.ru

Научный руководитель: Сачкова А.С.,  
к.б.н., доцент Томского политехнического университета

На сегодняшний день нанокристаллы трифторидов редких земель применяются в различных областях науки и техники [1]. Наноразмерный диспрозий, как один из перспективных представителей редкоземельных элементов, а так же его соединения, благодаря своим свойствам пользуются особым интересом. Так, микрочастицы  $DyF_3$  используются в производстве специального оптического стекла, в лазерной технике, для повышения коэрцетивной силы в магнитах и для улучшения коррозионных свойств материалов [2]. Несмотря на большое число работ по этой тематике, необходимо более детальное описание методики получения наноразмерного фторида диспрозия. В связи с этим, целью данной работы является описание методики получения фторида диспрозия и исследование его структуры.

Получение фторида диспрозия проводили методом осаждения фторида из водных растворов по следующим реакциям:



Полученный мелкодисперстный осадок исследовали методом рентгенофазового анализа на дифрактометре Rigaku Miniflex 600 с использованием  $CuK\alpha$ -излучения в интервале от  $10^\circ$  до  $90^\circ$  ( $2\theta$ ) с шагом сканирования  $0,02^\circ$  и скоростью съемки 2 град/мин. Анализ дифрактограммы показал, что образец представляет собой трифторид диспрозия – хорошо окристаллизованный и однородный материал с параметрами ромбической кристаллической решетки  $a=6,45\text{Å}$ ,  $b=6,93\text{Å}$ ,  $c=4,37\text{Å}$  и углами  $90^\circ$ . Таким образом, представлена методика получения трифторида диспрозия. Исследованы его структура и свойства, полученные данные могут быть использованы для дальнейших исследований, в том числе, для синтеза новых функциональных материалов. При этом для адаптации наноструктур необходимо подобрать условия эксперимента, такие как температура, кислотность, концентрация и время реакции.

### Литература

1. Xiaoli W., et al. Rare Metal Materials and Engineering, 2016, 45, 309-314.
2. Man T., et al. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2016, 399, 159-163.

## **СИНТЕЗ СИСТЕМЫ С-Cu-Zn МЕТОДОМ ИК-ПИРОЛИЗА ИЗ ОКСИДОВ И НИТРАТОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЕ СВОЙСТВ**

**Рогушин К.Б.**

Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»

E-mail: kirill.rogushin@gmail.com

Научный руководитель: Дзидзигури Э.Л.,  
к.т.н., доцент Национального исследовательского технологического  
университета «МИСиС», г. Москва

В настоящее время в связи с истощением разрабатываемых ресурсов традиционной нефти, метанол становится одним из альтернативных источников энергии, которым может быть заменено ископаемое топливо. В ходе синтеза метанола в промышленных масштабах используется процесс Фишера-Тропша, протекающий в присутствии катализатора [1, 2].

На данный момент все чаще прибегают к использованию катализаторов в наноразмерной форме, в связи с чем целью данной работы было получение металл-углеродной системы с наноразмерными частицами Cu-Zn и изучение их свойств в зависимости от исходных веществ, а также от температуры отжига.

В результате методом ИК-пиролиза синтезированы металл-углеродные системы, с металлическими частицами Cu-Zn. Получены две серии образцов. В первой серии исходными веществами выступали нитраты:  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , во второй – оксиды: CuO, ZnO. Обе серии получены при основном отжиге в 300, 400, 500, 600 и 700 °С. Полиакрилонитрил (ПАН) в системах является матрицей. При нагреве с солями металлов (или с оксидами). ПАН разлагается, в результате чего происходит восстановление солей металлов (и оксидов) до чистых меди и цинка.

В образцах из оксидов, в результате фазового анализа установлены фазы: графитоподобной структуры, ZnO, Cu. Для образцов, синтезированных из нитратов фазы: графитоподобная, а также твердый раствор медь-цинк. ПЭМ установил наличие металлических наноразмерных частиц сферической формой. Средний размер частиц находится в пределах от 3,3 нм до 15 нм. В образце, полученном из нитратов частиц, размер составил от 39 нм до 74 нм.

### **Литература**

1. Мархоцкий Я.Л., Основы экологии и энергосбережения, Litres, 2016.
2. Кашкаров А.П. Современные био-, бензо-, дизель-генераторы и другие полезные конструкции, М., ДМК Пресс, 2013.

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗРЯДНОГО ТОКА НА КОНЕЧНЫЙ ВЫХОД ФАЗЫ $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> В СИНТЕЗИРУЕМОМ ПОРОШКЕ**

**Гуков М.И., Шаненков И.И., Циммерман А.И.**

Томский политехнический университет

E-mail: 1q1@t-sk.ru

Научный руководитель: Сивков А.А.,  
д.т.н., профессор Томского политехнического университета, г. Томск

Синтез порошков с высоким содержанием фазы  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> является актуальной задачей в связи с тем, что частицы этой фазы обладают уникальными магнитными свойствами. Одним из таких свойств является самое высокое значение коэрцитивной силы среди всех оксидов металлов, что является перспективным для создания на их основе современных постоянных магнитов для хранения информации и другой электроники [1].

В данной работе рассматривается влияние изменения скорости нарастания тока электроразрядной плазменной струи на выход фазы  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при плазмодинамическом методе синтеза в системе, основанной на коаксиальном магнитоплазменном ускорителе (КМПУ) [2]. Ранее также было показано, что с помощью данного метода возможно синтезировать продукт с достаточно высоким содержанием эpsilon фазы оксида железа (III) [3].

Для оценки влияния скорости нарастания тока на содержание эpsilon фазы оксида железа (III) в синтезированном продукте была проведена серия экспериментов по получению порошкообразного оксида железа при различных энергетических параметрах системы. Согласно результатам проведенных экспериментов, можно утверждать, что увеличение скорости нарастания тока плазменной струи (от 1,94 А/с до 2,2 А/с) приводит к увеличению содержания эpsilon фазы оксида железа (III) (от 16,3 % до 53 %) в синтезированном порошке.

### **Литература**

1. Gich M., Nanotechnology, 2006, 17, 687-691.
2. Патент РФ 137443. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель, приор. от 24.09.2013.
3. Sivkov A., et al. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2016, 405, 158-168.

## ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ

**Болотникова О.А.**

Томский политехнический университет

E-mail: bolotnikovaoa@gmail.com

Научный руководитель: Пак А.Я.,

к.т.н., начальник отдела системных исследований Томского  
политехнического университета, г.Томск

Карбид кремния, благодаря ряду физико-механических, физико-химических и электрофизических свойств, привлекает внимание множества [1]. В данной работе был приведен анализ порошкового материала на основе карбида кремния, полученного электродуговым способом. С целью удаления из продукта основной загрязняющей фазы – графита, проведен термический анализ [2].

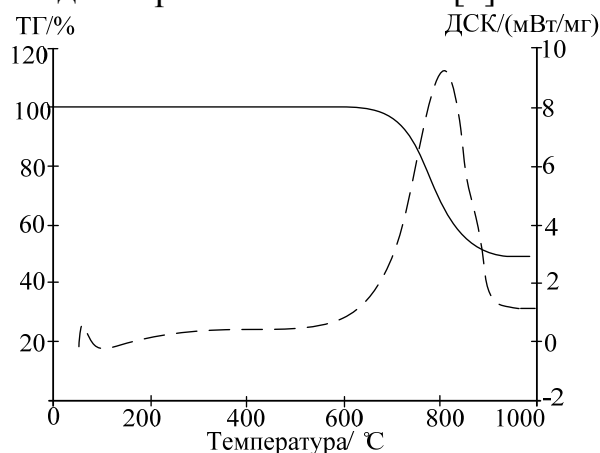


Рис. Результаты термического анализа

Судя по приведенным на (рис.) данным, в интервале температур 670-900 °С происходит снижение массы образца на 52 %. В этом же интервале наблюдается выделение энергии - положительный тепловой поток. Отсюда следует, что в процессе нагрева продукта углерод (графит) сгорает с выделением углекислого газа. В связи с этим снижается масса образца, и выделяется энергия. Следовательно, нагрев образца в воздушной атмосфере дает возможность очистить продукт синтеза от углерода (графита).

### Литература

1. Андриевский Р.А., Успехи химии, 2012, 81(6) 549-559.
2. Lysenko E.N., et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 2017, 392, 1-7.

## **ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА В СИСТЕМЕ Al-Mg-O**

**Циммерман А.И., Шаненкова Ю.Л.**

Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет

E-mail: alextsimmer@yandex.ru

Научный руководитель: Сивков А.А.,  
д.т.н., профессор Томского политехнического университета, г. Томск

Оксид алюминия как широкозонный диэлектрик с высокой механической стойкостью находит применение в различных областях: медицина, оптика, лазерная техника, решение различных технических задач [1]. Широкая область применения объясняется наличием следующих свойств материала: высокая механическая прочность и твердость, износостойкость и др. [2]. Получают материалы на основе Al-O газофазным методом или электрическим взрывом проводников. Данные методы имеют недостатки в виде неудовлетворительной дисперсности продукта и длительности процесса получения материала.

В НИ ТПУ разработан метод плазмодинамического синтеза на основе коаксиального манитоплазменного ускорителя (КМПУ). Основными преимуществами данного метода являются: быстроедействие, простота получения и др. [3]. Синтез  $Al_2O_3$  осуществлялся за счет эрозии Al створа, в составе которого 7% Mg. При протекании дуги по ускорительному каналу происходит наработка алюминия и магния, после чего он выносится в камеру, где вступает в плазмохимическую реакцию с кислородом, образуя требуемый продукт.

В результате расшифровки рентгеноструктурного анализа были идентифицированы следующие фазы:  $Al_2O_3$  (80-1385) – 70 % и  $MgAl_2O_4$  (72-6955) – 30 %. Результат просвечивающей электронной микроскопии показал, что размер частиц варьируется от 50 до 250 нм.

### **Литература**

1. Кортон В.С. и др. Физика твердого тела, 2008, 50(5), 916-920.
2. Зацепин Д.А. и др. Физика твердого тела, 2004, 46(11), 2064-2068.
3. Sivkov A. et al. Advanced Powder Technology, 2016, 27(4), 1506-1513.



## ПОЛУЧЕНИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ ГИБРИДНЫХ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

Пудова Л.С.

Южно-Российский государственный политехнический университет  
имени М.И. Платова

E-mail: pudowa.lyuda@yandex.ru

Научный руководитель: Чернышева Д.В.,  
к.т.н., доцент Донского государственного технического университета,  
г. Ростов-на-Дону

Емкость гибридных суперконденсаторов (СК) определяется электрохимическими характеристиками компонентов электрода и его удельной поверхностью, поэтому в качестве электродов в таких СК используют проводящие материалы с развитой поверхностью, такие как высокодисперсные сажи, а также одно- и двухкомпонентные оксиды переходных металлов [1]. В свою очередь, структура и свойства таких электродных материалов зависят от способа их получения.

В данной работе нами была исследована возможность получения двухкомпонентных оксидных материалов на основе никеля и кобальта посредством электрохимического окисления и диспергирования [2] никелевых электродов в электролите, содержащем соль второго металла (Ni:Co = 1:3, 1:1 и 3:1).

Поскольку оксидные материалы, получаемые описанными в литературе методами, обычно подвергают термической обработке, мы также отожгли нами порошки при температуре 300 °С. Все дальнейшие исследования структурных и электрохимических свойств проводили для двух серий образцов: до и после отжига.

Было показано, что двухкомпонентные оксидные материалы, получаемые методом электрохимического диспергирования никелевых электродов в электролите, содержащем хлорид кобальта, не нуждаются в дополнительном отжиге, который негативно влияет на их электрохимические свойства. В тоже время, удельная емкость полученных материалов прямо пропорциональна количеству никелевого компонента.

### Литература

1. Changzhou Yuan, et al. Angew. Chem. Int. Ed., 2014, 53, 1488-1504.
2. Leontyeva D.V., et al. Electrochim. Acta, 2013, 114, 356-362.

## ЖАРОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ

$\text{MoSi}_2 - \text{ZrO}_2 - \text{Y}_2\text{O}_3$  НА УУКМ

Синицын Д.Ю.

Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»

E-mail: sindime@list.ru

Научный руководитель: Аникин В.Н.,  
к.т.н., доцент Национального исследовательского технологического  
университета «МИСиС», г. Москва

С каждым годом в связи с развитием авиации, показывающей уровень развития техники и страны в целом, предъявляются все более высокие эксплуатационные требования к авиакосмическим аппаратам, в качестве отдельных элементов которых все большее распространение получают углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ), имеющие высокую удельную прочность и жесткость при низкой плотности, что снижает конечный вес аппарата и расходы на топливо. Однако выше  $370-400^\circ\text{C}$  они легко окисляются кислородом атмосферы и выгорают [1,2].

Возникает потребность в защитных покрытиях, способных работать при высоких температурах и имеющих низкий коэффициент термического расширения (КТР), близкий к подложке. Такими являются покрытия системы  $\text{MoSi}_2-\text{ZrO}_2-\text{Y}_2\text{O}_3$ , работающие на основе стабилизации кубического диоксида циркония и эффекте самозалечивания [3].

В ходе работы проведен элементный анализ с построением карт распределения элементов по поверхности и толщине покрытия, фазовый и рамановский анализ, испытания на трехточечный изгиб и жаростойкость. Подобраны толщина подслоя, покрытия и общая толщина. Испытания на относительно долговременную жаростойкость при  $1700-1800^\circ\text{C}$  в течение 400 с и кратковременную в течение 20 с при  $2100^\circ\text{C}$  кислородно-ацетиленовой горелкой и плазмотроном при углах  $30,60$  и  $90^\circ\text{C}$  показывают превосходные результаты и наименьшие изменения толщины и массы.

*Работа выполнена в рамках проекта Министерства образования и науки Российской Федерации № RFMEFI57814X0044*

### Литература

4. Zhang M., et al. Vacuum, 2015, 122, 236–242.
5. Gogta E., et al. Theses and dissertations, 2012, 51, 80–84.
6. Nozahic F., et al. Materials Design, 2016, 94, 444–448.

## СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЛЮМИНОФОРОВ

Красовская Ю.С.

Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»

E-mail: krasovskaya2012@gmail.com

Научный руководитель: Сидорова Е.Н.,  
к.т.н., доцент Национальной исследовательской технологической  
университета «МИСиС», г.Москва

Сложные кислородные соединения, содержащие элементы IV В подгруппы (Ti, Zr, Hf) являются объектами интенсивных исследований в связи с поиском новых материалов, используемых в качестве твердотельных электролитов для средне- и высокотемпературных оксидных топливных элементов, матриц для иммобилизации высокоактивных радиоактивных отходов и люминофоров. Проявление циркониевыми соединениями отрицательного теплового расширения в широком температурном интервале вызывает повышенный интерес, обусловленный перспективностью их использования для создания чувствительных температурных сенсоров, термических конденсаторов [1]. Двойные вольфраматы РЗЭ и циркония являются перспективными материалами из-за своих проводящих, люминесцентных свойств и возможности использования в качестве матриц для хранения ионов радиоактивных элементов [2].

В связи с этим целью работы было получение и исследование двойных вольфраматов РЗЭ и циркония. В качестве методов получения образцов были использованы твердофазный синтеза и золь-гель метод с последующим изотермическим отжигом прекурсоров при 670 °С [3].

Проведенный рентгенофазовый анализ, установил состав порошков –  $\text{Ho}_2\text{Zr}(\text{WO}_4)_5$  и  $\text{Tm}_2\text{Zr}(\text{WO}_4)_5$ . Образец  $\text{Ho}_2\text{Zr}(\text{WO}_4)_5$ , полученный золь-гель методом, является аморфным. По результатам просвечивающей электронной микроскопии кристаллы правильной формы характерны только для частиц  $\text{Ho}_2\text{Zr}(\text{WO}_4)_5$ , синтезированного золь-гель методом. Средний размер частиц данного порошка составляет 13,7 нм. Удельная поверхность составила 66 м<sup>2</sup>/г.

### Литература

1. Базарова Ж.Г. и др. Двойные молибдаты редкоземельных элементов и циркония, Улан-Удэ: СО РАН, 2015.
2. А.С. Матвеев и др. Синтез двойных вольфраматов РЗЭ и циркония. – Улан-Удэ: СО РАН, 2015.
3. Батуева И.С. Синтез и свойства новых двойных вольфраматов в системах  $\text{Me}_2\text{WO}_4\text{-MeO}_2\text{-WO}_3$  (Me = K, Rb, Cs, Tl; M = Ti, Zr, Hf): дисс...канд. техн. наук. – Иркутск, 2005.

## ОПТИМИЗАЦИЯ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ СПЛАВОВ ПОЛУГЕЙСЛЕРА СОСТАВА $\text{FeNb}_{0.8}\text{Ti}_{0.2}\text{Sb}$

**Зуева В.Ю.**

Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»

E-mail: zueva@misis.ru

Научные руководители: Ховайло В.В., д.ф.-м.н., профессор НИТУ  
«МИСиС», Воронин А.И., инженер 1к НИТУ «МИСиС», г.Москва

Одним из решений проблемы эффективного использования энергии являются термоэлектрические материалы, например, сплавы полу-Гейслера, которые применимы в области средних температур до 1000 К.

Целью данной работы является оптимизация способов получения сплавов полу-Гейслера состава  $\text{FeNb}_{0.8}\text{Ti}_{0.2}\text{Sb}$ .

Необходимые качества термоэлектрического материала: высокие термоЭДС и электропроводность, малая теплопроводность, которая достигается за счет рассеивания фононов на границах зерен, возникающего в результате наноструктурирования [1].

В данной работе рассмотрен процесс приготовления исследуемого термоэлектрического материала двумя методами: индукционная плавка с последующим механическим диспергированием и компактированием [2, 3], второй метод – высокотемпературный самораспространяющийся синтез, благодаря которому удается сэкономить трудовые и временные ресурсы. После синтезирования образцов был проведен рентгенофазовый анализ, результаты которого показали преобладание основной фазы над некоторым количеством примесной. Для того чтобы увеличить содержание основной фазы, был проведен отжиг в течение трех дней при температуре 1073 К с последующей закалкой. В итоге наблюдалось увеличение фазы  $\text{FeNbSb}$  до 79 %.

В дальнейшем планируется полное удаление вторичной фазы, что приведет к значительному увеличению термоэлектрической эффективности в области температур до 1000 К.

### Литература

7. Булат Л.П. и др. Термоэлектрическое охлаждение: Текст лекций. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2002.
8. Zhu T., et al. Material views, 2015, 65, 1500588.
9. Fu C., et al. Journal of Nature Communications, 2015, 6, 8144.

## СИНТЕЗ МЕТАЛЛ-УГЛЕРОДНОЙ СИСТЕМЫ C-CO-RU МЕТОДОМ ИК-ПИРОЛИЗА

**Павлов А.А.**

Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»

E-mail: palex941@rambler.ru

Научный руководитель: Дзидзигури Э.Л.,  
к.т.н., старший научный сотрудник НИТУ «МИСиС», г. Москва

Повышенное потребление природных ресурсов приводит к необходимости развития альтернативных видов энергии. Одним из них может стать водород, который обладает хорошими энергитическими свойствами [1]. Один из способов его получения является метод парового реформирования этанола. Но данный процесс зависит от используемых катализаторов [2]. Поэтому целью данной работы было получение и исследование металл-углеродной системы C-Co-Ru, которая может быть применима для синтеза водорода из этанола.

Были получены 2 серии образцов при температурах пиролиза 500, 600, 700, 800, 900 °С. Вторую серию образцов подвергли активации с помощью КОН [3]. В качестве прекурсоров использовались ацетилацетонаты кобальта и рутения и полиакрилонитрил, растворенные в растворителе. Соотношение металлических компонентов в прекурсорке составляло 9 : 1.

С помощью метода рентгеновской дифракции было обнаружено, что в первой серии образцов в интервале температур 500 – 900 °С присутствует графитоподобная структура и  $\beta$ -Co. Во второй серии во всем интервале температур так же присутствуют  $\beta$ -Co и графитоподобная структура, а так же, помимо этого, появляется  $\alpha$ -Co. Были рассчитаны периоды решетки  $\beta$ -Co. На основании того, что полученные значения превышают табличные, можно предположить, что кобальт с рутением образуют твердый раствор. Были получены ПЭМ-микрофотографии образцов, на которых видно, что частицы имеют форму близкую к сферической, и располагаются в углеродной матрице.

### Литература

1. Nishiguchi T., et al. Applied Catalysis A-General, 2005, 279(1-2), 273-277.
2. Ashutosh K., et al. International Journal of Environmental Research and Development, 2014, 4(3), 203-212.
3. Zhenyu R., et al. Journal of Colloid and Interface Science, 2000, 230, 312-319.

## ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВ $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$ МЕТОДОМ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШКИ

Горячев М.О.

Томский политехнический университет

E-mail: maxgor95@gmail.com

Научный руководитель: Лямина Г.В.,  
к.х.н, доцент кафедры наноматериалов и нанотехнологий Томского  
политехнического университета, г. Томск

Повышение износостойкости корундовой керамики может быть реализовано путем добавления оксида магния. Целью работы являлось получить композитные порошки  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$  из суспензий методом нано распылительной сушки (Nano Spray Dryer B-90).

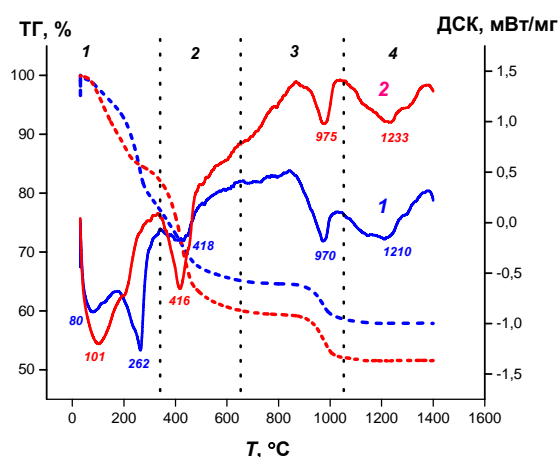


Рис. ТГ-, ДСК-кривые порошков, полученных из суспензии  $[\text{Al}^{3+}]:[\text{Mg}^{2+}] = 0,25:0,75$ ; (2),  $[\text{Al}^{3+}]:[\text{Mg}^{2+}] = 0,5:0,5$  (1).

Суспензии состава  $[\text{Al}^{3+}]:[\text{Mg}^{2+}] = 0,25:0,75$ ;  $0,5:0,5$ ; были приготовлены в растворе аммиака методом обратного осаждения из раствора сульфата магния и нитрата алюминия.

На (рис.) представлены результаты термического анализа полученных порошков. Обнаруженные на ДСК-кривых сигналы соответствуют идентичным процессам, температуры которых, однако, отличаются. Для порошка с равным содержанием

оксидов наблюдаются два эндопика, соответствующих потере адсорбционной воды (область 1), при увеличении содержания  $\text{MgO}$  — один. Это обусловлено разной гигроскопичностью данных оксидов. Сигналы во второй области связаны с разложением гидроксида магния и образованием оксида. Очевидно, что при увеличении содержания  $\text{MgO}$ , этот сигнал больше (кривая 2). Согласно данным фазовой диаграммы, при данном соотношении оксидов возможно образование смеси  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  с  $\text{MgO}$ . Широкий экзоэффект в областях 3, 4, очевидно связан с кристаллизацией шпинели, так как он существенно больше при увеличении содержания оксида магния. Эндопики в 3 области может соответствовать удалению конституционной воды. Для подтверждения полученных результатов необходимо сопоставление с данными рентгенофазового анализа порошков.

## ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ РОСТА И ФАЗООБРАЗОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ Ti-Cr-Ni-Mo-N

Черногор А.В.

Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»

E-mail: av\_chernogor@live.com

Научный руководитель: Блинков И.В.,  
д.т.н., профессор Национального исследовательского технологического  
университета «МИСиС», г.Москва

Известно, что помимо природы материалов покрытия, огромную роль на их свойства оказывает структура покрытий. В данной работе изучались процессы фазообразования и структура arc-PVD покрытий Ti-Cr-N, Ti-Cr-Ni-N и Ti-Cr-Ni-Mo-N на основе нитридов хрома и титана, характеризующиеся высокой износостойкостью, нитрида молибдена, который при окислении образует фазу с низкой сдвиговой прочностью, а также никеля не склонного к образованию нитридов.

Покрытия 1-ой и 2-ой серии характеризуются столбчатой структурой на основе  $(Ti,Cr)N_x$  с областями, обогащёнными титаном и хромом, формирование которых связано с вращением подложки относительно испаряющихся катодов из этих металлов. Согласно ПЭМ, покрытия характеризуются плотной столбчатой структурой, зёрна которой имеют размеры  $\sim 0,7$  мкм и диаметром до  $0,4$  мкм. Помимо этого, значительная доля зёрен имеет высокую плотность дислокаций, появление которых вызвано бомбардировкой растущего покрытия частицами с энергией  $>150$  эВ. Образцы второй серии характеризуются меньшим размером зёрен, что связано с «примесным торможением» роста зёрен нитрида титана за счёт сегрегации никеля на их границах. Наблюдаемый с этим рост сжимающих макронапряжений с  $6,7$  до  $9,7$  ГПа при введении никеля связан с увеличением сопротивления пластической деформации с  $0,06$  до  $0,25$  ГПа.

В покрытии Ti-Cr-Ni-Mo-N наряду со сложным нитридом  $(Ti,Cr)N_x$  формируется субслоем  $\gamma$ - $Mo_2N$ , который препятствует растворению фаз-слоёв нитридов титана и хрома, и, как следствие, покрытия имеют плотную многослойную структуру с толщиной бислоя  $47$  нм. Значительное снижение сжимающих макронапряжений до значений  $0,6$  ГПа может быть связано с уменьшением концентрации титана по отношению к хрому в покрытиях третьей серии, приводящее к снижению температуры плавления основной фазы покрытия –  $(Ti, Cr)N$ . Это одновременно способствует увеличению гомологической температуры процесса осаждения, что определяет повышение вероятности релаксационных процессов снижения макронапряжений за счёт возрастающей подвижности дефектов структуры.

## МЕТОДЫ СИНТЕЗА НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА (III)

Лещинская А.С.

Томский политехнический университет

E-mail: ps.neko55@mail.ru

Научный руководитель: Годымчук А.Ю.,  
к.т.н., доцент Томского политехнического университета, г.Томск

Мировые тенденции в добыче и истощении легких фракций углеводородного сырья привели к необходимости глубокой переработки его тяжелых фракций. Один из перспективных способов переработки тяжелых углеводородов является нанокаталитический крекинг с использованием наночастиц оксида железа (III). Поэтому разработка методик синтеза каталитических систем на основе наночастиц  $Fe_2O_3$  является актуальной задачей. В настоящей работе проведен обзор англо- и русскоязычных статей в современных наукометрических базах данных методов синтеза наночастиц  $Fe_2O_3$  для выявления их сильных и слабых сторон, с последующим применением полученных знаний на практике.

Литературный обзор показал, что на данный момент около 90 % ученых используют химические методы синтеза нано- $Fe_2O_3$ , что позволяет получить частицы с контролируемым составом, размерами и формой. Так, гидротермический метод позволил синтезировать сферические (размером 16 – 40 нм) и волокнистые (размерами 20 – 25 нм в диаметре и длиной менее 100 нм) морфологии [1], метод химического соосаждения с последующим отжигом – наночастицы сферической формы размером 5 – 20 нм [2], метод лазерной абляции – сферические наночастицы размером до 10 нм [3]. Несмотря на высокую эффективность перечисленных методов, необходимо дальнейшее изучение каталитических свойств синтезируемых частиц, чтобы обосновать, какой метод дает наибольшее количество активных центров на поверхности наноразмерного  $Fe_2O_3$ .

### Литература

1. Bhavania P., et al. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2017, 3, 459-466.
2. Koulikova M., et al. Saratov State University named after N.G. Chernyshevsky Reviews, 2012, 4, 206-209.
3. Zhang D., et al. Chemical Reviews, 2017, 117, 3990-4103.



## **ПОЛУЧЕНИЕ НАНОВОЛОКОН МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ**

**Серикбекова З.К.**

Томский политехнический университет

E-mail: zarina\_lg5@mail.ru

Научный руководитель: Алейник А.Н.,  
доцент Томского политехнического университета, г.Томск

В настоящее время в мировом научном сообществе общепризнанным критерием наноматериала, или наноустройства является критерий «<100 нм», когда, по крайней мере, один из размеров объекта не превышает 100 нм. В тоже время в промышленности этот критерий имеет более широкий диапазон и достигает 300 нм, а порой и 500 нм, что в научной среде классифицируется уже как субмикронный диапазон. Электроформование (ЭФ) – это процесс, который приводит к формированию НВ в результате действия электростатических сил на электрически заряженную струю полимерного раствора или расплава. Используя процесс ЭФ полимеров можно получить неорганические нановолокна. Можно выделить два главных метода получения неорганических нановолокон: 1) в прядильный раствор (т.е. раствор полимера) вводят неорганические наночастицы, например, углеродные нанотрубки, 2) в формовочный раствор вводят раствор неорганического материала. После получения ЭФ волокон из таких растворов проводят их термохимическую обработку, в результате которой из волокон удаляется органическая составляющая и остается неорганическая. Затем, при необходимости, проводят высокотемпературную кристаллизацию полученных неорганических нановолокон [3]. Широкие возможности процесса ЭФ позволяют получать волокнистые материалы с заданными физико-химическими свойствами, что подчеркивает неразрывную связь в цепочке «прядильный раствор – условия процесса ЭФ – микроструктура волокон и материалов – макрохарактеристики ЭФ-материалов».

### **Литература**

1. Burger C., et al. Annu. Rev. Mater. Res., 2006, 36:336-368.
2. Teo W.E., et al. Nanotechnology, 2006, 17:89-106.
3. Sigmund W., et al. J. Am. Ceram. Soc., 2006, 89:395-407.

## **Секция 2 «Методы исследования и изготовления функциональных материалов»**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОДНОСТЕННЫХ НАНОТРУБОК РЕЗОНАТОРНЫМ МЕТОДОМ Поливанова А.С.**

Томский государственный университет  
E-mail: anyuta.poliwanowa@yandex.ru

Научный руководитель: Доценко О.А.,  
канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры радиоэлектроники Томского  
государственного университета, г.Томск

Одним из требований при разработке новых функциональных материалов является исследование частотных зависимостей электромагнитных параметров образцов исследуемых материалов. Для этих целей используются различные спектроскопические методы анализа. В данной работе таким методом является резонаторный метод. В качестве измерительной ячейки используется прямоугольный объемный резонатор [1].

Прямоугольный резонатор широко применяется большинством исследователей. По сравнению с другими методами измерения его преимуществами являются малые размеры исследуемого образца, а также то, что образец может находиться в различных агрегатных состояниях.

В ходе данной работы были изготовлены образцы различных концентраций (эпоксидная смола + одностенные углеродные нанотрубки): 0.0, 0.1, 0.5 и 0.7 масс. %. Образцы помещались в полость прямоугольного резонатора, и затем с помощью векторного анализатора цепей измерялась амплитудно-частотная характеристика резонатора с образцом исследуемого материала. Результаты измерений обрабатывались с помощью формул, приведенных в [2].

Таким образом, были получены частотные зависимости диэлектрической проницаемости. Показано, что с увеличением концентрации одностенных нанотрубок диэлектрическая проницаемость увеличивается за счёт проводимости образцов исследуемых материалов.

#### **Литература**

1. Егоров В.Н. Резонансные методы исследования диэлектриков на С.В.Ч. Приборы и техника. 2007, 2, 5-38.
2. Суслев В.И. Прямоугольный многомодовый свехвысокочастотный резонатор, Томск, Изд-во ТГУ, 1994.

## **СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СИСТЕМЫ «ПЛЕНКА (TiZrCu)(Al-Si) ПОДЛОЖКА», СИНТЕЗИРОВАННОЙ ИОННО-ЭЛЕКТРОННО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ** **Рыгина М.Е.**

Томский политехнический университет  
E-mail: L-7755me@mail.ru

Научный руководитель: Иванов Ю.Ф.,  
д.ф.-м.н., профессор Томского политехнического университета, г.Томск

Заэвтектический силумин является одним из перспективных материалов для авиа- и космостроения. Структура заэвтектического силумина состоит из эвтектики, первичных зерен кремния и интерметаллидов. Именно наличие зерен первичного кремния большого размера приводит к снижению прочностных характеристики и повышенной хрупкости изделий из заэвтектического силумина [1].

В качестве материала исследования использованы образцы силумина состава Al-(18-24) вес. % Si. Систему «пленка (Zr-5%Ti-5%Cu) / (Al-(18-24) вес. % Si) подложка» формировали ионно-плазменным методом при электродуговом распылении катода состава Zr-5%Ti-5%Cu на установке «ТРИО» (Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук) [2] Толщина пленки 1 мкм. Сформированную таким образом систему «пленка/подложка» облучали электронным пучком на установке «СОЛО» (ИСЭ СО РАН).

Установлено, что облучение системы «пленка/подложка» приводит к растворению первичных зерен кремния и формированию наноразмерной структуры ячеистой кристаллизации. Элементный анализ выявил содержание циркония  $\approx 40$  вес. %, меди и титана  $\approx 1$  вес. % каждого. Твердость системы после облучения превышает более чем в 4 раза твердость исходного силумина при глубине модифицированного слоя  $\approx 130$  мкм. Износостойкость увеличивается более чем в 2 раза. Показано, что увеличение плотности энергии пучка электронов сопровождается ростом толщины модифицированного слоя.

Таким образом, рассмотренный метод модификации поверхности позволяеткратно увеличить твердость и износостойкость силумина заэвтектического состава.

### **Литература**

1. Строганов Г.Б. и др. Сплавы алюминия с кремнием, М., Металлургия, 1977.
2. Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф. Электронно-ионно-плазменная модификация поверхности цветных металлов и сплавов, Томск: Изд-во НТЛ, 2016.

## **СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СТАЛИ 20X13, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ИНЖЕКЦИОННОГО ФОРМОВАНИЯ**

**Киселев Н.В.**

Томский государственный университет

E-mail: Nicolas93.08@mail.ru

Научный руководитель: Кульков С.Н.,

д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией наноструктурных функциональных материалов Института физики и прочности материалов СО РАН, г. Томск

ММ-технология или технология инъекционного формования порошковых металлов под давлением является одной из перспективных инновационных технологий, которая обладает преимуществами порошковой металлургии и технологии литья. Потенциал ММ-технологии заключается в возможности получения изделия со сложной геометрической формой используя практически неограниченный выбор металлических порошков. Полученные изделия обладают высокой плотностью и высокой прочностью при относительно небольшой стоимости в производства. Технологический процесс заключается в формовании заготовки из металлополимерных композиций (фидстоков) с последующим спеканием до высокой плотности [1].

Образцы были изготовлены из смеси порошков железа и легирующих компонентов для формирования сплава 20X13 [2,3]. Фазовый состав и структуру изучили методами рентгеноструктурного анализа и растровой электронной микроскопии (РЭМ). Получены результаты механических испытаний на растяжение. На рентгенограммах образца фиксируются только пики, соответствующие фазе Fe-Cr. Пористость материала составляет 6 %. Механические испытания показали, что полученные образцы обладают более высокой прочностью, чем изделия, полученные традиционными методами.

### **Литература**

1. Довыденков В.А. и др. Заготовительные производства в машиностроении, 2006, 8, 47.
2. Металлические порошки для наплавки и напыления. Режим доступа: <http://www.polema.net/metallicheskie-poroshki.html>. – 10.11.2016.
3. Драгунов Ю.Г. Марочник сталей и сплавов. Режим доступа: [http://www.mashin.ru/files/stranicy\\_iz\\_marochn15.pdf](http://www.mashin.ru/files/stranicy_iz_marochn15.pdf).

## КОНЦЕНТРАЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ ИЗУЧЕНИИ АГРЕГАЦИИ НАНОЧАСТИЦ

**Карепина Е.Е.**

Томский политехнический университет

E-mail: karerina\_ee@mail.ru

Научный руководитель: Годымчук А.Ю.,  
к.т.н., доцент Томского политехнического университета, г.Томск

Рост производства нанопорошков способствует увеличению количества источников выделения наночастиц в окружающую среду и, следовательно, потенциальное взаимодействие частиц с естественной биотой [1]. В литературе рассмотрено большое количество о влиянии самых разных факторов на (эко)токсичность наночастиц, однако размер является ключевым параметром в нано(эко)токсикологии, определяющим эффект частиц в среде [2].

Для дисперсионного анализа суспензий используются различные методы, при этом, каждый метод имеет свою методику пробоподготовки и требует различных концентраций от нг/л до мг/л [3]. В данной работе проводилось сравнение трех методов анализа суспензий: лазерной дифракции (200 мг/л), динамического рассеяния света (2 мг/л) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (0,02 мг/л) в процессе дисперсионного анализа эдэктровзрывного нанопорошка Ni (60 нм). Несмотря на различные условия пробоподготовки, изготовление суспензий включало в себя следующие шаги, одинаковые для всех изучаемых суспензий: 1) навеска порошка; 2) подготовка буферного раствора НЕРЕС заданной кислотности; 3) добавление раствора к навеске порошка; 4) ультразвуковая обработка; 5) проверка и регулировка кислотности суспензии.

Продемонстрировано, что для всех изученных суспензий при нейтральной кислотности (рН=7) характерно мономодальное распределение частиц по размерам. Показано, что концентрация оказывает значительное влияние на распределение образующихся в воде агрегатов по размерам. Так, при рН=7 распределение агрегатов составляет 220 нм ...46 мкм, 106 ... 936 нм, и 43...532 нм в суспензиях с концентрацией частиц 200, 2 и 0.02 мг/л, соответственно. Очевидно, что с уменьшением концентрации наночастиц в суспензии значительно уменьшается диапазон распределения размеров.

### Литература

1. Guzman K., et al. Environmental Science & Technology, 2006, 40, 1401-1408.
2. Lewinski N., et al. Cytotoxicity of Nanoparticles, 2008, 4(1), 26-49.
3. Laborda F., et al. Analytica Chimica Acta, 2015, 1, 1-23

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПЛЕНОЧНОГО ПОКРЫТИЯ НА ТАБЛЕТКИ-ЯДРА ЛП АЛЛОХОЛ

Дранников А.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Томский Политехнический Университет

<sup>2</sup>ЗАО «ПФК Обновление», г.Новосибирск

E-mail: a.drannikov@pfk-obnovlenie.ru

Научный руководитель: Трусова М.Е.,  
к.х.н., доцент Томского политехнического университета, г.Томск

Лекарственный препарат (ЛП) Аллохол обладает неприятным вкусом и запахом, обусловленным присутствием желчи и крапивы в его составе, поэтому производится в виде таблеток, покрытых сахарной оболочкой [1]. В ходе данной работы были определены параметры технологического процесса нанесения пленочного покрытия на таблетки-ядра ЛП Аллохол с использованием установки барабанного типа – коатера [2].

Покрытие на основе гидроксипропилметилцеллюлозы [3] в виде готовой водной суспензии наносилось на таблетки-ядра ЛП Аллохол. При этом были разработаны оптимальные параметры процесса:

**Таблица.** Технологические параметры нанесения пленочного покрытия на таблетки-ядра ЛП Аллохол

Наименование параметра	Значение параметра
Температура в системе в процессе покрытия	37-43 °С
Скорость подачи суспензии пленочной оболочки	8-12 мл/мин
Скорость вращения барабана	5-7 об/мин
Давление сжатого воздуха на создание факела распыления	1,7-1,9 бар
Давление сжатого воздуха на иглу форсунки	1,5-1,7 бар

В результате, был разработан процесс нанесения пленочного покрытия на таблетки-ядра ЛП Аллохол. Использование коатера позволит автоматизировать процесс нанесения покрытия на таблетки-ядра, существенно сократить время технологической стадии, а также снизить массу лекарственной формы.

### Литература

1. Государственный реестр лекарственных средств. Режим доступа: <http://grls.rosminzdrav.ru/Default.aspx>
2. Флисюк Е.В. Химико-фармацевтический журнал, 2004, 38(11), 46-48.
3. Fahs A. et al. Carbohydrate Polymers, 2010, 80(1), 105-114.

## **ПЕРЕХОД ТЕХНОЛОГИИ КЕРАМИКИ С-4 ОТ БЕССПЕКОВОГО СПОСОБА К СПЕКОВОМУ**

**Шарафеев Ш.М.**

Томский политехнический университет

E-mail: sms4@tpu.ru

Научный руководитель: Погребенков В.М.,  
д.т.н., профессор Томского политехнического университета, г.Томск

Производство электрокерамики по спековому способу обеспечивает более стабильные свойства керамических изделий по сравнению с беспспековым способом [1-2]. Технология изделий из массы С-4 не включает стадию предварительного обжига шихты, что препятствует получению более качественных изделий на предприятиях, занимающихся выпуском технической радиокерамики.

Полученные по беспспековому способу образцы характеризуются усадкой 8,26 – 8,93 %, в то время как усадка образцов, полученных по спековому способу, составляет более 10,71 %, что значительно превышает требуемое значение 8,68 %.

Компенсация усадки в случае беспспекового способа происходит за счет микронеоднородностей (субмикропористости) образовавшихся кристаллов метасиликата магния, вследствие чего плотность керамического изделия снижается [3].

Переход к спековому способу производства изделий из массы С-4 затруднен по причине повышенной усадки образцов при их спекании. Удовлетворительные значения усадки могут быть достигнуты для изделий на основе стеклообразующих композиций с небольшим содержанием талька в шихте при прессовании гранулированных пресс-порошков под достаточно высоким давлением (3500 кгс/см<sup>2</sup> и более).

### **Литература**

1. Выдрик Г.А., Костюков Н.С. Физико-химические основы производства и эксплуатации электрокерамики, М., Издательство «Энергия», 1971.
2. Будников П.П. и др Химическая технология керамики и огнеупоров, М., Стройиздат, 1972.
3. Усов П.Г., Собора Н.С. Известия Томского политехнического института, 1974, 234, 68-70.

## **МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО АЛЮМИНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ИОННО- ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ**

**Шамиева А.Р.**

Томский политехнический университет

E-mail: shamieva\_nastya@mail.ru

Научный руководитель: Иванов Ю.Ф.,  
д.ф.-м.н., профессор Томского политехнического университета, г. Томск

В последние десятилетия широкое развитие получили комбинированные технологии модифицирования поверхности металлов и сплавов, сочетающие несколько взаимодополняющих методов воздействия. К наиболее перспективным из них следует отнести электронно-ионно-плазменные технологии, сочетающие воздействие различных видов концентрированных потоков энергии [1].

Целью настоящей работы является анализ структуры и свойств технически чистого алюминия, подвергнутого комбинированной обработке.

В качестве модифицируемого материала использовали технически чистый алюминий марки А7. Комбинированная обработка алюминия заключалась в следующем: 1) на поверхность алюминия напыляли пленку сплава 12Х18Н10Т толщиной 0,5 мкм на установке ионно-плазменного напыления «Квинта»; 2) сформированную систему «пленка (сплав 12Х18Н10Т) / (А7) подложка» облучали интенсивным импульсным электронным пучком на установке «СОЛО»; 3) проводили азотирование модифицированной поверхности алюминия на установке ННВ-6.6-И1, дооснащенной плазмогенератором ПИНК (длительность азотирования – 8 час. при температуре 540 °С).

Методами рентгенофазового анализа выявлено формирование многофазной структуры; основной фазой является нитрид алюминия. Показано, что толщина модифицированного слоя достигает 30 мкм; твердость слоя у поверхности модифицирования превышает твердость исходного материала в 4,5 раза. Установлено, что комбинированная обработка позволяет повысить износостойкость образцов технически чистого алюминия А7 более чем в  $\approx 9$  раз и снизить коэффициент трения в  $\approx 1,3$  раза.

### **Литература**

1. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками / под ред. Дж. Поута, Г. Фоти и Д. Джекобсона, М., Машиностроение, 1987.



## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АДДИТИВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛМАЗНЫХ ПОРОШКОВ МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ** **Ерёмин С.А.**

Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»

E-mail: serega21\_93@mail.ru

Научный руководитель: Аникин В.Н.,  
к.т.н., доцент Национального исследовательского технологического  
университета «МИСиС», г. Москва

На сегодняшний день, одним из самых интересных направлений в материаловедении является аддитивные технологии.

Эти технологии уже сегодня позволяют получать детали сложной конфигурации, не требующие дополнительных обработок, из различных материалов, таких как стали, керамика, различные сплавы, а так же полимерные материалы. Однако, если говорить о таком материале, как алмаз, аддитивные технологии в этой области еще недостаточно развиты. Поэтому целью работы было установить возможность аддитивного формирования изделий из алмаза, установить закономерности процесса, а также предложить концептуальные модели алмазного 3D-принтера.

Основная идея, заключается в использование процесса химического осаждения для послоевого формирования изделий из алмазных порошков. На сегодняшний день самые чистые поликристаллические алмазные плёнки получают использованием СВЧ плазмы [1]. Данный метод и был взят за основу, так как рост алмазных плёнок происходит на затравочных кристаллах.

В работе была исследована возможность аддитивного формирования деталей из алмазных порошков различной дисперсности от 1 мкм до 20 мкм.

В результате работы установлены закономерности, процесса химического осаждения, позволяющие применять технику послоевого построения изделий к алмазным порошкам.

### **Литература**

1. Butler J.E., et al., J. Phys. Condens. Matter, 2009, 21, 364201.

## **СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА $ZrO_2(MgO)$ - $MgO$ С БИМОДАЛЬНОЙ ПОРИСТОСТЬЮ**

**Васильева Е.О., Буяков А.С.**

Национальный Исследовательский Томский Государственный  
Университет, г.Томск

E-mail: akchuch@gmail.com

Научный руководитель: Кульков С.Н.,  
д.ф.-м.н., заведующий лабораторией керамических композиционных  
материалов Института физики прочности и материаловедения СО РАН,  
г.Томск

В работе исследованы пористые композиционные керамические материалы на основе стабилизированного оксидом магния диоксида циркония ( $ZrO_2(MgO)$ ) и оксида магния ( $MgO$ ) с добавлением частиц сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) для достижения высокой пористости. Проведены рентгеноструктурные исследования, также изучены зависимости областей когерентного рассеяния (ОКР) и микроискажений. Также проанализированы механические характеристики.

Исследования показали, что ОКР кубической фазы  $ZrO_2$  линейно растут, с увеличением содержания  $MgO$  в составе композита. Микродисторсия  $ZrO_2$  резко снижается при увеличении количества  $MgO$  до 25%, в дальнейшем практически неизменяясь. Средний размер ОКР и микродисторсия  $MgO$ , с увеличением содержания его в композите снижается линейно [1]. Анализ диаграмм «напряжение-деформация» показал, что предел прочности при сжатии керамики  $MgO$  равен 33 МПа. С ростом концентрации кубической фазы  $ZrO_2$  прочность снижается до 18 МПа [2]. На основе данных о пределе прочности и микродеформациях построена зависимость между макронапряжениями, соответствующими нагрузке при разрушении, и микронапряжениями, соответствующими произведению микродисторсии и теоретического модуля упругости. Показано, что зависимость прочности от микронапряжений имеет вид логарифмической зависимости [3].

### **Литература**

1. Канаки А.В. Структура и свойства порошков  $ZrO_2$ - $MgO$ , синтезированных в плазме высокочастотного разряда, и керамики на их основе: дисс. ... к.ф.-м.н., Томск, 2015.
2. Лукин Е.С. и др. Огнеупоры и техническая керамика, 1999, 9, 5-9.
3. Kalatur E.S. et al. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2013, 47 (1), 012004.

## **ПОЛУЧЕНИЕ ТУГОПЛАВКИХ ПОКРЫТИЙ В СИСТЕМЕ Mo - Si, TaC - Si Колесникова А.М.**

Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»

E-mail: kam-92200692@mail.ru

Научный руководитель: Аникин В.Н.,  
к.т.н., доцент Национального исследовательского технологического  
университета «МИСиС», г.Москва

На сегодняшний день УУКМ является перспективным материалом, используемым в различных областях науки и техники [1]. Углерод-углеродный композиционный материал обладает высокой прочностью, низким коэффициентом термического расширения, низкой плотностью, а соответственно меньшим весом вследствие пористости материала [2]. Однако наряду со всеми преимуществами УУКМ имеет высокую скорость окисления при температуре 400 °С [3].

Цель работы состоит в повышении термостойкости и увеличении работоспособности в условиях высоких температур (1800 °С) в течение 400 секунд. Поставленная цель достигается тем, что на трех образцах УУКМ: УУКМ без покрытия; УУКМ с покрытием из карбида тантала, полученным осаждением из газовой фазы; а так же УУКМ с подслоем молибдена проводят силицирование с образованием тугоплавких соединений.

После проведения экспериментов было выявлено что: образец чистого УУКМ полностью пропитался кремния с образованием карбида кремния, УУКМ с покрытием из карбида тантала характеризуется незначительным изменением процентного состава элементов по всей глубине исследования, на образце УУКМ с подслоем молибдена было обнаружено соединение дисилицида молибдена и карбида кремния, что подтверждено фазовым анализом.

Таким образом, в ходе жидкофазного силицирования удалось получить тугоплавкие и термостабильные соединения карбидов и силицида.

### **Литература**

1. Фиалков А.С. Углерод: межслоевые соединения и композиты на его основе, М., Аспект пресс, 1997.
2. Гуняев Г.М. Авиационные материалы на рубеже XX–XXI веков, 1994, 228-231.
3. Fitzer H., Hüttner W. Structure and strength of carbon-carbon composites 1981, 14(2), 347-374.

### Секция 3 «Материалы для медицины и экологии»

## БИОКЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО КОМПОЗИТА $ZrO_2(MgO) - MgO$

Ткачев Д.А., Буяков А.С.

Томский политехнический университет

E-mail: d.tkachev11@gmail.ru

Научный руководитель: Кульков С.Н.,  
д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией керамических  
композиционных материалов Института физики прочности и  
материаловедения СО РАН, г.Томск

Особый интерес представляют композитные керамические материалы на основе диоксида циркония ( $ZrO_2$ ) и оксида магния ( $MgO$ ), ввиду высоких прочностных свойств, коррозионной стойкости и биологической совместимости компонент. При использовании в качестве остеозамещающего такой композит способен ускорять регенерацию костной ткани в приконтактной области за счет участия ионов магния в процессах синтеза и стабилизации молекул ДНК, а поровая структура композита способствует пролиферации костной ткани в объеме имплантата [1].

Изучаемая в работе керамика  $ZrO_2(MgO) - MgO$ , получена путем холодного одноосного прессования механических смесей порошков диоксида циркония  $ZrO_2(MgO)$  и оксида магния ( $MgO$ ) в различных концентрациях, а также сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), в качестве порообразующих частиц в объеме 50%. Образцы спекались при температуре  $1600^\circ C$  с изотермической выдержкой в течение часа. Анализ микроструктуры с помощью растровой электронной микроскопии показал, что керамики обладают бимодальной пористостью со средним размером пор от 30 до 110 мкм. Прочность композита соответствует механическим параметрам губчатой части неорганического костного матрикса. *In vitro* исследования показали, что материал не обладает цитотоксичностью, а мультипотентные мезенхимальные стволовые клетки (ММСК) при культивировании на поверхности образцов сохраняют высокую жизнеспособность.

### Литература

1. Buyakov A., et al. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, 175, 1-5.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИИ ГИБРИДНЫХ КАЛЬЦИЙ- ФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ К ТИТАНОВЫМ ИМПЛАНТАТАМ**

**Харапудченко Е.А.**

Томский политехнический университет

E-mail: [kleine\\_harey92@mail.ru](mailto:kleine_harey92@mail.ru)

Научный руководитель: Твердохлебов С.И.,  
к.ф.-м.н., доцент Томского политехнического университета, г. Томск

Разработка эффективных имплантатов для регенерации костной ткани, содержащих металлический каркас и кальций-фосфатное покрытие, не возможна без создания хорошего адгезионного слоя между металлической подложкой и слоем биосовместимого покрытия.

Адгезией называют молекулярную связь, возникающую между поверхностями разнородных тел, приведенных в контакт. Удельная работа разрушения адгезионной связи является количественной характеристикой соединения. Таким образом, количественно об адгезии судят по работе, затраченной на разрушение адгезионного соединения.

Гибридные кальций-фосфатные покрытия были сформированы на поверхности титановых образцов комбинацией двух отработанных методов: микродугового оксидирования (МДО) и высокочастотного магнетронного распыления (ВЧМР) мишени из гидроксиапатита. Было сформировано шесть видов различных покрытий, применяемых в медицине. Исследования морфологии покрытий проведены с использованием сканирующей электронной микроскопии и рентгенофазового анализа. Элементный состав покрытий выявлен с помощью энергодисперсионного анализа. Исследования шероховатости покрытий проведены согласно ГОСТ 2789-73 [2]. Определена величина нанотвердости и модуля упругости пленок. Изучение адгезионных свойств композитных покрытий к титановой подложке в зависимости от типа сформированного покрытия на ее поверхности проводили согласно рекомендациям ГОСТ Р 52641-2006 [1].

### **Литература**

1. ГОСТ Р 52641-2006 Имплантаты для хирургии. Стандартный метод испытаний для проверки на сдвиг фосфатно-кальциевых и металлических покрытий, Москва, Стандартформ, 2007.
2. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики, Москва, Стандартформ, 2006
3. Kharapudchenko E., et al. J. of Physics: Conf. Series, 2017, 789, 012025.

## **КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КРИОГЕЛЯ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ЖЕЛАТИНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИМПЛАНТАТОВ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ**

**Пляскина А.А., Лыткина Д.Н.**

Томский государственный университет

E-mail: n08.paa1996@gmail.com

Научный руководитель: Курзина И.А.,  
д.ф.-м.н., доцент Томского государственного университета, г.Томск

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ), в частности, атеросклероз является одним из наиболее социально-значимых заболеваний. Для лечения подобных заболеваний используют сосудистые трансплантаты, которые должны обладать такими важными свойствами, как биосовместимость, пористость и эластичность [1]. Наибольшее развитие получили синтетические протезы, изготовленные из политетрафторэтилена или полиэтилентерефталата, однако зачастую свойства этих материалов не соответствуют свойствам сосудов человека [2]. Одними из наиболее перспективных материалов являются материалы на основе криогелей поливинилового спирта (ПВС), так как они обладают всеми требуемыми свойствами и являются биodeградируемыми.

Целью данной работы являлось получение биосовместимого материала на основе ПВС, который будет соответствовать механическим и гидродинамическим свойствам среднего сосуда человека.

Синтез материала состоял из следующих этапов: к 8 %-ному раствору ПВС добавляли желатиновые порошки в разных соотношениях, которые улучшают механические свойства и увеличивает пористость материалов. Приготовленные смеси заливали в форму для получения трубок с внутренним диаметром 3 мм. Далее сформированные трубки подвергали нескольким циклам заморозки/оттаивания при  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Затем композиты выдерживали в воде при  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 72 часов для удаления желатина [3]. В результате были получены полые упругие пористые трубки криогеля ПВС со свойствами, подходящими для применения их в качестве протезов сосудов среднего размера.

### **Литература**

1. Teresa Simon-Yarza., et al. Journal of Cardiovascular Translational Research, 2017, 1-14.
2. Lucereau B. et al. Journal Annals of Vascular Surgery, 2015, 29(6), 1300-1306.
3. Lin J.-H. et al. Journal Materials Letters, 2015, 190, 201-204.

## МОДИФИКАЦИЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОЗОДОПОЛНЯЮЩИХ АГЕНТОВ

Баулин А.А.<sup>1,2</sup>, Сухих Е.С.<sup>2</sup>, Сухих Л.Г.<sup>1</sup>, Шейно И.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.

<sup>2</sup>Томский областной онкологический диспансер, г. Томск.

<sup>3</sup>ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва  
baylin1991@tpu.ru

Научный руководитель: Потылицын А.П.,  
д.ф.-м.н., профессор Томского политехнического университета, г.Томск

Существует возможность повышения относительной биологической эффективности лучевой терапии с применением дозодополняющих агентов, вводимыми в опухоли. Ожидаемая эффективность достигается за счет «фотон-захватных» взаимодействий [1,2]. В данном процессе после взаимодействия фотонов с ядрами тяжелых элементов ( $Z \geq 53$ ) рождается большое количество характеристических фотонов рентгеновского излучения и низкоэнергетических Оже-электронов. Вторичное низкоэнергетическое излучение ионизирует близлежащие атомы, что приводит к лавинообразной реакции возникновения высокоактивных радикалов, что, в свою очередь, ведет к разрушению макромолекул ДНК и РНК, белков и различных структур клетки. Если дозодополняющий агент находится в клетке опухоли (в ядре или других критических органах клетки), то процесс может значительно увеличить вероятность гибели опухолевых клеток [3].

Целью данной работы является экспериментальное исследование и оценка зависимости «поглощённая доза – эффект выживаемости опухолевых клеток» при разных концентрациях дозодополняющих химиотерапевтических препаратов.

### Литература

1. Apanasevich V.I et al. Method of photon-capture therapy of tumors. SBE ИИPE PSMU Russian Ministry of Health. RU2533267(13)C1. Режим доступа: [http://www.ntpo.com/patents\\_medicine.html](http://www.ntpo.com/patents_medicine.html)
2. Sanche L. et al. Radiation Physics and Chemistry, 2016, 128, 36-43.
3. Kassis A.I. et al. Seminars in Nuclear Medicine, 2008, 38(5), 358-364.

## РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЕТЕРОГЕННОГО ФАНТОМА ГОЛОВНОГО МОЗГА ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕРМИИ

Григорьева А.А.

Томский политехнический университет

E-mail: anngrigorievabr@gmail.ru

Научный руководитель: Стучебров С.Г.,  
к.ф.-м.н., старший научный сотрудник кафедры прикладной физики  
Томского политехнического университета, г. Томск

В современной онкологии прослеживается четкая тенденция к применению комплексного лечения проведения сеансов лучевой терапии в сочетании с хирургическими методами и химиотерапией, с целью улучшения эффективности [1]. Для увеличения радиочувствительности опухолей применяются специальные физические и химические воздействия. Одним из перспективных подходов является сочетание локальной гипертермии с лучевой терапией, позволяющее повысить эффективность лечения радиорезистентных опухолей [2].

Целью локальной гипертермии является достижение оптимальной тепловой дозы в опухоли, не превышающей пределы толерантности окружающих нормальных тканей. Особенно важным является контроль температуры при проведении сеансов локальной гипертермии злокачественных новообразований головного мозга [3]. Так как проведение *in-vivo* термометрии возможно только при нарушении целостности черепной коробки возникает необходимость в наличии тканеэквивалентного фантома головы.

Данная работа направлена на разработку материалов для создания гетерогенного фантома головы, моделирующих реальные электрические свойства нормальных тканей, опухоли и ликвора. Для этих целей на основе агарового геля был получен тканеэквивалентный материал мозговой ткани и глиомы. На основе солевого раствора был получен эквивалент ликвора. Методом послойного наплавления изготовлена черепная коробка из ударопрочного полистирола.

### Литература

1. Всемирная организация здравоохранения. Режим доступа: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/ru/>
2. Чойнзонов Е.Л. и др. Бюллетень сибирской медицины, 2014, 13(3), 119-126.
3. Sahinbas H., et al. Electromagnetic Biology and Medicine, 2017, 1-11.



## **ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА РАЗМЕР ЧАСТИЦ $Al_2O_3$**

**Толкачёва Ю.И.**

Томский политехнический университет

E-mail: ershova-july@mail.ru

Научный руководитель: Годымчук А.Ю.,  
к.т.н., ведущий эксперт Национального исследовательского  
технологического университета «МИСиС», г.Москва

Промышленные нанопорошки все больше используются в различных отраслях промышленности [1]. Поэтому, для различных целей применения необходимо готовить водные суспензии наночастиц, устойчивых к спонтанной агрегации и седиментации [2]. Добавление поверхностно-активных веществ (ПАВ) является широко используемым подходом к диспергированию мелких частиц в водной среде, и это позволяет получать не осаждающиеся гидрозолы различных композиционных наночастиц [3].

В данной работе исследовали влияние концентрации лимонной и аминокислот в концентрациях 0,5...5...10...20 г/л на размер частиц промышленных нанопорошков  $Al_2O_3$  со средними размерами частиц 50 нм и средним размером агрегатов 335 нм (данные ПЭМ). Степень агрегации оценивали по изменению среднего размера частиц, рассчитанного из распределения частиц по размерам, получаемым не менее трех раз помощью лазерного анализатора SALD-7101, Shimadzu (Япония). В работе перед добавлением ПАВ суспензии подвергали УЗ-обработке в течении 30 минут.

В отсутствие ПАВ средний размер агрегатов составлял 1,3 мкм. По мере увеличения концентрации кислот размер агрегатов снижается: в ряду 0,5...5...10...20 г/л размер агрегатов составляет 1,9...1,7...1,5...0,9 и 3,8...1,9...1,8...1,7 мкм, соответственно в лимонной и аминокислоте.

### **Литература**

2. Bellotti N., et al. Progress in Organic Coatings, 2015, 86, 33–40.
3. Кустов О.Ю. и др. Вестник ПНИПУ, Пермь, 2014, 36, 131.
4. Studart A.R., et al. Langmuir, 2007, 23, 1081-1090.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗНЫХ ВИДОВ ПЛАСТИКОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРОНОВ**

**Данилова И.Б.**

Томский политехнический университет

E-mail: irisna2809@gmail.com

Научный руководитель: Милойчикова И.А.,  
ассистент Томского политехнического университета, г. Томск

Для современного общества остается приоритетной проблема онкологических заболеваний. Совместные усилия радиологов, медицинских физиков, хирургов и химиотерапевтов направлены на борьбу с раком. Быстрые моноэнергетические электроны широко применяются для лечения поверхностных опухолей, а так же при проведении интраоперационной лучевой терапии [1]. При работе с такими пучками существует необходимость формирования сложных полей для облучения опухолей расположенных близко к критическим органам, играющим важную роль в жизнеобеспечении организма. Большинство современных медицинских ускорителей комплектуются стандартными аппликаторами, которых недостаточно для решения таких задач. Одним из способов формирования сложных полей является изготовление металлических коллимирующих устройств неправильной формы, однако это требует значительных затрат времени и средств. Альтернативой может стать использование аддитивных технологий. Для этих целей предложен новый способ формирования полей медицинских пучков электронов с заданными параметрами профиля пучка на основе изделий, созданных посредством применения технологий быстрого прототипирования. Ранее авторами была доказана работоспособность предложенного метода для пучков электронов исследовательских ускорителей [2,3]. Данное исследование направлено на анализ пригодности разных видов пластиков (АБС, ПЛА, ударопрочный полистирол) для формирования терапевтических пучков электронов с помощью изделий сложной формы.

### **Литература**

1. Мусабаева Л.И. и др. Медицинская радиология и радиационная безопасность, 2012, 57(2), 78-82.
2. Miloichikova I.A., et al. Physics of Particles and Nuclei Letters, 2016, 13(7) 890-892.
3. Красных А.А., и др. Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», 2017, 6(2) 7-11.

## **СПОСОБ СОЗДАНИЯ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ КТ-ЧИСЛАМИ**

**Переверзева М.А.**

Томский политехнический университет

E-mail: marinapereverzeva1994@gmail.com

Научный руководитель: Стучебров С.Г.,  
к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Томского политехнического  
университета, г. Томск

Лучевая терапия в сочетании с химиотерапией и хирургическим методом показывает хорошие результаты лечения онкологических заболеваний. Для достижения основной цели лучевой терапии, максимального облучения очага и минимизации вреда на нормальные ткани, перед лечением проводится тщательное планирование процедуры для нахождения оптимального распределения дозы в объеме тела пациента [1]. Обязательным этапом проведения лучевой терапии является обеспечение гарантии качества сеансов лечения. Общепринятым на сегодняшний день является проведение клинической дозиметрии и верификация планов облучения с использованием типовых тканеэквивалентных фантомов, что подразумевает множество допущений и не учитывает индивидуальные особенности пациента [2].

Существует необходимость в новых персонифицированных экспериментальных подходах к верификации сеансов лучевой терапии. Одним из таких подходов может стать использование индивидуальных фантомов, изготовленных с анатомической точностью посредством применения аддитивных технологий. Для этих целей авторами предложен способ создания новых пластиковых материалов с заданными КТ-числами [3]. Изменение плотности материала достигается путем смешивания пластиковой базы с мелкодисперсными металлическими порошками. Из полученных модифицированных материалов были изготовлены филаменты и напечатаны тестовые образцы. Работа направлена на определение КТ-чисел тестовых образцов и нахождение их зависимости от массовой доли металлической примеси при разработке материалов, необходимых для создания фантома на основе реальных томографических данных пациента.

### **Литература**

1. Великая В.В. и др. Вопросы онкологии, 2015, 61(4), 583-585.
2. Артемова Н.А. и др. Онкологический журнал, 2007, 1(1), 28-36.
3. Stuchebrov S.G., et al. Eur. J. Nucl. Med. Molecular Imaging, 2016, 43, Supplement 1, 411 [981011-2016].

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ PLLA МАТРИКСОВ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ МЕДНОЙ МИШЕНИ ДЛЯ ПРИДАНИЯ ИМ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ СВОЙСТВ

Бадараев А.Д.

Томский политехнический университет

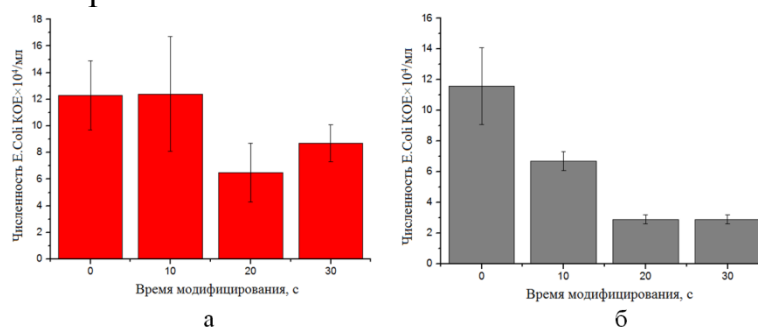
E-mail: ars.2010@yandex.ru

Научный руководитель: Твердохлебов С.И.,  
к.ф-м.н., доцент Томского политехнического университета, г. Томск

Методом электроспиннинга были сформированы биodeградируемые матрицы из полимера полимолочной кислоты (PLLA – poly-l-lactide acid). Методом магнетронного распыления медной мишени на постоянном токе (DC – direct current) была модифицирована поверхность матриц [1]. Модифицированные матрицы были автоклавированы с целью их стерилизации [2].

Исследования морфологии, структуры и элементного состава матриц проводились методами электронной микроскопии, рентгеновской дифракции и рентгенофлуоресцентного анализа. Для определения смачиваемости поверхности матриц были рассчитаны углы смачивания поверхности образцов водой и глицерином.

Исследования антибактериальных свойств образцов показали, что модифицированные матрицы обладают бактериостатическими свойствами [3], поскольку подавляют размножение бактерий кишечной палочки (рис.). Образцы после автоклавирования обладают более выраженными бактериостатическими свойствами.



**Рис.** Численность бактерий в растворе с образцами матриц, модифицированных при различных временах распыления медной мишени, – (а); с образцами после модифицирования и автоклавирования – (б).

### Литература

1. Volbasov E., et. al. Applied Surface Science, 2016, 398(8), 63-72.
2. Тапальский Д.В., и др. Проблемы здоровья и экологии, 2013, 2(36), 129-134.
3. G. Grass, et. al., Applied and Enviromental Microbiology, 2011, 77(5), 1541-1547.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБНОСТИ К ОСТЕОГЕНЕЗУ ПОЛИЛАКТИДА, ГИДРОКСИАПАТИТА И КОМПОЗИТА НА ИХ ОСНОВЕ**

**Карасева С.А.**

Томский государственный университет

E-mail: svetlana\_karasyova\_1997@mail.ru

Научный руководитель: Курзина И.А.,

д.ф.-м.н., доцент Томского государственного университета, г. Томск

В настоящее время особую популярность приобретают биосовместимые материалы, предназначенные для различных отраслей медицины. Это, прежде всего, полимерные матрицы, включающие в свой состав неорганический наполнитель. Данные материалы широко применяются в ортопедии, занимающейся диагностикой и лечением деформации костно-мышечной системы. К таким материалам выдвигается ряд требований, одним из которых является остеогенез, т.е. стимулирование роста новой костной ткани.

Цель данной работы – исследовать способность к остеогенезу полилактида (ПЛ), гидроксиапатита (ГА) и композита на их основе (ПЛ/ГА) с массовым соотношением компонентов 70/30 в среде, приближенной по минеральному составу и уровню pH к плазме крови человека.

ГА и композит были получены по методикам, представленным в статьях [1] и [2] соответственно. В качестве среды использовали SBF-раствор, приготовленный по методике [3]. Оценку способности к остеогенезу проводили по исследованию процесса формирования нового кальций-фосфатного слоя, имитирующего костную ткань, на поверхности материалов в течение 28 дней. Формирование новообразованного слоя определяется накоплением ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  на поверхности образцов.

Было установлено, что скорость накопления ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  на поверхности ПЛ, ГА и композита ПЛ/ГА 70/30 при выдерживании в SBF-растворе носит линейный характер и для композита выше, чем для составляющих его компонентов.

### **Литература**

1. Rasskazova L., et al. *Rus. J. Appl. Chem.*, 2013, 86(5), 691-695.
2. Рассказова Л. А. и др. *Жур. прикл. химии*, 2015, 88(4), 639-645.
3. Kokubo T., et al. *Biomaterials*, 2006, 27(15), 2907-15.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКА НА  
ПРЕССУЕМОСТЬ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ  
АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ  
РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ КЛА  
Досеке У.А.**

Томский политехнический университет

E-mail: dosekeev.ulantai@mail.ru

Научный руководитель: Петюкевич М.С.,  
ассистент кафедры наноматериалов и нанотехнологий Томского  
политехнического университета, г.Томск

Проведено исследование микроструктуры и фазового состава порошковых смесей  $AMg6-B_4C-W$  с различным процентным содержанием наполнителей [1,2]. Проведено компактирование порошковых смесей с ультразвуком и без него, проведено исследование плотностей и микроструктуры полученных образцов.

Для получения образцов композитных материалов использовали метод одноосного прессования в закрытых жестких пресс формах с приложением ультразвука и без него. Плотность композитов, полученных с приложением ультразвуковых колебаний достигает 93,6 %, что значительно превышает плотность образцов полученных при обычном прессовании. Проведённые исследования морфологических и структурных характеристик композитного материала показали, что применение ультразвуковых колебаний при прессовании способствует повышению относительной плотности. Таким образом, был выявлен режим компактирования, который позволит оптимизировать затраты на достижение максимальной плотности и минимизировать массогабаритные характеристики изделий.

### **Литература**

1. Гульбин В.Н., Петрунин В.Ф. Материалы VIII Всероссийской конференции «Физикохимия ультрадисперсных (нано-) систем», Белгород, 10-14 ноября 2008, С.16-21.
2. E. S. Dvilis, et al. Journal of Minerals, Metals & Materials Society (TMS), 2016, 68, 908-918.

## ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ МОНОЦИТОВ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ *IN VITRO*

Шляхтун А.С.

Томский государственный университет

E-mail: lonelynw59@gmail.com

Научный руководитель: Чурина Е. Г.,  
д.м.н., профессор Сибирского государственного медицинского  
университета, г.Томск

Методика выделения моноцитов из крови человека для исследования биосовместимости материалов, предназначенных для внедрения и функционирования *in vivo*, должна обеспечивать получение максимально возможного количества клеток высокой чистоты, способных выживать в течение длительного времени.

Целью работы являлась отработка методики выделения моноцитов из периферической крови человека и условий их культивирования для проведения исследований. В данной работе выбрали методику, описанную в [1], и позволяющую получать чистоту клеточной популяции в пределах 95-99 %, однако применение находят и другие способы выделения моноцитов из лейкоцитарной фракции [3]. Многоэтапность выделения клеток увеличивает их потери [2], поэтому нами была опробована методика магнитной сортировки (MACS) с использованием CD14-позитивной селекции, призванная снизить потери клеток.

В результате работы была получена клеточная фракция (~70 млн клеток) с чистотой 88-92 % и количеством, достаточным для проведения исследований культуры моноцитов/макрофагов *in vitro*.

*Данное научное исследование выполнено при финансовой поддержке научного фонда имени Д.И. Менделеева.*

### Литература

1. Выделение моноцитов из крови человека для изучения влияния факторов внешней среды на иммунитет. Режим доступа: <http://inat.ru/ru/publications/2009-2012/vydelenie-monotsitov-iz-krovi-cheloveka-dlya-izucheniya-vliyaniya-faktorov-vneshnej-sredy-na-immunitet>.
2. Никифоров Н.Г. Современный мир, природа и человек, 2011, 2(1), 108-110.
3. Ковальчук Г.А. и др. Иммунология. Практикум: учебное пособие, М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010, 194 с.

## **ВЛИЯНИЕ pH НА РАЗМЕР НАНОЧАСТИЦ $Al_2O_3$ В РАСТВОРАХ КАРБОКСИЛАТ-АНИОНОВ**

**Толкачёва Ю.И.**

Томский политехнический университет

E-mail: ershova-july@mail.ru

Научный руководитель: Годымчук А.Ю.,  
к.т.н., ведущий эксперт Национального исследовательского  
технологического университета «МИСиС», г.Москва

Важной проблемой в применении наночастиц является их агрегация [1]. При попадании в водные среды наночастицы со средним размером 1...100 нм могут образовывать агрегаты с размерами до 200 мкм, тем самым, снижая рабочую площадь поверхности частиц, а, следовательно, влияя на их эффективность в большинстве применений [2]. При этом на агрегацию при низких концентрациях частиц в суспензии очень сильное влияние оказывает кислотность дисперсионной среды [3].

В данной работе исследовали влияние pH дисперсионной среды на степень агрегации нанопорошков  $Al_2O_3$  со средними размерами частиц 50...140...250 нм в растворах лимонной кислоты (10 г/л). Показано, что влияние pH на адсорбцию ПАВа неоднозначно и сильно зависит от исходного размера частиц. Для  $Al_2O_3$ -50 и  $Al_2O_3$ -140 в ряду pH=3...6...10 агрегация усиливается, и средний размер агрегатов составляет 0,4...0,7...2,6 и 3,0...9,3...7,2 мкм, соответственно. Для нанопорошков  $Al_2O_3$ -250 при pH=3...6...10 размер частиц составляет 5,5...1,2...1,3 мкм.

### **Литература**

1. Huijun He., et al. J. Env. Sci., 2017, 54, 135-141.
2. Badawy A.M., et al. Env. Sci. Technol., 2010, 44 (4), 1260-1266.
3. Zhang W., et al. Env. Sci. Technol., 2012, 46(13), 7054-7062.



## **ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРА ЛАКТИДА И ГЛИКОЛИДА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СОСУДОВ** **Радионон Н.С.**

Томский государственный университет

E-mail: nikolaj-radionov@mail.ru

Научный руководитель: Курзина И.А.,  
д.ф.-м.н., профессор Томского государственного университета, г.Томск

Ежегодно в мире умирает больше 15 млн. человек от сердечно-сосудистых заболеваний, таких как ишемическая болезнь сердца, инсульт и др. Лечение подобных заболеваний требует наличия шунта, которым зачастую является собственный сосуд пациента [1]. Подобный по свойствам обычному сосуду имплант может быть изготовлен из полимерных материалов, которые должны обладать следующими свойствами: биоразлагаемость, биосовместимость, шероховатость и др. [2]. Целью данного исследования является получение полимерного материала с вышеуказанными свойствами для имплантации кровеносных сосудов.

Были получены пленки сополимера лактида и гликолида (далее СЛГ) по методике описанной Миллером [3]. Навеску СЛГ (80/20 мас. %;  $80 \cdot 10^3$  ММ; полилактид/полигликолид) растворили в хлороформе. Из полученного раствора отливали пленки в чашки Петри и высушивали. Образовавшиеся пленки обрабатывались для создания шероховатости и определенной структуры поверхности: 0,1 н NaOH в течение 10 минут, 10 н NaOH в течение 1 часа, один образец не обрабатывался. После обработки пленки промывались дистиллированной водой и высушивались в вакуумном эксикаторе. Проводилась СЭМ для исследования поверхности пленок: обработанные образцы имеют различного рода структурные образования на поверхности. Таким образом, были получены пленки СЛГ, которые могут быть пригодны для использования в качестве материала для имплантации сосудов малого диаметра (малые вены и артерии).

### **Литература**

1. Медиа Центр Всемирной Организации Здравоохранения. Режим доступа: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/>.
2. ГОСТ Р ИСО 7198-2013 Имплантаты для сердечно-сосудистой системы. Трубочатые сосудистые протезы.
3. Derick C. Miller., et al. Biomaterials, 2004, 25, 53-61.

## **ВЛИЯНИЕ ИОНОВ СЕРЕБРА И УГЛЕРОДА НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИЛАКТИДА, ГИДРОКСИАПАТИТА И КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ**

**Лапуть О.А.<sup>1</sup>, Васенина (Пухова) И.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Институт сильноточной электроники СО РАН

E-mail: olesyalaput@gmail.com

Научный руководитель: Курзина И.А.,  
д.ф-м.н., профессор Национального исследовательского Томского  
государственного университета, г.Томск

Гидроксиапатит (ГА) является основной минеральной составляющей натуральной костной ткани, но не может применяться в качестве имплантатов в чистом виде, поэтому важное практическое значение имеют композиты на основе биосовместимого и нетоксичного полимера полилактида (ПЛ).

Модификация полимерных и композиционных материалов пучком ионов является перспективным методом обработки поверхности, благодаря широкому диапазону режимов ведения процесса [1]. В настоящей работе рассмотрено влияние имплантации ионов серебра и углерода при экспозиционных дозах  $1 \cdot 10^{15}$  и  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>, ускоряющем напряжении 20 кВ и энергии ионов 40 кэВ и 20 кэВ, соответственно, на таблетки из полилактида (ПЛ), гидроскиапатита (ГА) и композитов на их основе (ПЛ/ГА) в соотношении 80/20 и 60/40, исследован химический состав и оценена морфология поверхности материалов. По результатам ИК-спектроскопии в спектрах ПЛ после облучения наблюдается общее снижение интенсивности полос поглощения, при этом увеличивается количество метильных, метиновых и С-О-С групп. Полосы поглощения, соответствующие колебаниям фосфатных групп ГА, лежат в интервалах, соответствующих справочным данным [2]. В спектрах композитов имеются полосы, характерные как для ПЛ, так и для ГА. При этом смещений или новых полос не обнаружено, что свидетельствует об отсутствии новых химических связей между исходными компонентами материала в процессе получения композитов. По данным СЭМ, структура поверхности после введения ионов серебра и углерода с экспозиционной дозой  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup> пористая, на поверхности композитов имеется четкое разделение фаз полилактида и гидроксиапатита.

### **Литература**

1. Popok V. N. Rev. Adv. Mater. Sci. 2012, 30, 1-26.
2. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений, М.: Мир, 1991.

## **Секция 4 «Материалы для повышения качества жизни»**

### **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ГАЗОГИДРАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Кучерявченко У.Д.**

Томский архитектурно-строительный университет

E-mail: ulyana018@mail.ru

Научный руководитель: Кожухарь Т.А.,  
к.г.-м.н., доцент Томского архитектурно-строительного университета,  
г. Томск

Современное общество уже сейчас начинает испытывать ограниченность традиционных ресурсов на Земле. Для выхода из энергетического кризиса должен быть использован эффективный источник, который способен полностью обеспечить потребности растущих мировых экономик. В связи с этой необходимостью можно рассматривать газовые гидраты как потенциальный источник топлива.

Изучением газовых гидратов плодотворно занимаются геофизики разных стран. Ученые единогласно утверждают – «Планета буквально напичкана газогидратами». Прогнозируемые запасы газового гидрата – более 25000 трлн. кубометров [1].

Особенностью этого нетрадиционного ресурса является постоянная устойчивость при низких температурах и повышенном давлении. Газовые гидраты представляют собой твердые кристаллические соединения низкомолекулярных газов с водой [2].

На сегодняшний день обнаружено свыше 220 месторождений газогидратов. Общая территория, где подобные залежи могут быть обнаружены в России, составляет более 60 % территории. Добыча газогидратов уже ведется на Ямбургском, Бованенковском, Уренгойском, Мессояхском месторождениях [3].

В целом, разработка газогидратов в России является перспективной идеей двадцать первого века благодаря положительным аспектам. Огромная распространенность источника энергии, неглубокое залегание углеводородов в пласте является благоприятствующим фактором для развития полноценной добычи.

#### **Литература**

1. Макогон Ю.Ф. Гидраты природных газов, М., Недра, 1981.
2. Макогон Ю.Ф. Российский химический журнал, 2003, 48(3), 70-79.
3. Якушев В.С. и др. Ресурсы и перспективы нетрадиционных источников газа в России, М., ООО «ВНИИГаз», 2002.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ZrC/C

<sup>1</sup>Рыгин А.В. <sup>1</sup>, Мировой Ю.А. <sup>2</sup>, Бурлаченко А.Г.

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Томский государственный Ууниверситет

E-mail: alexandr.rygin@gmail.com

Развитие авиационной и ракетно-космической отраслей имеет не только социально-экономическую значимость, но и стратегическую важность. Высокотемпературные материалы играют важную роль в создании сверхзвуковых летательных аппаратов, а также газотурбинных двигателей нового поколения. Традиционные материалы не способны преодолеть температурный порог эксплуатации в 2000 °С, как правило рабочая температура данных материалов составляет 1600-1700 °С [1].

Карбиды переходных металлов IV-V групп обладают температурой плавления свыше 3000 °С, также в процессе работы при повышенных температурах происходит формирование устойчивого оксидного покрытия, что может говорить о возможности эксплуатации данных материалов при температурах близких к 2000 °С или даже значительно превышающих данную температуру [2]. Карбид циркония ZrC и карбид-углеродные композиционные материалы благодаря высокой твердости, прочности, высокотемпературной устойчивости и относительно не высокой плотности способны решить поставленную задачу [3].

Методом горячего прессования получены керамические образцы композиционной системы ZrC/C. В результате установлено, что с увеличением содержания углерода происходит снижение относительной плотности и, следовательно, увеличение пористости полученных композитов. Снижение показателей твердости и прочности также отмечено в данном направлении. Таким образом, полученные данные совпадают с ожидаемыми результатами: незначительное снижение прочности и твердости за счет добавки углерода, позволяет существенно увеличить ударную вязкость полученных композитов. В свою очередь, высокая пористость позволит лучше реализовать процесс теплозащиты.

### Литература

1. Каблов Е.Н. Авиационные материалы и технологии, 2012, 5, 7-17.
2. Matović B, Yano T. Handbook of Advanced Ceramics: Materials, Applications, Processing, and Properties, 2013, 225-244.
3. Mallick A.R., et al. Review Advanced Materials Science, 2016, 44(2), 109-133.

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА**

**Матц О.Э.**

Новосибирский государственный технический университет

E-mail: o.matts@mail.ru

Научный руководитель: Батаев И.А.,

к.т.н., доцент Новосибирского государственного технического  
университета, г. Новосибирск

Титан и его сплавы являются важнейшими конструкционными материалами. Наряду с комплексом полезных свойств эти материалы обладают рядом недостатков. Титановые сплавы имеют низкие триботехнические свойства [1]. Поэтому существует необходимость создания износостойких слоёв на поверхности титана и его сплавов. Известно, что формирование алюминидов титана на поверхности титана позволит существенно повысить его прочностные свойства [2].

Цель настоящей работы заключалась в изучении структуры и свойств слоёв, полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошков титана и алюминия на поверхности титанового сплава ВТ1-0.

Результаты исследования методом оптической микроскопии показали, что с уменьшением содержания алюминия в порошковой насыпке снижается количество дефектов в слоях. А исследованием фазового состава установлено, что сформированы одно-, двух- и трехфазные слои. Микротвердость наплавленных слоёв составила от 450 до 600 НВ, при этом микротвердость титанового сплава ВТ1-0 составила 180 НВ. В условиях трения о закрепленные частицы абразива износостойкость наплавленных слоёв образцов с содержанием алюминия в насыпке 20-25 гр. в 2,3-2,5 раза выше по сравнению с исходным материалом титаном.

Таким образом, были рекомендованы оптимальные режимы формирования качественных интерметаллидных слоёв на поверхности титанового сплава.

### **Литература**

1. Чечулин Б.Б. и др. Титановые сплавы в машиностроении, Ленинград: Машиностроение, 1977.
2. Zhang Y., et al. Advanced Materials Research, 2011, 146-147, 1638-1641.

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВОДОРОДА НА АНАЛИЗАТОРЕ ВОДОРОДА RHEN602 ФИРМЫ LECO**

**Бабихина М.Н.**

Томский политехнический университет

E-mail: m.babihina@mail.ru

Научный руководитель: Кудияров В.Н.,  
ассистент Томского политехнического университета, г.Томск

Материалы-накопители водорода (МНВ) являются основным материалом исследований водородной энергетики, разработка которых является основной и первостепенной задачей. Необходимо производить оценку критериев взаимодействия водорода с МНВ, а также исследование их свойств. Одним из основных критериев МНВ является водородная емкость, которую необходимо отслеживать.

Одним из способов определения концентрации водорода является метод экстракции в среде инертного газа [1,2], принцип работы которого заложен в анализатор водорода RHEN фирмы LECO [3]. Данный анализатор является очень чувствительным для определения малых концентраций. Однако, при измерении больших концентраций происходит превышение порога чувствительности анализатора и невозможно с большой достоверностью определить концентрацию водорода в исследуемой пробе.

Таким образом, целью данной работы является разработка методики для измерения высоких концентраций водорода в материалах накопителях водорода методом плавления пробы в среде инертного газа. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: 1. Выбор и обоснование выбора направлений исследования; 2. Подбор минимальной температуры начала анализа; 3. Подбор оптимального размера шагов нагрева печи и их числа; 4. Установление максимально возможной массы пробы; 5. Определение точности разработанной методики.

### **Литература**

1. Проценко О.М., Электронный научный журнал «Труды ВИАМ», 2014, (12), 1-5.
2. Григорович К.В. Диагностика материалов, 2007, 73(1), 23-34.
3. Определение общего и поверхностного водорода методом плавления в атмосфере инертного газа. Режим доступа: <http://ru.leco-europe.com/product/rhen602/>.

## **ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ПО ГИДРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

**Цуран Д.В.**

Томский государственный университет

E-mail: curan-dasha@mail.ru

Научный руководитель: Курзина И.А.,  
д.ф.-м.н., профессор Томского государственного университета, г. Томск

Гидридная технология основывается на трехстадийном получении сплавов: получение гидридов металлов (нагревание в потоке водорода); смешение и компактирование гидридов металлов и/или металлов и отжиг образцов (вакуум или инертная атмосфера) [1]. Отличительной особенностью этой технологии является то, что она позволяет создавать сплавы металлов, температуры плавления которых критически разные, и позволяет задавать градиентные свойства изменяющегося состава сплава по образцу. Технология позволяет обеспечить переход к созданию новых материалов, в том числе высокоэнтропийных сплавов (ВЭС) - сплавы, состоящих из пяти и более компонентов в равном эквимольном соотношении. Главной отличительной особенностью ВЭСов от традиционных сплавов является то, что сплавы имеют высокую энтропию смешения, которая, влияет на образование структур на основе твердых растворов высокоэнтропийных сплавов. Рассмотрен метод получения многокомпонентного сплава состава FeCrTiNiSc по гидридной технологии. Титан выбран в качестве базовой матрицы, легируемой другими металлами, с целью получения заданных механических и технологических свойств [2]. Сплавление отдельных гидридов с другими веществами определяется их сильными восстановительными свойствами, особенно при высоких температурах [3].

### **Литература**

1. Kosova N.I., et al. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, 112, 1-5.
2. Шайсултанов Д.Г. Структура и механические свойства высокоэнтропийных сплавов системы CoCrFeNiX (X=Mn, V, Mn и V, Al и Cu): дисс ... канд. техн. наук, Екатеринбург, 2015.
3. Мюллер В. и др. Гидриды металлов, М., Атомиздат, 1973.

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИХ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДОМЕННЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ШЛАКОВ**

**Хайдаров Б.Б.**

Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»

E-mail: bekozod1991@mail.ru

Научный руководитель: Кузнецов Д.В.,  
к.т.н., заведующий кафедрой Национальной исследовательского  
технологического университета «МИСиС», г.Москва

Тонкодисперсные вяжущие материалы применяются для укрепления грунтов, возведения фундаментов, проведения ремонтных работ, строительства подземных сооружений и аэродромов [1,2]. Отмечается, что данный материал имеет определенный гранулометрический состав (частицы имеют размер не более 16 мкм), позволяющий использовать его в технологии пропитки грунтов, гидроизоляции бетона [3,4].

Работа направлена на разработку технологии для получения импортозамещающих тонкодисперсных вяжущих на основе доменных гранулированных шлаков. Процесс получения тонкодисперсных вяжущих материалов, описанный в работе, состоит из помола доменного гранулированного шлака с применением аппарата вихревого слоя и последующей воздушной классификации с целью получения годной фракции с размером частиц менее 16 мкм.

Проведены исследования по оптимизации процесса получения, методом лазерной дифракции и электронной микроскопии проведены исследования гранулометрического состава и структуры образцов.

### **Литература**

1. Панченко А.И., Харченко И.Я. Строительные материалы, 2005, 10, 76-78.
2. Покровский Н.С. Пропиточная гидроизоляция бетона, М., Энергия, 1964.
3. Ашихмен В.А. Энергетическое строительство, 1992, 1, 15-17.
4. Харченко И.Я., Баженов М.И. Вестник МГСУ, 2012, 11, 172-175.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БАЗАЛЬТОКОМПОЗИТНЫХ ГИБКИХ СВЯЗЕЙ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ СРЕЗЕ

Федосимов А.С., Овчинников А.А.

Томский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: Lehandiy@sibmail.com

Научный руководитель: Родевич В.В.,

к.т.н., доцент Томского государственного архитектурно-строительного  
университета, г.Томск

На сегодняшний день в строительстве применяют трехслойные стеновые панели, соединение слоев в которых обеспечено за счет гибких связей [1], изготавливаемых в том числе из базальтокомпозитных материалов. Такие связи подвергаются действию поперечных сил. В настоящей работе приведены результаты испытаний на поперечный срез (табл.) для обоснования надежности гибких связей в расчете на длительный срок эксплуатации конструкций – 50 лет («старение» гибких связей выполнено по методике [2,3]).

**Таблица.** Результаты испытаний гибких связей на поперечный срез.

№ серии	Описание образца	Ср.значение прочности на срез, МПа	$C_v$	$\mu_{0,5}$
1	БК ГС (исх.сост.)	222,98	6,954	5,564
2	БК ГС (щ.возд.)	175,91	13,062	10,452

Вывод: по результатам проведенных испытаний снижение прочности гибких связей при поперечном срезе с учетом эксплуатации в среде бетона в течение 50 лет достигает до 25 %, что обусловлено снижением прочности сцепления наружной обсыпки базальтокомпозитных гибких связей с бетоном. Данные результаты должны учитываться при проектировании конструкций с применением стеклокомпозитных гибких связей.

### Литература

1. ГОСТ 31310-2005 Панели стеновые трехслойные железобетонные с эффективным утеплителем. Общитехнические условия.
2. ГОСТ 31938-2012 Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия.
3. Родевич, В.В., Овчинников А.А. Материалы III Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы», Томск, ТГАСУ, 2016, 206-211.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СТЕКЛОКОМПОЗИТНЫХ ГИБКИХ СВЯЗЕЙ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ СРЕЗЕ

Синявский А.И., Овчинников А.А.

Томский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: IriVanXXX@gmail.ru

Научный руководитель: Родевич В.В.,  
к.т.н., доцент Томского государственного архитектурно-строительного  
университета, г.Томск

В трехслойных стеновых панелях, применяемых в настоящее время в крупнопанельном домостроении [1], соединительные гибкие связи, выполненные из стеклокомпозитных материалов, подвергаются действию поперечных сил. Для обоснования их надежности проведены испытания гибких связей на поперечный срез с учетом длительного срока эксплуатации конструкций – в течение 50 лет («старение» гибких связей выполнено по методике [2,3]).

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

**Таблица.** Результаты испытаний гибких связей на поперечный срез.

№ серии	Описание образца	Ср.значение прочности на срез, МПа	$C_v$	$\mu_{0,5}$
1	СК ГС (исх.сост.)	275,94	5,780	4,625
2	СК ГС (щ.возд.)	239,67	1,510	1,208

Вывод: по результатам проведенных испытаний снижение прочности гибких связей при поперечном срезе с учетом эксплуатации в среде бетона в течение 50 лет не превышает 15 %, что должно учитываться при проектировании конструкций с применением стеклокомпозитных гибких связей.

### Литература

1. ГОСТ 31310-2005 Панели стеновые трехслойные железобетонные с эффективным утеплителем. Общитехнические условия.
2. ГОСТ 31938-2012 Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия.
3. Родевич, В.В., Овчинников А.А. Материалы III Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы», Томск, ТГАСУ, 2016, 206-211.

## **ПОЛУЧЕНИЕ МЕДЬ-МОЛИБДЕНОВОГО КОМПОЗИТА ПРИ ПОМОЩИ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ**

**Половинкина Ю.Н.<sup>a</sup>, Шаненкова Ю.Л.<sup>b</sup>**

Томский политехнический университет

E-mail: <sup>a</sup>xsestruhax@mail.ru, <sup>b</sup>julia\_kolganova@mail.ru

Научный руководитель: Ивашутенко А.С.,  
к.т.н., доцент Томского политехнического университета, г.Томск

Известно, что наиболее распространенная причина отказа электронных компонентов – превышение в них температуры больше допустимой [1], поэтому их устанавливают на различные пластины или подложки, используемые в качестве элементов отвода тепла. В работе предлагается получение таких пластин на основе медь-молибденовой керамики. Образцы получали на установке искрового плазменного спекания, предварительно поместив мелкодисперсные порошки молибдена и меди в пресс-формы в соотношении 70:30, причем молибден был получен электровзрывом проводников, а медь – плазмодинамическим методом [2]. Для полученных образцов был проведен рентгеноструктурный анализ, была изучена микроструктура, а также измерены характеристики твердости и теплопроводности. По результатам рентгеноструктурного анализа стало известно, что основными фазами в полученных продуктах являются молибден и медь. Также был обнаружен вольфрам в небольшом процентном содержании. При измерении упомянутых выше характеристик можно сделать вывод о том, что наиболее оптимальной температурой спекания является 1040 °С, т.к. полученный образец имеет более плотную микроструктуру и максимальное значение теплопроводности [3], равной 114 Вт/(м·°С).

### **Литература**

1. Amerasekera E.A., Najm F.N. Failure mechanisms in semiconductor devices, Wiley, 1997.
2. Половинкина Ю.Н. и др. Сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», г. Томск, 26-29 апреля 2016 г.: Томск: Изд-во ТПУ, 2016, 1, 229-231.
3. Wang D. et al. Journal of Alloys and Compounds, 2016, 674, 347-352.

## ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА СВОЙСТВА ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ $Al-ZrW_2O_8$

Зеленцов Д.Ю.<sup>1</sup>, Шадрин В.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Томский государственный университет

E-mail: vshadrin91@gmail.com

Научный руководитель: Дедова Е.С.,  
к.т.н., младший научный сотрудник Института физики прочности и  
материаловедения СО РАН, г.Томск

Введение частиц  $ZrW_2O_8$ , обладающего отрицательным коэффициентом теплового расширения (КТР) [1], в алюминиевую матрицу позволит создать композиционный материал с регулируемым КТР.

Целью данной работы является исследование свойств порошковых смесей  $Al-ZrW_2O_8$  после интенсивной механической активации различной длительности.

Исходными компонентами порошковых смесей  $Al-ZrW_2O_8$  являются порошок технически чистого алюминия СД-6 и порошок  $ZrW_2O_8$ , полученный гидротермальным методом [2].

Для оценки влияния механической активации на порошковую смесь  $Al-ZrW_2O_8$  был проведен ряд исследований: определение удельной поверхности, морфологический, рентгенофазовый анализ.

В результате работы было показано, что 1 минуты механической активации порошковой смеси  $Al-ZrW_2O_8$  достаточно для достижения гомогенного распределения частиц  $ZrW_2O_8$  в порошке алюминия. Удельная поверхность порошковой смеси уменьшается с увеличением времени механической активации. Согласно данным рентгенофазового анализа исходный состав сохраняется и реакций в процессе механической активации не происходит.

### Литература

1. Evans J. S.O. The Royal Society of Chemistry, 1999, 3317-3326.
2. Dedova E.S., et al. Inorganic Materials: Appl. Res., 2014, 5(5), 471-475.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛОТАЦИИ УГЛЯ

Усольцева И.О., Передерин Ю.В.

Томский политехнический университет

E-mail: cupa57@yandex.ru

Научный руководитель: Передерин Ю.В.,  
к.т.н., старший преподаватель Томского политехнического университета,  
г.Томск.

Флотация является основным технологическим процессом обогащения многих полезных ископаемых [1].

Флотация угля – обогащение угля в водной среде, основанное на различии смачиваемости частиц, обработанных флотационными реагентами, всплывании и накоплении их на поверхности пульпы [2].

Флотационные свойства представленного образца угля проводились на лабораторной флотомашине ФМФ-3 с объемом кюветы 3 литра. Плотность пульпы 100 г/л.

Были использованы следующие реагенты: собиратель – смесь  $\alpha$ -олефинов, вспениватель – оксанол.

Флотации подвергались частицы угля крупностью 0-0,5 мм. Время флотации определялось визуально по интенсивности выхода угля в концентрат. Результаты флотации представлены в таблице.

**Таблица.** Результаты флотации угля

№	Расход реагента, г/т		Выход концентрата, %	Время флотации, мин
	Собиратель	Вспениватель		
1	500	77	89,00	10
2	400	77	87,69	10
3	300	77	80,20	10

Исследования показали, что применение при флотации угля  $\alpha$ -олефинов и оксанола в исследованных соотношениях позволяет получить более высокие показатели по выходу концентрата, чем при использовании применяемых в промышленности реагентов [3].

Если в питании присутствуют более крупные зерна угля, возникают потери из-за действия гравитационных сил.

### Литература

1. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения, 1984, 5.
2. ГОСТ 17321-2015 Уголь. Обогащение. Термины и определения.
3. Гайнуллин И.К. Уголь, 2013, 5, 105-106.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ $ZrO_2 - Al_2O_3 - ZrW_2O_8$ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ Ше В.Р.<sup>1</sup>, Ли Чан<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный университет

<sup>2</sup>Томский политехнический университет

E-mail: she.viktoriya1994@gmail.com

Научный руководитель: Дедова Е.С.,  
к.т.н., ассистент Томского политехнического университета, младший  
научный сотрудник Института физики прочности и материаловедения  
СО РАН, г.Томск

Оксидная керамика занимает особое место среди современных материалов благодаря широкому диапазону ее физических и химических свойств. Однако при термоударных воздействиях керамике присуще изменение линейных размеров, что негативно сказывается на ее свойствах. Комбинация оксидной керамики с материалом, обладающим отрицательным коэффициентом термического расширения (например,  $ZrW_2O_8$ ), позволит задавать требуемые значения теплового расширения. При получении данных композитов основной проблемой является сохранение вольфрамата циркония в матрице в связи с его фазовыми превращениями под действием температуры.

Керамические композиционные материалы ( $ZrO_2 - Al_2O_3$ ) – 25 масс.%  $ZrW_2O_8$  получены путем горячего прессования смеси в температурном интервале 1000 °С – 1200 °С с изотермической выдержкой 5, 10, 20 минут при давлении 35 МПа в среде аргона.

Рентгенофазовый анализ показал, что горячепрессованная керамика  $ZrO_2 - 20$  об.%  $Al_2O_3$  представлена тетрагональной (*t*) модификацией  $ZrO_2$  и  $\alpha-Al_2O_3$ . Введение  $ZrW_2O_8$  в керамическую шихту привело к изменению фазового состава композитов. В частности, формировалась моноклинная фаза  $ZrO_2$  вследствие расстабилизации твердого раствора  $t-ZrO_2$ . По мере повышения температуры спекания композитов наблюдалось изменение интенсивности рефлексов, что свидетельствует о количественном изменении присутствующих фаз. Рост температуры спекания выше 1200 °С приводит к формированию алюмовольфраматовых шпинелей типа  $Al_xW_zO_y$ .

Введение  $ZrW_2O_8$  в керамическую шихту привело к уменьшению величины коэффициента термического расширения композитов на 70 % и увеличению твердости на 20 % по сравнению с горячепрессованной керамикой  $ZrO_2-20$  %  $Al_2O_3$ .

*Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 16-33-0069816 мол\_а.*

## КОМПОЗИТНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СТЕРЖНИ ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Бойко В.В., Кудяков К.Л.

Томский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: vbjason82@gmail.com

Научный руководитель: Плевков В.С.,

д.т.н., профессор Томского государственного архитектурно-строительного университета, г.Томск

Арматура композитная полимерная (АКП) – современный строительный материал, обладающий высокими механическими характеристиками, которые существенно зависят от завода-производителя, соблюдения технологии ее изготовления, а также от состава и качества сырьевых материалов. Данные особенности необходимо учитывать при использовании АКП в строительстве [1, 2].

В рамках экспериментально-теоретических исследований изгибаемых элементов, армированных композитными стержнями была проведена экспериментальная оценка прочностных и деформационных свойств стеклокомпозитной арматуры с диаметрами 6 и 10 мм (ТУ 2296-002-38276489-2013) [1].

Арматурные стержни испытывались согласно ГОСТ 31938 - 2012 растягивающей нагрузкой. В результате испытаний была получена диаграмма деформирования стеклокомпозитной арматуры на растяжение (Рис. 1). Из рисунка видно, что данная арматура обладает повышенными прочностными ( $R_{f,n} = 1284$  МПа) и деформационными ( $\epsilon_{f,ult} = 2,2$  %) показателями [2, 3].

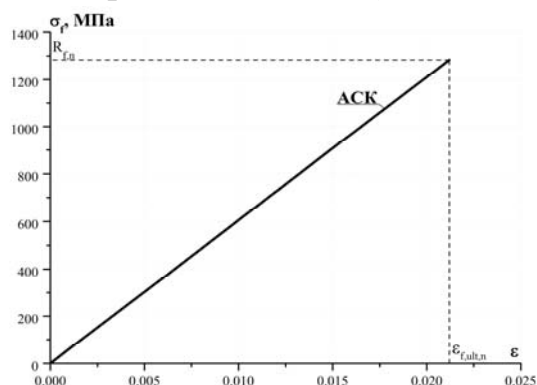


Рис. 1. Диаграмма деформирования стеклокомпозитной арматуры при растяжении

### Литература

1. Плевков В.С. и др., Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения, Курск, 2014, 108-113.
2. Плевков В.С. и др., Вестник ТГАСУ, 2016, 5 (58), 91-101.
3. Plevkov V.S., et al. AIP Conference Proceedings, 2017, 1800, 040018.

## **ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ**

**Бойко В.В., Кудяков К.Л.**

Томский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: vbjason82@gmail.com

Научный руководитель: Плевков В.С.,  
д.т.н., профессор Томского государственного архитектурно-  
строительного университета, г.Томск

Арматура композитная полимерная – перспективный материал для применения в строительстве. Данный материал обладает высокими прочностными показателями и сниженными деформационными характеристиками в сравнении со стальной арматурой. При применении композитной арматуры в строительстве необходимо учитывать особенности ее свойств и использовать различные технические решения для их корректировки и рационального их использования [1 - 3].

Для оценки влияния уровня предварительного напряжения композитной арматуры на трещиностойкость и деформативность изгибаемых бетонных элементов были проведены экспериментальные исследования. Изготовлены и испытаны статической нагрузкой балки с размерами 2200\*100\*200 мм., армированные обычной и преднапряженной стеклокомпозитной арматурой диаметром 6 мм. Уровень предварительного напряжения составил 30 и 45 % от  $R_{f,n}$  [1].

По результатам испытаний отмечено, что конструкции без предварительного напряжения стеклокомпозитной арматуры обладают повышенной деформативностью и низкой трещиностойкостью по сравнению с традиционным стальным армированием [1, 2].

Предварительное напряжение данной арматуры позволяет существенно увеличить момент образования трещин, уменьшить деформативность балок и, таким образом, привести параметры изгибаемых элементов в соответствие с требованиями актуальных норм по жесткости строительных конструкций.

### **Литература**

1. Плевков В.С. и др., Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения, Курск, 2014, 108-113.
2. Radchenko P.A. et al. IOP Conf. Series: Journal of Physics, 2016, 774, 012065.
3. Плевков В.С. и др., Вестник ТГАСУ, 2016, 5 (58), 91-101.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ БАЗАЛЬТОФИБРОБЕТОНА

Кочет О.А., Кудяков К.Л.

Томский государственный архитектурно строительный университет

E-mail: kochetolesya@gmail.com

Научный руководитель: Плевков В.С.,  
д.т.н., профессор Томского государственного архитектурно-  
строительного университета, г.Томск

В соответствии с концепцией развития России до 2020 года большое внимание уделяется доступным строительным материалам на основе местного сырья, с повышенными эксплуатационными характеристиками, обеспечивающими высокую энергетическую эффективность, экологическую безопасность и низкую стоимость. Рациональное применение таких материалов в строительных конструкциях позволяет улучшить их эксплуатационные качества. К подобным материалам можно отнести базальтовые волокна отечественного производства для дисперсного армирования бетонов.

Целью данной работы является разработка рациональных технологических приемов изготовления конструкционных бетонов с базальтовыми волокнами с повышенными прочностными характеристиками [1, 2].

Для обоснования эффективности применения фибробетонов на основе базальтовых волокон проведены экспериментальные исследования прочностных свойств базальтофибробетона. В ходе исследований было разработано 7 технологий изготовления и 11 составов фибробетонных смесей. В бетонную смесь вводились базальтовые волокна в количестве  $\mu_{bf} = 0...1\%$  с шагом  $0,2\%$  и  $\mu_{bf} = 1...5\%$  с шагом  $1\%$  [1 – 3].

Проведенные исследования позволили установить оптимальную (по критерию достижения максимального прироста прочности фибробетона) технологию изготовления базальтофибробетона, которая позволяет обеспечить прирост прочности при сжатии до  $51,2\%$  и при растяжении до  $28,8\%$  с удовлетворительной стабильностью показателей.

### Литература

1. Kudyakov, K.L. et al. AIP Conference Proceedings, 2016, 1698, 070004.
2. Кудяков А.И. и др. Строительные материалы, 2015, 730 (10), 44-47.
3. Плевков В.С. и др. Вестник ТГАСУ, 2016, 56 (3), 95-110.

## **ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА С БАЗАЛЬТОВОЙ ФИБРОЙ**

**Кочет О.А., Кудяков К.Л.**

Томский государственный архитектурно строительный университет

E-mail: kochetolesya@gmail.com

Научный руководитель: Плевков В.С.,  
д.т.н., профессор Томского государственного архитектурно-  
строительного университета, г.Томск

На строительном рынке появляются новые архитектурно-строительные системы, предназначенные для сложных условий эксплуатации. При возведении таких систем применяются материалы повышенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. Перспективным материалом, является бетон, дисперсно-армированный базальтовыми волокнами [1–3].

По технологии изготовления базальтофибробетонной смеси и состава, принятых согласно [2], было изготовлено по 6 стандартных бетонных и фибробетонных образцов для испытаний на осевое сжатие и растяжение. При испытаниях деформации материала измерялись при помощи установленных на поверхности образцов тензорезисторов и цифровой оптической системы Vic3D [3].

В результате испытаний получены значения максимальных и предельных деформаций бетона и базальтофибробетона, а также значения начального модуля упругости и поперечных деформаций.

Исследования показали, что применение базальтовых волокон при дисперсном армировании бетонов позволяет улучшить деформативные характеристики материала: увеличить значения предельных деформаций при сжатии на 79 % и при растяжении на 56 %, а также увеличить начальный модуль упругости на 23%. На основе полученных результатов предложена диаграмма нелинейного деформирования базальтофибробетона в зависимости от процента дисперсного армирования при статическом нагружении [3].

### **Литература**

1. Белов Н.Н. и др. Вестник ТГАСУ, 2014, 5(46),63-76.
2. Кудяков А.И. и др. Строительные материалы, 2015, 10(730), 44-47.
3. Плевков В.С. и др. Вестник ТГАСУ, 2016, 3(56), 95-110.

## УЛЬТРАДИСПЕРСНЫЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ПОРОШКИ В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРОВ СИНТЕЗА ФИШЕРА-ТРОПША

Литвинова А.Е.

Томский политехнический университет

E-mail: anglitvinova94@gmail.com

Научный руководитель: Попок Е.В.,

к.т.н., доцент Томского политехнического университета, г.Томск

Актуальность применения синтеза Фишера-Тропша в настоящее время в России обусловлена, прежде всего, утилизацией попутных нефтяных газов месторождений. Целью данной работы является получение активного катализатора на основе ультрадисперсного железного порошка для переработки попутного нефтяного газа в искусственные жидкие топлива. Для проведения экспериментальных исследований использовался ультрадисперсный железный порошок, полученный методом электрического взрыва проводников [1]. В ходе выполнения работы были проведены экспериментальные исследования, направленные на изучение влияния технологических параметров синтеза Фишера-Тропша на получаемые жидкие продукты. Результаты компонентного состава полученных смесей приведены в (табл.).

**Таблица.** Результаты хроматографического анализа

Параметры синтеза	Содержание компонентов в смеси, масс.%					
	Парафины	Изо-парафины	Ароматика	Нафтенны	Олефины	Оксигенаты
T=260 °C, P=0,75 МПа	29,529	25,668	28,32	13,663	2,819	0
T=260 °C, P=1 МПа	29,859	25,833	22,244	19,488	2,575	0
T=250 °C, P=1 МПа	36,814	25,153	17,666	17,902	2,381	0,084

Исходя из полученных результатов установлено, что уменьшение температуры синтеза приводит к увеличению концентрации парафиновых углеводородов в смеси, практически не оказывая влияния на концентрацию ароматических и нафтеновых углеводородов, а увеличение давления приводит к повышению выхода нафтеновых углеводородов. Октановое число смеси, полученной при T=250 °C, P=1 МПа составило 65 ед. (определено расчетным методом).

### Литература

1. Яворовский Н.А., Пустовалов А.В. Известия вузов. Физика, 2013, 56(7/2), 164-169.

## **ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Гребенщиков А.В., Невский А.В.**

Томский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: grebenshikov\_andrei\_1993@mail.ru

Научный руководитель: Балдин И.В.,

к.т.н., доцент Томского государственного архитектурно-строительного  
университета, г.Томск

На сегодняшний день существует большое количество строительных конструкций, срок эксплуатации которых подходит к концу. Традиционным методом восстановления эксплуатационной пригодности таких конструкций является их усиление. Монтаж систем усиления из железобетона или стали является трудоемким и приводит к значительному увеличению размеров поперечного сечения усиливаемой конструкции. Элементы такого усиления имеют низкую коррозионную стойкость и повышенный вес. Однако, указанные недостатки возможно избежать при помощи использования современной системы внешнего углекомпозитного армирования.

Проведены экспериментальные исследования прочностных и деформационных свойств бетона, усиленного системой внешнего углекомпозитного армирования [1]. Согласно программе исследований были изготовлены и испытаны статической сжимающей нагрузкой 6 бетонных призм двух серии: без усиления и усиленные внешним углекомпозитным армированием. Нагрузка и продольные деформации измерялись датчиками пресса и тензорезисторами, установленными на поверхность бетона, а также на углекомпозит.

Результаты исследований показали, что внешнее углекомпозитное армирование позволяет увеличить предел прочности бетона при сжатии в осевом направлении и повысить его предельную сжимаемость. Сопоставление экспериментальных данных с результатами инженерного расчета, проведенных по [2], показало допустимое расхождение по несущей способности в сторону запаса прочности.

### **Литература**

1. Невский А.В. и др. Сборник докладов XIII Международной конференции студентов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук», Томск, 2016, 163–165.
2. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами.

## **ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНА, АРМИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ ВОЛОКНАМИ**

**Гребенщиков А.В., Невский А.В.**

Томский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: grebenshikov\_andrei\_1993@mail.ru

Научный руководитель: Балдин И.В.,

к.т.н., доцент Томского государственного архитектурно-строительного  
университета, г.Томск

Развитие современных технологий приводит к появлению новых строительных материалов, которые обладают уникальными свойствами и явными преимуществами по сравнению с традиционными строительными материалами. Одними из перспективных строительных материалов являются фибробетоны. Такие бетоны обладают повышенной прочностью, высокой коррозионной стойкостью и долговечностью. Свойства фибробетонов определяет вид армирующих волокон. Наиболее перспективным видом армирующего наполнителя фибробетона являются углеродные волокна. Однако в связи с недостаточным количеством данных исследований и их несогласованностью применение углеродофибробетона в строительстве в России затруднено. Вопросы проектирования, расчета и применения бетонных конструкций, армированных углеродными волокнами, являются актуальными. Проведены экспериментальные исследования прочностных и деформационных свойств углеродофибробетона, заключавшиеся в испытании серий образцов осевой статической сжимающей и растягивающей нагрузкой [1] по ГОСТ [2]. Во время испытаний измерялись продольные и поперечные деформации с помощью датчиков-тензорезисторов и цифровой оптической системы Vic3D, фиксировалась разрушающая нагрузка. Полученные экспериментальные данные были статически проанализированы. Результаты исследований показали, что фибровое армирование бетона углеродными волокнами позволяет увеличить прочность бетона на 73,5 % при сжатии и на 41 % при растяжении, повысить предельную сжимаемость на 32 % и предельную растяжимость на 20 %.

### **Литература**

1. Plevkov V.S., et al. Materials Science Forum, 2016, 871, 173-181.
2. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ БЕСКЛИНКЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ДОМЕННЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ШЛАКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

**Суворов Д.С.**

Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»

E-mail: suvorov8225@yandex.ru

Научный руководитель: Кузнецов Д.В.,  
к.т.н., заведующий кафедрой Национального исследовательского  
технологического университета «МИСиС», г. Москва

Металлургическое производство связано с образованием значительного количества технологических отходов (шлаков, шламов, окалины, и др.), которые накапливаются на металлургических предприятиях. В России, по некоторым оценкам, только сталеплавильных шлаков накоплено свыше 250 млн. т, они занимают площадь около 1,3 тыс. га. Одним из перспективных путей применения гранулированных доменных шлаков (ГДШ) является их использование в минеральных вяжущих смесях для гражданского и дорожного строительства.

В рамках данной работы для измельчения и активации гранулированных доменных шлаков производства ОАО «НЛМК» и ПАО «Северсталь» использовали аппараты типа ВЭГ, работа которых основана на принципе вихревой электромагнитной гомогенизации. Важным преимуществом данной технологии являются низкие удельные энергозатраты в случае измельчения относительно нетвердых материалов.

Проведенные исследования показали, что с применением аппарата ВЭГ возможно получение тонкомолотого минерального вяжущего на основе ГДШ с размером частиц менее 10 мкм и с выходом годного до 95 масс.%, что весьма затруднительно в случае использования традиционных технологий измельчения. Также данная технология позволяет получать материалы с существенно меньшими энергозатратами и совместить измельчение с процессом активации. Марочность разработанного бесклинкерного минерального вяжущего соответствует марке цемента М400 – М600. Разрабатываемые материалы, могут быть эффективно использованы как материал для дорожных покрытий (бордюрные камни, тротуарная плитка и др.), укрепления грунтов оснований дорог и аэродромов, а также производства различного типа микроцементов.

## ТРАВИТЕЛЬ ДЛЯ АНИЗОТРОПНОЙ СТАЛИ

Головина Е.Ю.

Томский государственный педагогический университет

E-mail: katerina\_14.10@mail.ru

Научный руководитель: Лямина Г.В.,

к.х.н, доцент Томского политехнического университета, г. Томск

Травление является одной из стадий подготовки металлических деталей. Зачастую травители, помимо основных своих функций, удаление оксидов, уменьшение шероховатости поверхности, приводят к увеличению скорости коррозии.

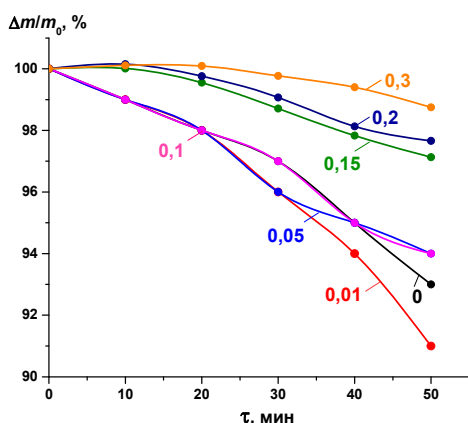


Рис. Кривые травления анизотропной стали в растворе  $\text{HNO}_3:\text{HCl}$  с различным содержанием ПЭГ (моль/л).

Данная работа посвящена разработке травителя для анизотропной стали, позволяющего снизить скорость травления и создать на поверхности металла тонкую защитную пленку. Эту проблему можно решить, добавляя в состав раствора водорастворимые полимеры. Для этого был использован раствор царской водки с добавлением в него различных количеств полиэтиленгликоля

(ПЭГ).

На (рис.) отражено изменение массы анизотропной стали от времени травления в растворе царской водки ( $\text{HNO}_3$  и  $\text{HCl}$ ), содержащем различное количество ПЭГ: 0,01; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3 моль/л. Видно, что с повышением концентрации ПЭГ скорость травления уменьшается. Наибольшая скорость травления прослеживается для раствора с концентрацией ПЭГ 0,01 моль/л. При содержании ПЭГ от 0,01 до 0,1 моль/л скорость травления в течение 20 минут одинакова, затем наблюдаются незначительные отличия. При концентрациях ПЭГ 0,15 до 0,3 моль/л наблюдается значительное снижение скорости травления. Для растворов с концентрацией ПЭГ 0,15 и 0,2 моль/л кинетика травления практически совпадает, а наиболее медленно процесс протекает в растворе с концентрацией ПЭГ 0,3 моль/л.

Оптимальным травителем является раствор, содержащий 0,15 моль/л ПЭГ, так как при более высоком содержании полимера скорость травления увеличивается незначительно.

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ВОДЫ ПРИ ПОМОЩИ ФИЛЬТРОВАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Слепнёв А.М.

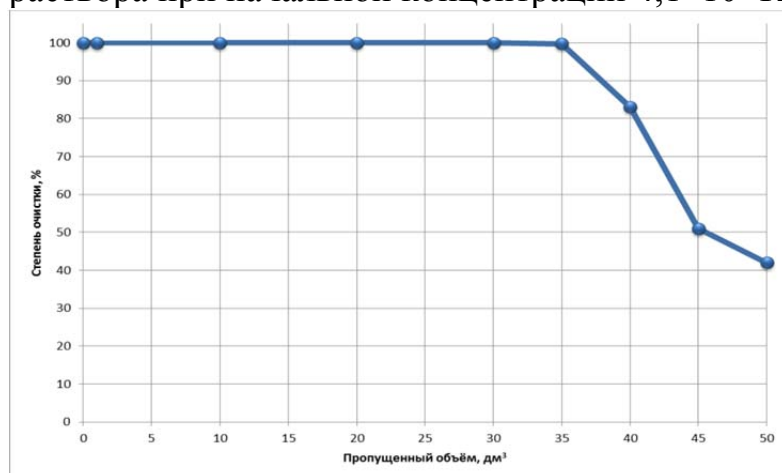
Томский государственный университет

E-mail: amstrue94@gmail.com

Научный руководитель: Плотников Е.В.,  
к.х.н., научный сотрудник Томского политехнического университета,  
г. Томск

В современной жизнедеятельности общества, проблемы очистки воды от различных видов загрязнений являются очень важной задачей [1]. Среди присутствующих в гидросфере загрязнителей микробиологические примеси занимают особое место и очистка воды от них является важной задачей [2].

В рамках данной работы объектом исследования является наноструктурный фильтровальный материал [3]. С его помощью будет проводиться извлечение культуры *Escherichia Coli* из модельного раствора при начальной концентрации  $4,1 \cdot 10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup>.



Из рисунка видно, что при фильтрации 30 литров раствора, эффективность очистки составляет 100 %. Далее наблюдается проскок бактерий в фильтрат.

**Рис.** Извлечение культуры *Escherichia Coli* из модельного раствора.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых № МК-5939.2016.8.*

### Литература

1. Мартемьянов Д. В. и др. Фундаментальные исследования, 2013, 8 (3), 666-670.
2. Мартемьянов Д.В. и др. Вестник Карагандинского университета, 2012, 3 (67), 61-64.
3. Патент РФ 2242276 Сорбент и способ его получения, 20.12.2004.



## СБОРНИК ТЕЗИСОВ

Сборник тезисов докладов IV Всероссийского конкурса научных докладов студентов «Функциональные материалы: разработка, исследование, применение», г.Томск, 23 мая 2017 г. – Томск: Издательство ТПУ, 2017.

Составители:

А.Ю. Годымчук, Ю.В. Папина


Подписано к печати \_\_\_\_\_. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл.печ.л. 4,8. Уч.-изд.л. 4,8.  
Заказ \_\_\_\_\_. Тираж \_\_\_\_\_ экз.

Томский политехнический университет

Система менеджмента качества  
Томского политехнического университета  
сертифицирована



NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO  
9001:2000

ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.