

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Новосибирск
2021

Всероссийская научная
конференция молодых ученых,
посвященная году науки и технологий в России

НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

Сборник
научных трудов

Часть 3

г. Новосибирск, 06 – 10 декабря 2021 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

**XV Всероссийская научная конференция молодых
ученых, посвященная Году науки и технологий в России
г. Новосибирск, 06-10 декабря 2021 г.**

**Сборник научных трудов
в 10-и частях**

Часть 3

НОВОСИБИРСК
2021

УДК 62(063)
ББК 72.5я431
Н34

Н34 НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ: XV Всероссийская научная конференция молодых ученых, посвященная Году науки и технологий в России (г. Новосибирск, 06-10 декабря 2021 г.) // Сборник научных трудов в 10 ч. / Под ред. Соколовой Д.О. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021.

ISBN 978-5-7782-4562-4

Часть 3: – 368 с.

ISBN 978-5-7782-4565-5

В сборнике опубликованы материалы научных исследований, представленных на XV Всероссийской научной конференции молодых ученых, посвященной Году науки и технологий в России.

В части 1 сборника представлены материалы по направлению «Информатика, автоматика, вычислительная и измерительная техника». В части 2 сборника представлены материалы по направлению «Информационные технологии математического моделирования и обработки данных». В части 3 сборника представлены материалы по направлению «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств. Материаловедение, технологические процессы и аппараты». В части 4 сборника представлены материалы по направлению «Энергетика». В части 5 сборника представлены материалы по направлению «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». В части 6 сборника представлены материалы по направлению «Электроника и биомедицинская техника». В части 7 сборника представлены материалы по направлению «Экономика и управление». В частях 8 и 9 сборника представлены материалы по направлению «Гуманитарные науки и современность». В части 10 сборника представлены материалы по направлению «Актуальные проблемы авиаракетостроения».

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель Оргкомитета:

Батаев А.А., д.т.н., профессор, ректор НГТУ

Зам. председателя Оргкомитета:

Брованов С.В., д.т.н., доцент, проректор по научной работе НГТУ

Программный комитет:

Драгунов В.П., д.т.н., профессор, начальник ОПК ВК

Корель И.И., к.ф.-м.н., доцент, декан ФТФ

Осьмук Л.А., д.соц.н., профессор, директор ИСТР

Рева И.Л., к.т.н., доцент, декан АВТФ

Мелехина Е.А., к.п.н., доцент, декан ФГО

Саленко С.Д., д.т.н., профессор, декан ФЛА

Тимофеев В.С., д.т.н., доцент, декан ФПМИ

Овчинникова Н.Н. к.э.н., декан ФБ

Стрельцов С.А., к.т.н., доцент, декан РЭФ

Вильбергер М.Е., к.т.н., доцент, декан ФМА

Тюрин А.Г., к.т.н. доцент, декан МТФ

Русина А.Г., д.т.н. доцент, декан ФЭН

УДК 62(063)

ББК 72.5я431

ISBN 978-5-7782-4565-5 (Ч.3)

© Коллектив авторов, 2021

ISBN 978-5-7782-4562-4

© Новосибирский государственный
технический университет, 2021

**Секция ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ,
БИОЛОГИЧЕСКИХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ;
ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**ЗАВИСИМОСТЬ ТОЛЩИНЫ ОСТАТОЧНОГО СЛОЯ
ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ОТ СВОЙСТВ ИСПОЛЪЗУЕМОЙ
СМАЗОЧНОЙ КОМПОЗИЦИИ**

А.А. Акулов, В.С. Ершов, Д.А. Птицын

**Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ), г. Москва, a.akulov.98@mail.ru
Научный руководитель: Карелина М.Ю., д.т.н., д.п.н., профессор**

В процессе эксплуатации современной сельскохозяйственной и специальной техники перед техническими специалистами стоит вопрос о применении той или иной марки и типа масла, а также применения или не применения специальных смазочных композиций и присадок. Исследование гидродинамических свойств масел, влияния на эти свойства состава и наличия дополнительных присадок позволит синтезировать наиболее эффективные смазочные композиции.

During the operation of modern agricultural and special equipment, technical specialists are faced with the question of the use of a particular brand and type of oil, as well as the use or not use of special lubricating compositions and additives. The study of the hydrodynamic properties of oils, the effect on these properties of the composition and the presence of additional additives will make it possible to synthesize the most effective lubricating compositions.

Залогом успешной эксплуатации сельскохозяйственной и специальной техники является использование высокоэффективных и качественных масел, позволяющих обеспечить высокую степень защиты пар трения от износа. В связи с увеличением срока службы сельскохозяйственной техники (до 8-12 лет), повышается влияние эксплуатационных смазочных материалов и вспомогательных композиций на коэффициент технической готовности техники.

Согласно гидродинамическому закону Стефана-Рейнольдса зазор h между плоско-параллельными дисками, погруженными в жидкость, выражается следующим соотношением:

$$h = \sqrt{\frac{3\pi^4\eta}{4Ft}}, \quad (1)$$

где γ - радиус дисков, η - вязкость жидкости, F - контактное давление; t - продолжительность контакта.

Из этого уравнения следует, что если t достаточно велико, то h уменьшается до нуля.

Этот закон хорошо соблюдается в случае рассмотрения глубокоочищенных низших углеводородов. Исследование минеральных масел и низших углеводородов с присадками жирных кислот, показывает, что у таких жидкостей закон Стефана-Рейнольдса соблюдается в зазорах, толщина которых превышает 0,4-0,5 мк [1]. Из более тонких зазоров с контактными давлениями до 25-30 кг/см² эти жидкости полностью не выдавливаются. Они оставляют остаточный слой, толщина которого зависит от контактного давления, природы жидкости и присадки, а также от состава поверхности твердого тела и температуры.

Толщина остаточного слоя растворов жирных кислот в маслах и низших углеводородах является линейной функцией числа углеродных атомов углеводородного радикала кислоты:

$$h_{\text{мин}} = K_1 + K_2 C_n, \quad (2)$$

где $h_{\text{мин}}$ - толщина остаточного слоя жидкости, разделяющего сопряженные поверхности; C_n - число атомов углерода в углеводородном радикале жирной кислоты; K_1 и K_2 постоянные. Стоит отметить, что K_1 равен толщине остаточного слоя жидкости без присадки при данном контактном давлении (в случае низших углеводородов $K_1 \approx 0$), а угловой коэффициент наклона прямой K_2 зависит от химического состава растворителя (масла или другой углеводородной жидкости).

Из приведенных данных видно, что эффективность присадок типа жирных кислот в отношении их способности повышать сопротивление полимолекулярного граничного слоя утончению и пропорциональна длине молекулы присадки и зависит от соотношения между строением углеводородного радикала присадки и молекулы растворителя. Бензойная кислота более эффективна в бензоле, чем в изооктане, а пальмитиновая кислота более эффективна в изооктане, чем в бензоле. Фенилпальмитиновая кислота почти одинаково действует как в парафиновых, так и в ароматических углеводородах. В дикарбоновых кислотах, в которых углеводородные радикалы расположены, по-видимому, параллельно поверхности твердого тела, длина этого радикала не влияет на толщину остаточного слоя, а, следовательно, на сопротивление его утончению [2].

Действие рассматриваемых присадок объясняется тем, что они создают или повышают расклинивающее давление и придают граничным слоям упругие (или квазиупругие) свойства [3]. Как расклинивающее давление, так и механическое упрочнение граничного слоя возрастает с увеличением длины адсорбированных молекул, что в

свою очередь зависит от числа молекулярных связей на единицу толщины граничного слоя и от возрастаний препятствий взаимному вращению молекул с увеличением их длины [4].

В пределах граничного слоя сопротивление взаимному сдвигу плоско-параллельных дисков уменьшается с увеличением длины углеводородного радикала присадки также по линейному закону. Следовательно, в случае растворов присадок в углеводородных жидкостях соблюдается закономерность, установленная еще Гарди при исследовании граничного трения поверхностей, смазанных индивидуальными жирными кислотами и спиртами.

Из опытов Гарди, так и при наших измерениях оставалось неясным, каким образом на статическое трение влияет молекулярный вес жирных кислот с углеродным числом атомов более 7-8, поскольку сдвиг в граничном слое осуществляется вдоль концов углеводородных радикалов молекул, ориентированных перпендикулярно поверхности, а цепочка из 7-8 атомов углерода достаточна для экранирования карбоксильной группы. Действительно, измерение сопротивления сдвигу поверхностей в граничном слое растворов жирных кислот при строго фиксированном зазоре показывает, что статистическое трение практически не зависит от длины молекулы присадки с числом углеродных атомов более 4-5. Сопоставление этих данных приводит к заключению, что действие присадок, повышающих смазочную способность, в пределах полимолекулярного граничного слоя зависит от способности поддерживать зазор между трущимися деталями, и при заданном постоянном (но не слишком большом) контактом давлении этот зазор увеличивается пропорционально длине молекулы присадки (в пределах соединений одного гомологического ряда) [5].

«Несущая способность» полимолекулярного граничного слоя, лежащая в пределах 20-30 кг/см² и выше, достаточна для многих технических целей, но «температурная устойчивость» этого слоя невелика. С повышением температуры толщина остаточного слоя растворов присадок вначале не изменяется, но после некоторой предельной температуры, или точнее интервала температур она довольно быстро уменьшается. Температура утончения полимолекулярного граничного слоя возрастает с уменьшением его толщины (повышением контактного давления) и с увеличением молекулярного веса жирной кислоты, но она значительно ниже температуры плавления соответствующего мыла или критического температурного предела смазочной способности, относящегося к мономолекулярному граничному слою [6].

Из полученных литературных данных следует, что эффективность присадок повышающих смазочную способность, в пределах

полимолекулярного граничного слоя будет возрастать с увеличением длины молекулы присадки, или правильнее - отношения длины к ширине. По этой причине в качестве присадок рассматриваемого типа желательно применить дифильные соединения нормального ряда (без боковых цепей), мыла с катионами малого радиуса (металлы первых рядов периодической системы Менделеева), молекулы с жесткими углеводородными цепями. Гибкость молекулярных цепей определяется потенциальным барьером вращения звена молекулы около связи; чем она выше, тем менее гибка молекула. Согласно М. В. Волькенштейну потенциальная энергия вращения звена углеводородной цепи около тройной связи равна примерно 500 кал/моль, около двойной связи 1800 кал/моль, около связи $\text{CH}_3\text{—CH}_2$ 3400 кал/моль, а около связи $\text{C}\equiv\text{N—CH}_2\text{Cl}$ более 5000 кал/моль. При подборе и синтезе эффективных присадок, повышающих смазочную способность, необходимо также учитывать, что с увеличением длины даже наиболее жестких молекул накапливается возможность вращения и колебания звеньев, и поэтому существует предел эффективной длины молекулы присадки, повышающей смазочную способность [7].

Таким образом, при достаточной степени разработки смазывающих композиций возможно обеспечение высокой степени защиты от износа пар трения путем обеспечения достаточно прочной пленки на взаимодействующих поверхностях. Очень важно на фоне улучшения трибологических характеристик моторных масел с введением присадок не ухудшить физико-химические свойства масел и эксплуатационные характеристики силовых установок.

Литература:

1. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебное пособие для студентов вузов по направлению подготовки "Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов" / М. Ю. Карелина, М. М. Ревакин, А. А. Жосан и др. – Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2016. – 328 с. – ISBN 978-5-93382-286-8.

2. *Yefimenko D.B., Ptitsyn D.A., Smirnov P.I., Akulov A.A. Modeling of Fuel Consumption of Passenger Cars Based on Their Technical Characteristics // 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2021, 16–18 march. 2021: Conference Proceedings. – New Jersey, 2021.*

3. Рассмотрение срока службы автомобиля с точки зрения технологии управления жизненным циклом изделия / В. С. Ершов, Д. А. Птицын, А. А. Акулов, З. М. Махмудов // Технологии информационного общества : Сборник трудов XV Международной отраслевой научно-

технической конференции «Технологии информационного общества», Москва, 03–04 марта 2021 года. – Москва: ООО "Издательский дом Медиа паблишер", 2021. – С. 126-127.

4. Карелина, М. Ю. Оптимизация ингибированного состава для обеспечения сохраняемости сельскохозяйственной техники / М. Ю. Карелина, Е. А. Петровская, А. В. Пыдрин // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 121. – С. 89-93.

5. Григорьев, М.А. Износ и долговечность автомобильных двигателей / М.А. Григорьев, Н.Н. Пономарев. М.: Машиностроение, 1976.-248с.

6. Гадолина, И. В. Экспериментально-расчетный метод оценки долговечности узлов машин при многоцикловом нагружении / И. В. Гадолина, М. Ю. Карелина, И. М. Петрова // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2013. – № 1. – С. 14-18.

7. Ждановский, Н.С. Надёжность и долговечность автотракторных двигателей/ Н.С. Ждановский, А.В. Николаенко - 2 изд. перераб. и доп. - Л.: Колос, 1981 - 295 с.

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА РАЗЛОЖЕНИЕ И ОКИСЛЕНИЕ ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

П.Е. Плюснин¹, С.А. Агаркин², У.Э. Буланова²

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Ломовский И.О.², к.х.н.

Изучено поведение нескольких природных полифенолов и мономеров в условиях окислительного термолиза с предварительной механической обработкой. Выявлено, что механическая обработка оказывает заметное влияние только на процессы окисления некоторых полифенолов.

The behavior of several natural polyphenols and monomers under conditions of oxidative thermolysis with preliminary mechanical treatment has been studied. It was found that mechanical processing has a noticeable effect only on the oxidation processes of some polyphenols.

Исследование реакций мономеров и полифенолов природного происхождения необходимо для понимания молекулярных механизмов переработки природного сырья в химические продукты, биологически активные вещества и биотопливо, в которых механическая и механохимическая обработка особенно актуальны. В качестве

модельных мономеров (входящих в состав природных полифенолов и характеризующихся различной степенью окисления) исследованы коричная и галловая кислоты, в качестве фенилпропанового мономера лигнина подробно исследован кониферилловый спирт, в качестве полифенольного олигомера, содержащего ареновые единицы, исследована дубильная кислота, представляющая собой промежуточную форму при переходе к полифенолам типа гуминовой кислоты. Окисление модельных веществ исследовано на примере взаимодействия исходных и механически активированных (МА) веществ с кислородом.

Коричная кислота при быстром нагревании перегоняется при 300 °С – 304 °С с небольшим разложением, при медленном нагревании распадается на углекислоту и стирол, вступает в реакции различного типа, преимущественно неареновой частью молекулы, кислородом окисляется с участием аренового кольца [1]. Галловая кислота (3,4,5-тригидроксibenзойная кислота) обладает более высокой реакционной способностью, чем коричная кислота. Реакция окисления протекает по ареновому кольцу. Коричная и галловая кислоты являются кристаллическими соединениями.

Известно, что реакционная способность механически обработанных органических кристаллов в различных химических реакциях повышается. Влияние предварительной механической обработки на окисление коричной и галловой кислоты впервые исследовалось нами с помощью дифференциального термического анализа в атмосфере, включающей аргон и 20% кислорода. Предварительная обработка твердых кислот проводилась с использованием лабораторной планетарной мельницы разработки ИХТТМ СО РАН, Новосибирск, обеспечивающей механическую обработку веществ в количествах менее 100 мг.

Основное разложение наблюдается при температуре 220 °С для коричной кислоты (Рис. 1), и при температурах до 250 °С для галловой кислоты. Отличий в разложении исходных и МА кислот не наблюдается. Продуктом разложения является углерод, процесс завершается окислением углерода при температурах 600 – 800 °С.

Молекула кониферилового спирта имеет несколько активных центров полимеризации с подобными же молекулами мономера. Реакция термического разложения кониферилового спирта в нейтральной азотной среде проходит при 200 – 350 °С с одновременным испарением и образованием производных гваяцила. Большая часть спирта вступает в реакцию полимеризации по заместителям аренового кольца. Среди продуктов полимеризации идентифицирован цис-изомер винилгваякола. Метилирование или фенолирование ОН-групп

существенно уменьшает образование продуктов полимеризации [2]. Кониферилловый спирт обладает гораздо большей реакционной способностью, чем его продукты с изменением боковой цепи.

Обнаружено, что механическая активация практически не влияет на окисление кониферилового спирта при температурах до 400 °С.

Далее было проведено рассмотрение полифенольных соединений. Дубильная кислота – растительный полифенол, сложный эфир остатка глюкозы и десяти попарно связанных единиц галловой кислоты.

Дубильные кислоты восприимчивы к окислительной полимеризации. Обнаружено, что стадии окисления при температурах до 400 °С сохраняются после механической активации. Продукты окисления – пирогаллол (бензол-1,2,3-триол) и углекислый газ. Конечный продукт – углерод формируется из внутренних единиц галловой кислоты.

Меланины – пигменты с нерегулярной структурой и сложным составом, имеющие большое количество биологических свойств, существует много вариаций их выделения [3]. Меланины и также исследованные гуминовые кислоты могут включать азот и некоторые другие гетероатомы. Исследованный меланин выделен из шелухи гречихи и близок по строению к выделенному механохимически и исследованному нами ранее гиперцину из зверобоя [4].

Зависимость реакционной способности полифенолов от механической активации резко возрастает при переходе к меланину. По данным, приведенным на Рис. 1, видно, что окисление механически активированных образцов меланина примерно на 200 °С ниже температуры окисления исходного меланина.

Полифенольные гуминовые кислоты сильно влияют на плодородие почвы, обладают физико-химическими свойствами и биологической активностью, в основном содержатся в буром угле и торфе. Долгое время применяется механохимическая обработка угля для изменения его физико-химических свойств. Гуминовые кислоты выделяют в виде гумата натрия при твердофазной обработке щелочами [4]. При механохимической активации образуются активные центры с избыточной свободной энергией, на которых происходит интенсивная сорбция молекул и их химическое взаимодействие с реакционной средой. Окисление угля увеличивает содержание фенольных и карбоксильных групп в структуре гуминовых кислот [5].

Начало термического разложения исследованной гуминовой кислоты уменьшилось после МА с 500 °С до 430 °С. Это изменение меньше, чем у меланина, что, по-видимому, связано с различным содержанием в образцах неорганических примесей. Остаток после окисления при температурах выше температуры горения угля в случае меланина примерно 5%, а в случае гуминовой кислоты 30%.

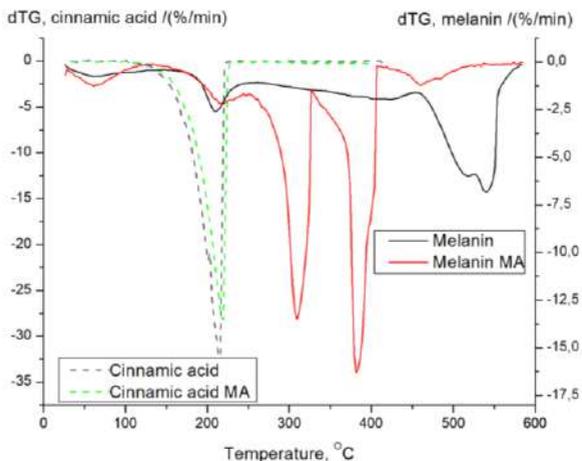


Рис.1. Дифференциальный термический анализ коричной кислоты и меланина в атмосфере синтетического воздуха (80% аргона, 20% кислорода)

Таким образом, выявлены особенности протекания реакций, прежде всего – реакции окисления, в полимерных фенольных системах по сравнению с низкомолекулярными соединениями. Было выявлено, что механическая активация оказала существенное влияние только в случаях меланина и гуминовой кислоты, что видно по снижению температуры начала окисления. Меньшая величина эффекта в случае гуминовой кислоты объясняется существенно большим содержанием в гуминовой кислоте неорганических примесей. Существенного влияния механической активации на окисление мономеров, а также дубильной кислоты замечено не было.

Таблица 1 – Примерная температура термического разложения веществ, °С.

Вещество	Без механической активации	С механической активацией
Коричная кислота	220	220
Галловая кислота	250	250
Конифероловый спирт	200	200
Дубильная кислота	300	290
Гуминовая кислота	500	430
Меланин	500	300

Работа поддержана грантом РНФ № 21-13-00046.

Литература:

1. Kumar N., Parle A. Cinnamic acid derivatives: An ERA/ The Pharma Innovation Journal 2019; 8(5): 580-595 www.thepharmajournal.com.
2. Pyrolysis–GC/MS of sinapyl and coniferyl alcohol/ Harman-Ware A. E. Crocker M. Kaur A. P. // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. - 2013. - Vol. 99. - P. 161-169. - doi: 10.1016/j.jaap.2012.10.001.
3. The concentration of melanin powder materials obtained from white-rot fungi by mechanochemical method/ I. Lomovsky O.I., Lomovsky I.O., Teplyakova N.V.// IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. - 2019. - Vol. 479(012010). - doi: 10.1088/1757-899X/479/1/012010.
4. Ломовский И.О. Влияние условий механохимической обработки на экстракцию гиперина из травы зверобоя // Химия растительного сырья. - 2012. - №3. - С. 93–99.
5. Influence of the conditions of mechanical activation of lignite on the composition and sorption properties of humic acids isolated from it/ A. V. Savel'eva, A.A. Ivanov, N. V. Yudina, O.I. Lomovsky, D. Dugarzhav // Russ. J. Appl. Chem. – 2013. – Vol.89. – P. 552–557. – doi: 10.1134/S1070427213040174.

РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА КОНЦЕНТРАЦИИ СВОБОДНОГО ХЛОРА И УРОВНЯ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ В ВОДНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ ВОДОПЛАВАТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

К.Л. Алигасанова, И.В.Еремин
Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск, aligasanova@gmail.com
Научный руководитель: Еремин И.В., к.т.н., доцент

В работе представлены конструкция портативного прибора и метод экспресс-измерения концентрации свободного хлора и уровня водородного показателя в водных резервуарах водоплавательных сооружений. Разработанная методика позволяет получить значения концентрации свободного хлора с точностью 2,3% в диапазоне измерений от 0,2 мг/л до 6 мг/л и 0,01 ед. рН, в случае измерения водородного показателя в диапазоне от 6,5 до 8,6 ед. рН. Достоверные значения определялись путем создания модельных растворов с заранее известными концентрациями.

The presented work presents the design of a portable device and a method for express-measurement of the concentration of free chlorine and the pH level in the

water reservoirs of waterfaring facilities. The developed technique makes it possible to obtain the values of the concentration of free chlorine with an accuracy of 2.3% in the measurement range from 0.2 mg / l to 6 mg / l and 0.01 units. pH, in the case of measuring the pH in the range from 6.5 to 8.6 units. pH. Reliable values were determined by creating model solutions with previously known concentrations.

В настоящее время наиболее распространенным методом подготовки воды в бассейнах считается применение хлорсодержащего реагента – гипохлорита натрия. По своим обеззараживающим и очищающим свойствам он максимально приближен к жидкому хлору, но при этом намного безопаснее.

Согласно техническим условиям ГОСТ [1]. по использованию гипохлорита натрия необходимо соблюдение определенной нормы концентрации активного вещества в обеззараживающих объектах. По условиям СанПин [2] для общественных бассейнов, измерение концентрации свободного хлора проводится ежедневно перед началом работы, затем с интервалом в 4 часа. Это позволяет оперативно определять передозировку или недостаток дезинфектанта в случае вероятных неполадок в работе станции, автоматически измеряющей концентрацию свободного хлора.

Поэтому у сотрудников бассейна существует необходимость применения точных и недорогих экспресс-приборов для измерения химического состава среды, в том числе концентрации уровня хлора в воде.

Из существующего уровня техники известны способы контроля содержания свободного хлора, в основе работы которых лежат количественные методы. К примеру, йодометрическое титрование, потенциометрический, титриметрический и спектрофотометрический методы [3]. Недостатками данных методов является необходимость обеспечения лабораторных условий во время проводимых измерений, наличие специального оборудования, обеспечение высокой квалификации персонала, фактор длительности по времени проведения анализа.

Из устройств, основанных на полуколичественном методе известен тестер [4,5], состоящий из корпуса тестера, крышки тестера, таблеток-реагентов. Данное устройство обладает простотой проведения анализа и не нуждается в пробоподготовке анализируемой воды, однако недостатками метода является малая чувствительность и низкая достоверность результатов измерений (около 70%). В связи с этим возникает необходимость создания портативного прибора повышенной точности измерения с широким диапазоном измерений свободного

хлора и водородного показателя в водных резервуарах водоплавающих сооружений.

Заявленные характеристики достигаются за счет того, что портативное устройство для экспресс-анализа свободного хлора и водородного показателя в воде, содержит корпус, источник света, интерференционный фильтр с полосой при 525 нм (зелёный), измерительную ячейку, систему фиксации кювет, детектор, микропроцессор и модуль обработки информации отличающийся тем, что модуль обработки информации дополнительно снабжен усилителем LM358N и Bluetooth модулем; в качестве источника света используют высокоомощный LEG-светодиод белого свечения RGB, а в качестве детектора используют фоторезистор RPP130 на основе сульфида кадмия.

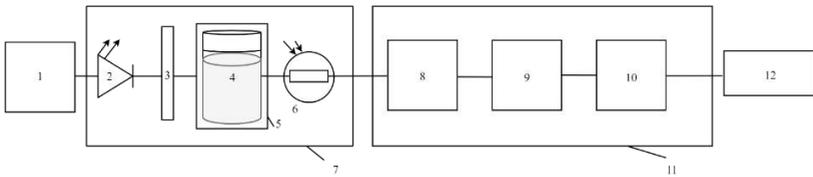


Рис.1– Схема заявленного устройства

- 1 – Стабилизированный источник напряжения; 2 – Светодиод белого свечения RGB; 3 – Интерференционный фильтр; 4 – Кювета;
- 5 – Измерительная ячейка с системой фиксации кювет; 6 – Детектор (фоторезистор); 7 – Корпус измерительного модуля; 8 – Усилитель сигнала;
- 9 – Микропроцессор; 10 – Bluetooth модуль; 11 – Корпус модуля обработки информации; 12 – Цифровой дисплей.

Для определения концентрации свободного хлора проба воды заливается из бассейна в кювету (4) и помещается в светонепроницаемую измерительную ячейку с системой фиксации кюветы, которая обеспечивает одинаковое положение кюветы и работает по принципу замка и ключа. Исходный состав пробы контролируется автоматической калибровкой «нуля» на дисплее. Затем в кювету добавляется таблетка индикаторного теста диэтилпарафенилендиамин (ДПД-1), после чего образец приобретает определенную окраску красного участка спектра, которая зависит от концентрации растворенного в воде свободного хлора. Световой поток от светодиода, проходя сквозь окрашенный модельный раствор, частично поглощается им. Часть непоглощённого светового потока воздействует на фоторезистор (6). Подстроечные резисторы R1, R2 (4) образуют делитель напряжения, с которого измеряемый электрический

сигнал поступает на неинвертируемый вход усилителя 5. Для того, чтобы работа операционного усилителя была управляемой применяется обратная отрицательная связь, которая состоит из резистивной цепи R3, R4 (5), устанавливается путём подачи части напряжения с выхода усилителя 7 на его инвертирующий вход 6. Изменяя параметры резистивной цепи обратной отрицательной связи R3,R4 регулируется чувствительность усилителя по входу. Сигнал обрабатывается на входе цифрового блока информации. Микропроцессорный блок прибора вычисляет содержание свободного хлора в зависимости от напряжения сигнала и отображает полученный результат значение на дисплее. Согласно рисунку 1 полученные результаты поступают на вход Bluetooth-модуля(10), который обеспечивает передачу данных между измерительным устройством и персональным компьютером/мобильным телефоном.

Для определения уровня водородного показателя используется аналогичный принцип работы прибора, отличие заключается в использовании другого индикаторного теста для изменения окраски пробы, а именно фенол красный.

Литература

1. ГОСТ Р 53491.2 – 2012 Национальный стандарт РФ, Бассейны, Подготовка воды, Часть 2, Требования безопасности.
2. СанПиН 2.1.2.1188-03 Плавательные бассейны. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды. Контроль качества от 30.01.2003 г.
3. ГОСТ 18190-72 - Межгосударственный, стандарт вода питьевая Методы определения содержания свободного хлора 2009.-1 фрагмент;
4. Instruction Manual HU 3831 F Free Chlorine Test Kit [Электронный ресурс]; URL: <https://docs.rs-online.com/d2f0/0900766b805cc9a2.pdf> (дата обращения: 23.11.2021);
5. Л.С. Егорова, Ю.П. Бобина, Тест-методы определения активного хлора в водах: / Учеб.-мет. пособие. –2-е изд., доп. и перераб. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – 70 с.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ЦВЕТОЧНО-ПОДОБНЫХ МИКРОСФЕР $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$

В.Д. Белоусова¹, Т.М. Зима^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

г. Новосибирск, viktoria2801@mail.ru

Трехмерные иерархические цветочно-подобные микросферы, состоящие из хаотично собранных наноллистов на основе $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, синтезированы гидротермальным методом. Морфология, микроструктура и фазовый состав микросфер до и после прокаливания на воздухе при $T \leq 750^\circ\text{C}$ охарактеризованы методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), элементного энергодисперсионного (ЭДС) и рентгенофазового (РФА) анализов. Показано, что при гидротермальной обработке компонентов – ксерогеля гидратированного диоксида титана, предварительно синтезированного электрохимическим золь-гель методом, и изопропоксида титана в водных растворах LiOH образуется чистая фаза $\alpha\text{-Li}_2\text{TiO}_3$. Прокаливание порошков приводит к фазовой трансформации $\alpha\text{-Li}_2\text{TiO}_3 \rightarrow \beta\text{-Li}_2\text{TiO}_3$ и образованию литий титановой шпинели – $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$. Влияние химической природы исходных компонентов и температуры прокаливания на образование $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ обсуждается.

Three-dimensional hierarchical flower-like microspheres, consisting of randomly assembled nanosheets based on $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, were synthesized by the hydrothermal method. The morphology, microstructure, and phase composition of microspheres before and after calcination in air at $T \leq 750^\circ\text{C}$ are characterized by scanning electron microscopy (SEM), elemental energy dispersive (EDS) and X-ray phase (XRD) analyzes. It has been shown that the hydrothermal treatment of the components - a xerogel of hydrated titanium dioxide, previously synthesized by the electrochemical sol-gel method, and titanium isopropoxide in aqueous solutions of LiOH form a pure phase $\alpha\text{-Li}_2\text{TiO}_3$. Calcination of the resulting powders leads to the phase transformation $\alpha\text{-Li}_2\text{TiO}_3 \rightarrow \beta\text{-Li}_2\text{TiO}_3$ and the formation of lithium titanium spinel - $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$. The influence of the chemical nature of the starting components and the calcination temperature on the formation of $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ is discussed.

Интерес к синтезу и исследованию литий титановой шпинели $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ обусловлен возможностью создания на ее основе нового поколения перезаряжаемых литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) с улучшенными электрохимическими характеристиками [1-3]. Литий титановая шпинель обладает рядом преимуществ: характеризуются высокой теоретической емкостью (175 мАч/г), превосходной структурной стабильностью в ходе циклирования, способностью сохранять высокий рабочий потенциал в процессе электрохимической интеркаляции/деинтеркаляции ионов лития. Наличие этих свойств

позволяет использовать $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ в качестве одного из наиболее перспективных и безопасных анодных материалов. Однако $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ имеет низкие значения электронной (10^{-13} См/см) и литий ионной проводимости, поэтому с целью улучшения электрохимических характеристик материала в последние годы разрабатываются новые подходы к его получению в виде высоко окристаллизованных наноразмерных частиц, характеризующихся большим соотношением поверхности к объему, высокой удельной поверхностью и активностью.

В настоящей работе сообщается о гидротермальном синтезе наноструктурированного материала на основе $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$. Целью данной работы было изучение возможности получения структурированных наноразмерных частиц литий титановой шпинели гидротермальным методом при использовании в качестве исходных реагентов ксерогеля гидратированного диоксида титана (ГДТ), предварительно синтезированного электрохимическим золь-гель методом, и изопророксида титана.

Результаты проведенных исследований показали, что при гидротермальной обработке как ксерогеля ГДТ, так и изопророксида титана в водных растворах LiOH при $180\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 24 ч, частицы образуются в форме трехмерных цветочно-подобных микросфер, состоящих из хаотично собранных наноллистов толщиной до 30-50 нм. По данным РФА, фазовый состав высушенных при $80\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 10-12 ч трехмерных образований соответствует метастабильному кубическому титанату лития $\alpha\text{-Li}_2\text{TiO}_3$ (JCPDS, карта № 3-1024). После прокаливания образцов при $350\text{ }^\circ\text{C}$, интенсивность рефлексов этой фазы немного снижается при небольшом увеличении их полуширины. Рефлексы прокаленных при $550\text{ }^\circ\text{C}$ образцов соответствуют смеси двух фаз – моноклинного титаната лития $\beta\text{-Li}_2\text{TiO}_3$ (JCPDS, карта №33-0831) и литий титановой шпинели $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (JCPDS, карта №49-0207). Точное определение соотношения фаз $\beta\text{-Li}_2\text{TiO}_3$ и $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ в прокаленных при $550\text{ }^\circ\text{C}$ образцах весьма затруднительно из-за очень близкого расположения рефлексов и малого размера кристаллов. После прокаливании образцов при $750\text{ }^\circ\text{C}$, фазовые составы цветочно-подобных микросфер, образующихся при гидротермальной обработке ксерогелей ГДТ и изопророксида титана, заметно отличаются. При гидротермальной обработке ксерогелей ГДТ, фазовый состав прокаленного порошка соответствует преимущественно $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$. Кроме рефлексов, соответствующих литий титановой шпинели, на дифрактограммах этого образца можно заметить низко интенсивные рефлексы, соответствующие фазе TiO_2 модификации анатаза. Установлено, что при дополнительной промывке горячей дистиллированной водой осадков, образующихся в результате

протекания гидротермальной реакции, количество анатаза в прокаленных при 750 °С образцах заметно увеличивается. В отличие от этого, фазовый состав прокаленного при 750 °С порошка, полученного при гидротермальной обработке изопророксида титана, представлен смесью двух соединений – моноклинного титаната лития $\beta\text{-Li}_2\text{TiO}_3$ (JCPDS, карта №33-0831) и литий титановой шпинели $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (JCPDS, карта №49-0207). Образование фазы TiO_2 не наблюдается, но моноклинного титаната лития $\beta\text{-Li}_2\text{TiO}_3$ образуется достаточно много по отношению к фазе $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$.

Морфология прокаленных при 750 °С трехмерных цветочно-подобных микросфер, образующихся при гидротермальной обработке как ксерогелей ГДТ, так и изопророксида титана в водных растворах LiOH, полностью сохраняется.

Работа выполнена в рамках Тематического плана НИР НГТУ по проекту ТП-ХХТ-1_21.

Литература:

1. Стенина И. А., Ильин А. Б., Ярославцев А. Б. Синтез и ионная проводимость $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ // Неорганические материалы. – 2015. – Т. 51, №1. – С. 69–75.
2. Haridas A.K., Sharma C.S., Rao T.N. Donut-Shaped $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Structures as a High Performance Anode Material for Lithium Ion Batteries // Small. – 2015. – V. 11, №3. – P. 290–294.
3. Lou S., Zhao Y., Wang J., Yin G., Du C., Sun X. Ti-Based Oxide Anode Materials for Advanced Electrochemical Energy Storage: Lithium/Sodium Ion Batteries and Hybrid Pseudocapacitors // Small. – 2019. – V. 15, №52. – P. 1904740.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРООЧИСТКИ ТОПЛИВА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДЕЗАКТИВАЦИЮ КАТАЛИЗАТОРА

Н.В. Бессонова^{1,2}, А.А. Зирка¹, С.И. Решетников¹

¹Институт катализа СО РАН, г. Новосибирск

²Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, bessonovanatala477@gmail.com

На основе разработанной математической модели гидроочистки дизельного топлива была проанализирована динамика изменения температуры катализатора в течение его пробега для условий промышленного реактора. В

результате была получена кривая дезактивации катализатора в процессе его эксплуатации. На примере принятой функции дезактивации – экспоненты – было проанализировано влияние температуры на падение активности катализатора во времени.

On the basis of the developed mathematical model of diesel fuel hydrotreating, the dynamics of the catalyst temperature change during its run in an industrial reactor was analyzed. As a result, a curve of catalyst deactivation during its operation was obtained. On the base of the exponential function of the catalyst deactivation the effect of temperature on the decrease of a catalyst activity vs. time was analyzed.

В настоящее время процесс гидроочистки дизельного топлива (ДТ) является широко распространенным в промышленности и предназначается для удаления из состава ДТ, в первую очередь, серосодержащих соединений. Актуальность этого процесса заключается в том, что в последние несколько лет требования к составу дизельного топлива ужесточились и предполагают получение продуктов с ультранизким содержанием серы. Так, согласно стандарту Евро-5, содержание сернистых компонентов в составе ДТ должно соответствовать уровню менее 10 ppm [1].

Рассмотренная проблема обусловлена тем, что активность катализатора в процессе его эксплуатации снижается за счет дезактивации. Известно, что в процессе дезактивации одним из ключевых факторов является влияние температуры: при повышении температуры катализатор начинает дезактивироваться быстрее [2]. Одним из инструментов, который позволяет прогнозировать и анализировать влияние температуры на дезактивацию катализатора, является математическое моделирование.

Целью данной работы является оценка влияния температуры на динамику дезактивации катализатора в процессе его эксплуатации.

Скорость изменения (R_S) концентрации серы (C_S) описывается следующим уравнением:

$$R_S(C_S, T) = r_S(C_S, T) \cdot a(t) \quad (1)$$

В качестве функции дезактивации часто используется функция в виде экспоненциальной зависимости активности катализатора $a(t)$ от времени t [2]:

$$a(t) = \exp(-k_d t), \quad (2)$$

где k_d – константа дезактивации; t – пробег катализатора.

Однако, вследствие того, что в процессе эксплуатации катализатора происходит его дезактивация, температура процесса повышается для компенсации падения активности. В гидроочистке дизельного топлива диапазон увеличения температуры охватывает значения от 300÷330 °С до 370÷400 °С. Следовательно, учет влияния температуры на скорость дезактивации катализатора является важным при прогнозе ресурса работы промышленных установок.

При моделировании в данной работе использовалась функция, которая учитывает влияние температуры на дезактивацию катализатора во времени, $a(t, T)$, представленная следующим уравнением:

$$a(t, T) = \exp\left(-\int_0^t k_d \cdot \exp\left(-\frac{E_d}{RT}\right) dt\right) \quad (3)$$

где E_d – энергия дезактивации; R – универсальная газовая постоянная; T – температура.

На рисунке 1 приведены результаты анализа влияния температуры на динамику снижения активности катализатора $a(t)$ в течение его пробега при различной температуре в реакторе.

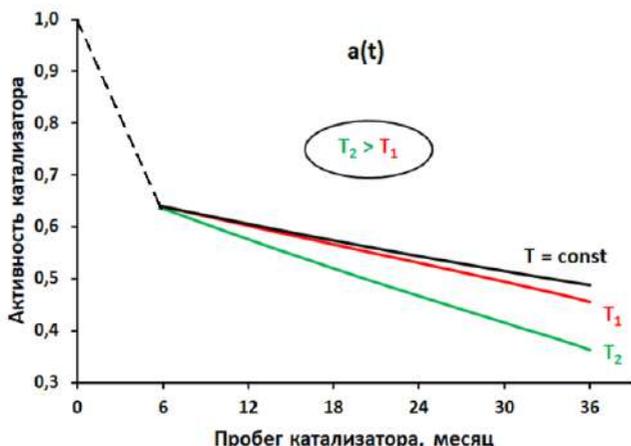


Рис. 1 – Динамика снижения активности катализатора в течение времени при различной скорости подъема температуры

Из рисунка следует, что в первый период эксплуатации катализатора (~ 5 месяцев) активность резко снижается, что связано с быстрой блокировкой активных центров коксовыми отложениями, затем происходит более медленное падение активности.

Получено, что при увеличении температуры активность катализатора достаточно сильно снижается, что влияет на остаточный ресурс его работы. Следовательно, учет влияния температуры позволяет прогнозировать изменение активности катализатора в ходе его эксплуатации (пробега).

Кроме того, в работе были рассмотрены некоторые наиболее распространенные подходы к моделированию, с помощью которых можно осуществлять мониторинг процесса и рассчитать динамику повышения оптимальной температуры, компенсирующую потерю активности катализатора, что даст возможность получить продукт с содержанием серы < 10 ppm .

Таким образом, на основе разработанной модели [3] была создана компьютерная программа, при помощи которой были получены следующие результаты: проведен расчёт изменения концентрации серы по длине реактора; проанализировано влияние температуры на динамику дезактивации катализатора в процессе его эксплуатации; сделана оценка параметров математической модели на основе описания экспериментальных данных, полученных для типичных условий промышленного процесса гидроочистки дизельного топлива [4].

Работа выполнена в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект АААА-А21-121011390010-7).

Литература:

1. *Torrisi S., Street R., Remans T., Swain J.* The Challenging Chemistry of Ultra-low-sulfur Diesel // *World Refining*. – 2003. – Vol. 1. – P. 24 – 27.
2. *Froment G.F., Bischoff K.B.* Chemical Reactor Analysis and Design. – New York: John Wiley & Sons, 1979. – 765 p.
3. Бессонова Н.В., Решетников С.И. Гидроочистка дизельного топлива (ДТ) с учетом дезактивации катализатора: подходы к математическому моделированию процесса // Новые каталитические процессы глубокой переработки углеводородного сырья и биомассы: материалы 5 школы молодых ученых. – Красноярск: Изд-во ФИЦ КНИЦ СО РАН, 2021. – С. 34.
4. *Pacheco M.E., Martins Salim V.M., Pinto J.S.* Accelerated Deactivation of Hydrotreating Catalysts by Coke Deposition // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2011. – Vol. 50. – P. 5975 – 5981.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СПЛАВОВ И ЛИГАТУР НА ОСНОВЕ РЗМ

А.Д. Бочанов, Д.К. Грачева, А.А. Чуркин
Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
г. Северск, e-mail: snakusy@gmail.com
Научный руководитель: Грачев Е.К.

Во многих исследованиях упоминается процесс активации или же термическая обработка (ТО) сплавов перед процессом гидрирования, без обоснования выбора технологических режимов данного процесса. Группой исследователей была проведена серия опытов, направленных на изучение влияния ТО на структуру и характеристики лигатур и сплавов на основе РЗМ, и последующее поведение в процессе гидрирования. В данной работе будут представлены теоретические основы процесса ТО и первые экспериментальные данные.

Many studies mention the process of activation or heat treatment (HT) of alloys before the hydrogenation process, without substantiating the choice of technological regimes of this process. A group of researchers carried out a series of experiments to study the effect of TO on the structure and characteristics of REM-based ligatures and alloys and the subsequent behavior in the hydrogenation process. This paper will present the theoretical background of the TO process and the first experimental data.

Для современного производства характерны высокие требования к свойствам материалов, обусловленные постоянным ростом производства, повышением производительности технологических процессов и связанной с ними необходимости изготовления крупногабаритного и сложного оборудования. Важной задачей становится увеличение их срока эксплуатации за счет использования более качественных материалов. Такими высокими требованиями лишь в редких случаях могут отвечать исходные материалы. Поэтому одним из способов повышения механических и физико-химических свойств металлических материалов является термическая обработка.

Термическая обработка применяется для целенаправленного изменения структуры материала, а именно, фазового состава и перераспределения компонентов, размеров и формы кристаллических зерен, что позволяет достаточно легко получать требуемые свойства материалов.

Термическая обработка после процесса спекания является важнейшей технологической операцией, определяющей свойства магнитотвердых материалов. Именно от ТО зависят магнитные свойства сплава, а в дальнейшем и магнита. Намагниченность насыщения магнитов определяется основной магнитной фазой (фаза А) и ее количеством, тогда

как коэрцитивная сила (H_{cl}) в значительной степени зависит от микроструктуры и фазового состава магнитного материала [1].

Подвергая сплав термической обработке, можно влиять на микроструктуру и фазовый состав и добиваться наилучших магнитных характеристик получаемых в дальнейшем магнитов.

Во многих научных работах перед процессом гидрирования магнитные сплавы подвергают активации, но досконально этот процесс никто не изучал и нет никаких обоснований о применяемых технологических режимах (т.е. температуры, время выдержки, подачи различных газов и вакуумирование).

В ряде работ было доказано, что применение ТО уже после получения сплава (например, электролизом или внепечной восстановительной плавкой) положительно влияет на последующий процесс гидрирования, а также на магнитные свойства.

Так, например, в статье [2] доказано прямое влияние процесса ТО на гидрирование. Согласно этим экспериментальным результатам там, как плотность тока водородной проницаемости, так и коэффициент диффузии водорода в той или иной степени возрастают после магнитной термообработки. Таким образом, подходящая по своим параметрам магнитная термообработка является эффективным методом улучшения водородной проницаемости мембран.

Чтобы добиться вышесказанных характеристик магнитную термообработку проводят при комнатной температуре и охватывает интервал до 673 К; при этой температуре она продолжается в течение 30 мин. Затем температура повышается до 873 К в магнитном поле ($B = IT$), и образцы выдерживаются в течение еще 40 мин. Магнитное поле выключается и образцы дают остыть до комнатной температуры [2].

Данная статья и результаты, представленные в ней, заинтересовали нашу исследовательскую группу, и было принято решение о проведении серии опытов и наблюдений, но уже при обычной ТО, без использования магнитного поля (так как в промышленности ТО магнитным полем будет довольно трудно реализовать с экономической точки зрения). В ходе экспериментов применялась низкотемпературная обратка в различных средах (аргон или вакуум) течение 1 часа и более, и последующем охлаждении в инертной среде (аргон). Скорость охлаждения после ТО также влияет на магнитные свойства лигатуры.

В докладе авторами будут более детально рассмотрены теоретические аспекты термической обработки сплавов и лигатур на основе РЗМ, а также представлены практические результаты экспериментов.

Литература:

1. Е.Н. Каблов, О.Г. Оспенникова, Д.В. Королев, В.П. Пискорский, Р.А. Валеев, И.И. Резчикова. Механизмы влияния содержания бора и термообработки на свойства магнитов системы Nd–Fe–Al–Ti–B // Авиационные материалы и технологии. 2015. №S2. С.

2. Х.-Г. Жан, Ж.-М. Ван, Ф. Лиу, Ж.-К. Ден, Х.-Й. Жоу. Влияние магнитной термообработки на микроструктуру мембран из сплава Nb-Ti-Ni и их проницаемость для водорода. 2015 г.

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ/КИПЕНИЯ ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ НА СТРУКТУРУ n-ДОДЕКАНА

А.Е. Брестер^{1,2}, В.И. Жуков^{1,2}, А.Н. Павленко²

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,
г. Новосибирск, brester.2011@stud.nstu.ru

В работе представлены экспериментальные данные по теплообмену, полученные при испарении/кипении на горизонтальной поверхности в условиях пониженного давления. Определено влияние процесса испарения/кипения в условиях пониженного давления на структуру n-додекана. Показано, что в процессе испарения/кипения n-додекана при пониженных давлениях он не подвергается окислению и дегидрированию.

The paper presents experimental data on heat transfer obtained during evaporation / boiling on a horizontal surface under conditions of reduced pressure. Determined the effect of the evaporation/boiling process under reduced pressure on the structure of n-dodecane. It was shown that during the evaporation/boiling of n-dodecane at reduced pressures, it does not undergo oxidation and dehydrogenation.

Кипение жидкости при пониженных давлениях наблюдается в таких устройствах как вакуумные диффузионные насосы, вакуумные выпарные установки, вакуумные опреснительные установки и т. д. На сегодняшний день механизмы кипения при пониженном давлении изучены недостаточно, а данные о влиянии процесса парообразования на структуру вещества рабочей жидкости редко встречаются в литературе.

Цель данной работы – определить влияние процесса испарения/кипения на структуру n-додекана в условиях пониженного давления.

Эксперименты проводились на теплообменной вакуумной установке, работающей по принципу термосифона. Подробное описание установки

приведено в [1]. В качестве рабочей жидкости в экспериментах использовался *n*-додекан. Шероховатость поверхности нагрева $Rz = 3,2$ мкм. Перед началом экспериментов в объем рабочей камеры наливали определенное количество рабочей жидкости для создания слоя нужной высоты. Далее проводили дегазацию жидкости при пониженном давлении в течение нескольких часов.

В ходе экспериментов реализовывался ряд стационарных режимов теплообмена, при которых регистрировались температуры по толщине обогреваемого днища, давление над слоем жидкости в объеме рабочей камеры, и одновременно проводилась видеосъемка процесса высокоскоростной видеокамерой. Эксперименты проводились в диапазоне давлений $P = 33 \cdot 10^3$ Па и высоте слоя жидкости $h = 20$ мм.

Максимальная температура поверхности нагрева в 201°C достигается при давлении 10^3 Па и тепловом потоке $1,02 \cdot 10^5$ Вт/м². Данный тепловой поток соответствует критическому тепловому потоку рисунок 1.

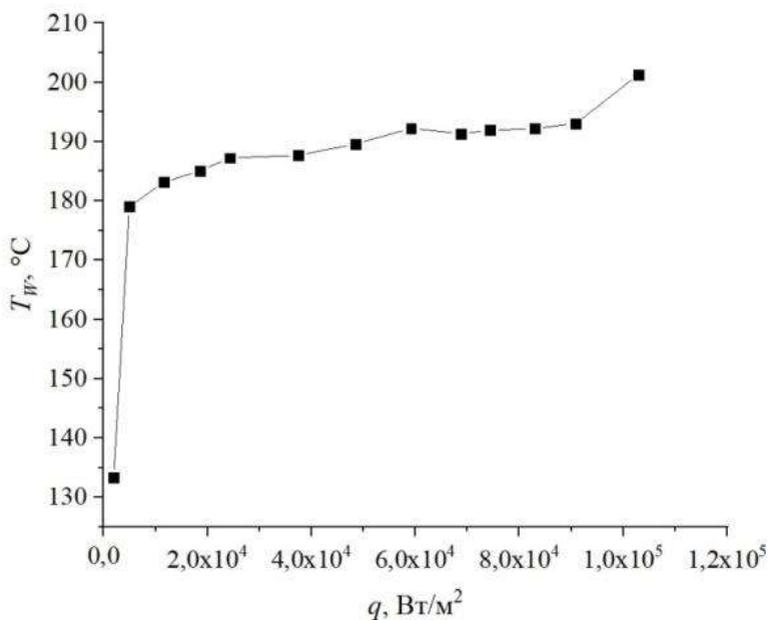


Рис.1 – Зависимость температуры поверхности нагрева от плотности теплового потока, полученной на гладкой поверхности при высоте слоя *n*-додекана 20 мм и давлении 10^3 Па.

Существует много работ по каталитическому окислению [2] и каталитическому дегидрированию [3] предельных углеводородов при температурах порядка 200 °С. В качестве катализаторов чаще всего используют соединения переходных металлов, таких как никель, хром и т.д. Сталь 12Х18Н10Т, из которой выполнена поверхность нагрева, содержит никель и хром. В связи с этим существовала вероятность окисления и дегидрирования н-додекана. В результате окисления могут образовываться альдегидные и кетонные группы, а при дегидрировании образуются кратные связи. Эти изменения в структуре можно определить с помощью ИК-спектроскопии.

На рисунке 2 представлены ИК-спектры исходного н-додекана и отработанного н-додекана, на котором был проведен ряд экспериментов по теплообмену при испарении/кипении во всем диапазоне давлений.

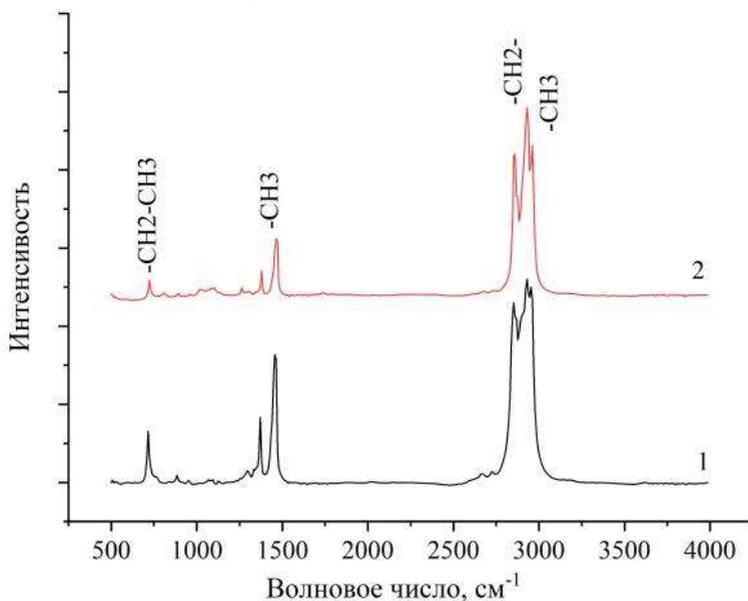


Рис.2 – ИК-Фурье спектры н-додекана:
1) исходный н-додекан 99%; 2) отработанный н-додекан при
высоте слоя 20 мм и давлении $33 \cdot 10^3$ Па.

Из рисунка 2 видно, что ИК-спектры н-додекана после экспериментов имеют идентичные характерные пики, что и у исходного н-додекана. Данные пики характерны исключительно для предельных

углеводородов. Пики, соответствующие связям углерода с кислородом и кратным связям между углеродом отсутствуют.

Таким образом, получено, что в процессе испарения/кипения н-додекана при пониженных давлениях не происходит изменения его структуры, он не подвергается окислению и дегидрированию в процессе экспериментов по теплообмену при испарении/кипании в условиях пониженного давления.

Работа выполнено за счет гранта РФФИ проект № 19-19-00180

Литература:

1. Zhukov V.I., Pavlenko A.N. Heat transfer and critical phenomena during evaporation and boiling in a thin horizontal liquid layer at low pressures // Int. J. Heat Mass Tran. – 2018. – Vol. 117. – P. 978–990.

2. Гайфуллин А.А., Батыршин Н.Н., Харлампиди Х.Э. Иницированное окисление н-додекана // Вестник Казанского Технологического Университета. – 2014. – Т. 17, № 22. – С. 63–65.

3. Современные промышленные технологические процессы дегидрирования углеводородов и их аппаратурное оформление / Н.А. Каюмов, А.А. Назаров, С.И. Поникаров, П.В. Вилохина, // Вестник Казанского Технологического Университета. – 2013. – Т. 16, № 15. – С. 303–307.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА УДЕЛЬНУЮ ЕМКОСТЬ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

В.В. Головахин¹, О.Н. Новгородцева^{1,2}, А.Е. Брестер¹

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск, golovaxin-valera@mail.ru

Научный руководитель: Баннов А. Г.¹, д.т.н., доцент.

В данной работе исследовано влияние химической обработки углеродных наноматериалов в дихромовой и азотной кислотах. Представлены результаты ряда физико-химических анализов. Сделаны выводы о возможности использования полученных образцов в суперконденсаторах.

In this work, the effect of chemical treatment of carbon nanomaterials in dichromic and nitric acids is investigated. The results of a number of physicochemical analyzes are presented. Conclusions are drawn about the possibility of using the obtained samples in supercapacitors.

В настоящее время модификация поверхности углеродных наноматериалов осуществляется различными методами: химическими, электрохимическими, плазменными и др. Одним из наиболее распространённых способов улучшения поверхностных свойств углеродных наноматериалов является химическая обработка. В качестве окисляющих реагентов чаще всего используют минеральные кислородсодержащие кислоты и их смеси. Обработка кислотами обычно представляет собой длительный процесс (до 24 часов и более), проводящийся при кипячении реакционной массы [1].

Данная работа заключалась в исследовании модификации поверхности углеродных нановолокон (далее «НВУ-1») и многостенных углеродных нанотрубок с маркировками 1020 и 4060 (далее «МУНТ-1020», «МУНТ-4060») дихромовой и азотной кислотами. Температура реакционной смеси составляла 80 °С. Для равномерной обработки образцов в растворе кислот смесь интенсивно перемешивали с помощью магнитной мешалки. После обработки смесь декантировали и промывали дистиллированной водой. Далее образцы подвергались сушке при 100 °С в течении 12 часов. После сушки образцы просеивали через сито с размером ячейки 100 мкм и использовались для проведения дальнейших физико-химических исследований.

В результате такой обработки, согласно литературным данным [1, 2, 3], образуются различные функциональные кислородсодержащие группы. Наличие кислородсодержащих групп подтверждается результатами ИК-Фурье спектроскопии рисунок 1. На рисунке 1 видно, что в каждом обработанном образце есть пики, соответствующие C–O связям (1124-1150 см⁻¹), что является подтверждением наличия, как минимум, спиртовых групп. Тем не менее, существует вероятность не выявить пики при 3100-3400 см⁻¹, соответствующие эфирным, карбонильным и карбоксильным группам, которые удалось выявить авторам [2].

Также наличие кислорода было подтверждено с помощью EDX-спектроскопии. Результаты EDX представлены в таблице 1.

Углеродные нанотрубки лучше подвержены модификации поверхности, вероятнее всего, из-за структуры.

Одним из параметров, необходимых для суперконденсаторов, является удельная электрическая емкость. Значения удельной емкости, рассчитаны из данных, полученных методом циклической вольтамперометрии [3] и представлены в таблице 2.

Рост удельной емкости после обработки в растворах кислот, может быть связан, как с образованием функциональных групп, так и с возможным повышением дефектности структуры углеродных наноматериалов. Также можно утверждать, что для НВУ-1 обработка в

дихромовой кислоте более перспективна, чем для образцов МУНТ, (предположительно из-за морфологии структуры (вложенные конусы)). В то время как для образцов МУНТ обработка в азотной кислоте подходит лучше. Стоит отметить, что удельная емкость исходных образцов НВУ и МУНТ не превышает 0,2-0,5 Ф/г.

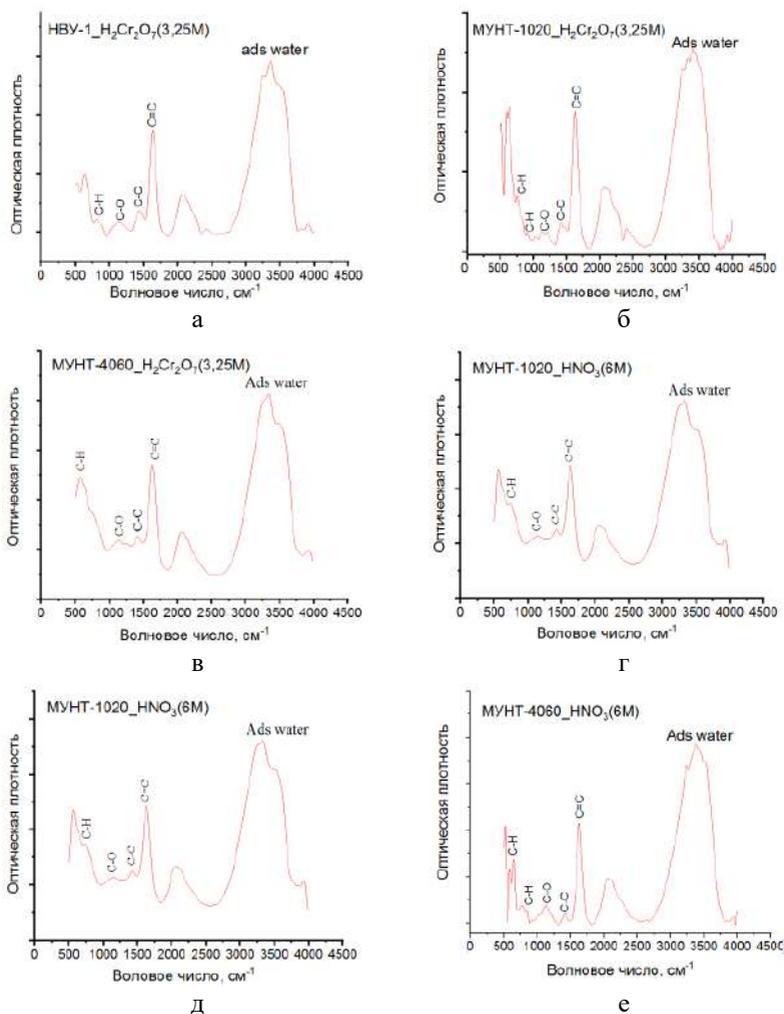


Рис. 1 – Данные ИК-Фурье спектроскопии: а) НВУ-1_ Н₂Cr₂O₇_3,5М; б) МУНТ-1020_ Н₂Cr₂O₇_3,5М; в) МУНТ-4060_ Н₂Cr₂O₇_3,5М; г) НВУ-1_НNO₃_6М; д) МУНТ-1020_ НNO₃_6М; е) МУНТ-4060_ НNO₃_6М

Таблица 1 – Результаты EDX-спектроскопии

Метод обработки	Образец	Содержание кислорода, ат.%
H ₂ Cr ₂ O ₇ _3,5M_6ч	НВУ-1	2,6
	МУНТ-1020	9
	МУНТ-4060	7
HNO ₃ _6M_6ч	НВУ-1	1
	МУНТ-1020	2,6
	МУНТ4060	1,5

Таблица 2 – Результаты циклической вольтамперометрии

Метод обработки	Образец	Удельная емкость, Ф/г
H ₂ Cr ₂ O ₇ _3,5M_6ч	НВУ-1	50,6
	МУНТ-1020	32,5
	МУНТ-4060	32,8
HNO ₃ _6M_6ч	НВУ-1	16,7
	МУНТ-1020	34,9
	МУНТ4060	47,9

Исходя из всего выше изложенного образец НВУ-1, обработанный в дихромовой кислоте, и образец МУНТ-4060 в азотной наиболее подходящие для использования их в качестве электродов суперконденсаторов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки (код FSUN-2020-0008).

Литература:

1. *Lin T., Bajpai V., Ji T., Dai L.* Chemistry of Carbon Nanotubes // Aust. J.Chem. – 2003. – №56. – P. 635 - 651.
2. *Emad A. Khudaish, Adhara Al-Badri.* A modified Hummers soft oxidative method for functionalization of CNTs: Preparation, characterization and potential application for selective determination of norepinephrine // J. Synthetic Metals. – 2021. – №277. – P. 145–154.
3. *Михалин, А. А.* Исследование емкостных и электрокинетических свойств электродов на основе высокодисперсного углерода применительно к их использованию в суперконденсаторах и для емкостной деионизации воды // автореф. канд. хим. наук А. А. Михалин. – Москва: ИФХЭ РАН. – 2013. – С. 25.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ И ЛИГАТУР С ПОВЫШЕННЫМИ ГИСТЕРЕЗИСНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Е.К. Грачев¹, Е.Ю. Карташов¹, А.А. Клопотов²

¹Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, г. Северск,

²Томский государственный архитектурно-строительный
университет, г. Томск, e-mail: e.k.grachev@gmail.com

Научный руководитель: Буйновский А.С., д.т.н., профессор.

Получение магнитных сплавов и лигатур по технологии порошковой металлургии является самым перспективным с точки зрения простоты технологии и экономической выгоды. Но с каждым годом, к данным материалам предъявляются все более высокие требования, что влечет за собой повышение себестоимости. В соответствии с этим требуется изучение взаимосвязи всех аспектов получения сплавов и технологических процессов.

Obtaining magnetic alloys and master alloys using powder metallurgy technology is the most promising from the point of view of technology simplicity and economic benefits. But every year, more and more high requirements are imposed on these materials, which entails an increase in cost. In accordance with this, it is required to study the relationship between all aspects of the production of alloys and technological processes

В последнее десятилетие, материалы на основе редкоземельных элементов (далее РЗЭ) находят все большие сферы применения в промышленности и энергетике. Материалы на основе сплавов NdFeB, SmCo уже на протяжении долгих лет являются основными магнитными материалами, которые используются в разных отраслях. В последнее время значительное внимание исследователей сосредоточено на разработке высококоэрцитивных магнитов с пониженным содержанием тяжелых РЗЭ или даже полностью без них поскольку ресурсы этих металлов ограничены и сосредоточены главным образом в руках одной страны, определяющей их стоимость. Таким образом, высокая стоимость этих металлов и ограниченная доступность определяют необходимость путей их рационального применения [1].

Помимо этого, РЗЭ стали применяться как водород-поглощающие материалы, в набирающей популярность водородной энергетике. И с каждым годом к данным материалам повышаются требования к чистоте и качеству их состава, их свойствам.

Из данных требований, особо стоит выделить: получение частиц доменов с размерами 5-10 мкм, повышение гистерезисных характеристик (далее ГХ), механизм формирования специфической

структуры, механизм диффузии и десорбции водорода в магнитных и водород-поглощающих сплавах.

Процесс совершенствования вышеперечисленных требований начинается с формирования составов будущих сплавов. Уже сейчас известно, что в сплавах NdFeB, неодим может частично заменяться празеодимом, что снижает стоимость сплава без потерь его ГХ. Так же, легирование металлами тяжелой группы лантаноидов, такими как диспрозий и тербий, может положительно сказаться на качестве ГХ, при их правильном соотношении легирования совместно с кобальтом. Результаты исследований в работе [1] напрямую доказывают целесообразность добавления диспрозия и тербия. Но при добавлении тербия появляется следующая негативная особенность: Диффузия атомов тербия приводит к оттеснению атомов неодима к периферии зерен основной магнитной фазы. Поскольку коэффициент диффузии неодима меньше, чем коэффициент диффузии тербия, диффузия тербия более существенна. Такое неравенство диффузионных потоков атомов приводит к формированию напряжений в решетке и неравномерному распределению атомов тербия и неодима (празеодима) в зернах основной магнитной фазы 2-14-1 [1]. Добавление диспрозия, наоборот положительно влияет на ГХ: на основании данных микроструктурного и EDX анализов было установлено замещение неодима диспрозием в основной магнитной фазе $Nd_2Fe_{14}B$ и усиливает локальную коэрцитивность, таким образом, не способствуя существенному снижению остаточной индукции [1].

Очень большую роль играет и процесс получения самих сплавов. Например, сплавы, полученные способом внепечного кальциетермического восстановления фторидов, имеют более качественный химический состав и показывают более высокие характеристики, чем сплавы, полученные методом электролиза или переплавом исходных компонентов. Так же, это имеет важное значение на последующих технологических переделах, улучшая характеристики этих переделов и конечной продукции в целом.

После получения исходных сплавов, обычно проводятся процессы их измельчения. Но в ряде работ доказано, что перед проведением измельчения, проведение таких технологических операций как термообработка (или активация) сплавов при различных режимах, сказывается не только на повышении качества ГХ, но и на улучшении параметров процессов последующего гидридного диспергирования (измельчения), которое по своим преимуществам все больше вытесняет механические процессы измельчения материалов на основе редких и РЗЭ. При этом, в большинстве работ не досконально исследован

процесс термообработки (или активации) сплавов перед гидрированием. В промышленности же, на переделах гидрирования-дегидрирования данным процессом пренебрегают.

И основную роль в формировании всех вышеописанных требований выполняет именно процесс гидридного диспергирования. Данный процесс напрямую воздействует на ГХ получаемых сплавов, увеличивая их на 10-15%. Так же он способствует исключению возможности попадания в систему дополнительного количества кислорода, которое снижает магнитные свойства сплава. Это очень важный аспект, так как в данный момент у механических способов измельчения существует проблема образования фазы ГПУ оксида неодима, которая значительно снижает магнитные характеристики и которая сохраняется после процесса спекания измельченных-спрессованных порошков [2].

В промышленности преобладает процесс HDDR, в результате которого получают порошки магнитных сплавов с повышенными ГХ. Но процесс не лишен недостатков, одним из которых можно выделить проведения процессов десорбции и рекомбинации при высоких температурах, что негативно отражается на экономических характеристиках процесса. Так же, при данном процессе проводят вакуумирование системы при высоких температурах, что в промышленных масштабах может приводить к попаданию в систему определенного количества кислорода воздуха, ввиду дефектов оборудования, связанных с герметичностью. Если же проводить классический процесс гидрирования, то получатся немного меньшие магнитные характеристики, но при этом будет отсутствовать окисление порошков полученных гидридов сплава.

При исследовании процесса гидрирования сплавов РЗЭ, учеными СТИ НИЯУ МИФИ была выдвинута гипотеза, что при комнатной температуре и низких давлениях, часть водорода реагирует со сплавом в разных аллотропных модификациях. Это обусловлено повышенной степенью гидрирования, которая обозначает количественное содержание водорода, абсорбированного редкоземельными элементами сплава. Так же, при комнатной температуре порошки имели лучшую степень измельчения, в отличии от тех, которые гидрировались при высоких температурах, высоких давлениях или получались процессом HDDR.

В известной научной литературе данное явление мало изучено и поэтому авторами на конференции будут представлены подробные результаты исследований взаимосвязи всех вышеописанных процессов, для получения материалов с повышенными магнитными характеристиками.

Литература:

1. *Кольчугина Н.Б.* Физико-химические основы и практические аспекты очистки редкоземельных металлов и создания высокоэффективных магнитотвердых материалов R-Fe-B (R=Nd, Pr, Tb, Dy): дис. на соискание ученой степени доктора тех. наук: 05.09.01. – Москва, 2018. – 350 с.

2. *А.С. Буйновский [и др.]*. Фторидная технология получения магнитных материалов на основе редкоземельных элементов для ядерной энергетики. Ч. I. Внепечная фторидная технология редкоземельных сплавов – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2012.– 435 с.

ВХОДНОЙ АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ РЗМ И ИХ РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Д.К. Грачева, А.А. Чуркин, А.Д. Бочанов
Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
г. Северск, e-mail: ptiza24@yandex.ru
Научный руководитель: Грачев Е.К.

Метод сканирующей электронной микроскопии является одним из самых простых и менее трудоемких. Исследовательской группой был проведен входной аналитический контроль сплавов на основе редкоземельных металлов ((РЗМ)Fe-Co, (РЗМ)Fe-Co прошедший термообработку, сплав LaNi5) с использованием сканирующего электронного микроскопа, с исследованием морфологии данных сплавов.

The scanning electron microscopy method is one of the simplest and less laborious. The research group carried out an input analytical control of alloys based on rare-earth metals ((REM) Fe-Co, (REM) Fe-Co heat-treated, LaNi5 alloy) using a scanning electron microscope, with the study of the morphology of these alloys.

В современном мире происходит скачкообразное развитие науки и промышленности, которые не могут обойтись без современных материалов, к которым, с каждым годом предъявляются все более высокие требования. Одними из таких материалов являются магнитные материалы на основе редкоземельных металлов. Основными материалами в данном направлении являются магнитные сплавы на основе Феррита, Sm-Co и NdFeB. Наибольшее применение получили

магнитные сплавы NdFeB, ввиду своей низкой цены и уникальных магнитных характеристик.

Одним из переделов (процессов) получения порошков магнитных сплавов является метод гидрирования-дегидрирования. Рассмотрим процесс гидрирования на примере получения магнитных порошков состава NdFeB. Процесс гидридного измельчения сплавов NdFeB осуществляется путем дробления слитка магнитного сплава на куски размером 10-20 мм и обработки их водородом. Этот процесс известен как водородная декрипитация (HD). В процессе гидрирования NdFeB происходит улучшение его магнитных характеристик [1].

Перед проведением процессов гидрирования следует изучить морфологию сплава, убедиться в качестве поверхности лигатуры и её химическом составе, так как в ходе процесса гидрирования будут улучшаться свойства сплавов только при правильном соотношении элементов в химическом составе сплавов.

Объектом данного исследования являются образцы исходных сплавов (PЗМ)Fe-Co, (PЗМ)Fe-Co прошедших термообработку и сплав LaNi₅. В ходе своего исследования научная группа столкнулась с проблемой и необходимостью проведения входного аналитического контроля сплавов (PЗМ)Fe-Co и (PЗМ)Fe-Co прошедших термообработку (изучения морфологии сплавов и их химического состав).

Для первичного анализа элементного состава и морфологии поверхности применяется рентгеноспектральный микроанализ. Метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) для анализа материалов нашел широкое применение в решении конкретных научных и технологических задач вследствие их высокой информативности и достоверности получаемых результатов исследования. Метод основан на использовании эффектов, возникающих при облучении поверхности объектов тонко сфокусированным пучком электронов. Для получения изображения поверхности образца используются вторичные, отраженные и поглощенные электроны. Остальные излучения применяются в СЭМ как дополнительные источники информации.

На сканирующем электронном микроскопе научной группой были исследованы образцы исходных сплавов (PЗМ)Fe-Co, (PЗМ)Fe-Co прошедших термообработку и сплав LaNi₅, который используется в процессе гидрирования в качестве “аккумулятора”. В ходе исследования пробы LaNi₅ сканирующей электронной микроскопией был подтвержден ее качественный состав. В сплаве отсутствовали примеси. Полученные результаты количественного анализа подтвердили атомное соотношение сплава LaNi₅. Однако, при анализе исходных сплавов

(РЗМ)Fe-Co исследовательская группа столкнулась с некоторыми трудностями. Результаты обработки спектров показали вероятное значительное завышение содержания Dy в связи с тем, что по методу фундаментальных параметров для обработки спектров заложена линия Dy L α (6,50 кэВ), на которую налагается интенсивная линия Fe K α (6,40 кэВ); для выбора другой линии необходимо проводить переградуировку по стандартным образцам диспрозия. На основании данных об атомарных соотношения в среднем состав сплава можно описать формулой: Nd_{1.0}Pr_{0.1}Dy_{0.8}Fe_{4.0}Co_{1.0} или (Nd,Pr,Dy)(Fe,Co)_{2.6}.

Для улучшения некоторых характеристик исходных сплавов исследовательской группой были проведены процессы термообработки.

Полученные на СЭМ снимки морфологии поверхности сплава до и после термообработки показали, что поверхность сплава исходного более стабильная и ровная, не имеющая изломов и трещин на поверхности.

Исследование морфологии сплава доказало, что поверхность сплава после термообработки, наоборот, имеет грубую морфологию, в которой встречается много изломов по всей поверхности. Данные изломы, предположительно, могут негативно сказываться на гистерезисных характеристиках.

При этом, из-за этих изломов увеличивается удельная поверхность сплавов. Соответственно при гидрировании водород будет абсорбироваться на большую поверхность сплава (обволакивать или создавать пленку на большей поверхности сплава). И так как гидрирование в принципе улучшает гистерезисные характеристики сплавов, то в данном случае оно улучшит их в несколько раз.

Особо стоит обратить внимание на тот факт, что наличие дефектов влияет на снижение температур десорбции сплава.

В докладе, который будет представлен на конференции, авторами будут представлены более подробные результаты с приведением снимков морфологии исследуемых сплавов, будут приведены таблицы с количественным и качественным составом исследуемых сплавов и будут представлены более подробные выводы проведенного исследования.

Литература:

1. Фторидная технология получения магнитных материалов на основе редкоземельных элементов для ядерной энергетики. Ч. I. Внепечная фторидная технология редкоземельных сплавов / А.С. Буйновский [и др.]. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2012.– 435 с – С. 289.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА БОРА

Т.С. Гудыма, Ю.Л. Крутский

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, gudymatan@mail.ru

Научный руководитель: Уваров Н.Ф., д.х.н., профессор

Керамика на основе карбида бора является перспективной для целого ряда промышленных областей благодаря ее высокой твердости, химической и термической стабильности. Однако получение керамики B_4C с высокой относительной плотностью весьма затруднительно по причине плохой спекаемости материала. Использование модифицирующих добавок переходных металлов (TiB_2 , ZrB_2 и CrB_2) позволяет решить данную проблему и получить материал с улучшенными механическими характеристиками. Физико-механические характеристики получаемого материала зависят от метода изготовления керамики, а также от температурных параметров процесса.

Boron carbide ceramics are promising for a number of industry field due to their high hardness, chemical and thermal stability. However, it is very difficult to obtain B_4C ceramics with a high relative density due to the poor sintering properties of the material. The use of modifying additives of transition metals (TiB_2 , ZrB_2 , and CrB_2) makes it possible to solve this problem and obtain a material with improved mechanical characteristics. The physical and mechanical characteristics of the resulting material depend on the method of making ceramics, as well as on the temperature parameters of the process.

Карбид бора B_4C относится к классу неметаллических тугоплавких соединений. Перспективность применения B_4C в технологических целях обусловлена его высокой температурой плавления, высоким модулем Юнга, низкой плотностью, высокими значениями твердости и модуля упругости, химической стабильностью. Карбид бора является одним из самых твердых материалов в природе, уступая по значению твёрдости алмазу и кубическому нитриду бора. Керамика на основе B_4C применяется в качестве легких бронепластин, керамических подшипников, режущих инструментов. Благодаря таким характеристикам карбида бора, как высокая твердость, тугоплавкость, большое сечение захвата тепловых нейтронов, керамика перспективна к применению в области ядерной энергетики [1-2].

Однако производство и применение керамики на основе карбида бора ограничено его низкой пластичностью, низким коэффициентом самодиффузии, невысокими значениями трещиностойкости, наличием сильных ковалентных связей. Для получения изделий с относительной

плотностью выше 80% требуется приложение высоких давлений и температур. При этом трещиностойкость керамики остается невысокой.

Один из способов улучшения способности к спеканию и увеличения трещиностойкости карбида бора заключается в добавлении вторичной фазы. Возможные варианты веществ, перспективных в качестве таких модифицирующих добавок, ограничены высокими температурами спекания W_4C . Дибориды циркония ZrB_2 , титана TiB_2 и хрома CrB_2 активно исследуются в качестве модифицирующих добавок благодаря их высоким значениям механических характеристик, жаропрочности, химической стабильности, невысоким значениям удельного электрического сопротивления [3].

Исследования показывают, что композиционная керамика состава $\text{W}_4\text{C-ZrB}_2$, $\text{W}_4\text{C-TiB}_2$ и $\text{W}_4\text{C-CrB}_2$ демонстрирует более высокую прочность и трещиностойкость, чем монолитный W_4C . Наличие модифицирующих добавок предотвращает аномальный рост зерен карбида бора, что также благоприятно сказывается на качестве получаемой керамики. Композиционная керамика обладает большей стойкостью к окислению, чем монолитные W_4C и MeB_2 . Электрическая проводимость керамики при наличии диборидов переходных металлов увеличивается [4-6].

Перспективным направлением является исследование возможности получения шихты для изготовления керамики методом *in-situ*. В данной работе определены верхний и нижний температурный предел высокотемпературного синтеза порошкового материала $\text{W}_4\text{C-MeB}_2$ ($\text{Me} = \text{Zr, Ti, Cr}$) методом карбидоборного восстановления соответствующих оксидов в присутствии избытка карбида бора и нановолокнистого углерода [7].

Установлено, что при давлении CO в реакторе, близком к атмосферному (0,0773 МПа), независимо от задаваемых составов оптимальная температура синтеза композиционного порошка $\text{W}_4\text{C-TiB}_2$ находится в диапазоне 1540-2200 °С, композиционного порошка $\text{W}_4\text{C-ZrB}_2$ – в диапазоне 1540-2280 °С, а композиционного порошка $\text{W}_4\text{C-CrB}_2$ – в диапазоне 1547-2150 °С.

Работа выполнена в соответствии с госзаданием Минобрнауки (код FSUN-2020-0008)

Литература:

1. Synthesis of polydisperse boron carbide and synthesis of a ceramic on its basis. Y. L. Krutskii, Y.K. Nepochatov, A.N. Pel', I.N. Skovorodin, K.D. Dyukova, T.M. Krutskaya, I.D. Kuchumova, O.E. Mats, A.G. Tyurin, Y.Y.

Emurlaeva, S.I. Podryabinkin // Russ. J. Appl. Chem. – 2019. – № 92. – С. 750–758.

2. Review on boron carbide. F. Thevenot // Adv. Ceram. – 1991. – V. 57. – С. 59–88.

3. Diborides of Some Transition Metals: Properties, Application and Production. Review. Part 1. Titanium and Vanadium Diborides. Y.L. Krutskii, N.Y. Cherkasova, T.S. Gudyma, O.V. Netskina, T.M. Krutskaya // Izv. Ferr. Metall. – 2021. – № 51. – С. 930-106.

4. Mechanical and ballistic properties of graphene platelets reinforced B₄C ceramics: Effect of TiB₂ addition. Y. Yuan, T. Ye, Y. Wu, Y. Xu // Mater. Sci. Eng. A. – 2021. – № 807. – С. 141294

5. Effects of ZrB₂ contents on the mechanical properties and thermal shock resistance of B₄C-ZrB₂ ceramics. R. He, L. Jing, Z. Qu, Z. Zhou, S. Ai, W. Kai. // Mater. Des. – 2015. – № 71, - С. 56-61.

6. Densification behaviour and mechanical properties of pressureless-sintered B₄C-CrB₂ ceramics. S. Yamada, K. Hirao, Y. Yamauchi, S. Kanzaki // J. Mater. Sci. – 2002. – № 37. – С. 5007–5012.

7. Evaluation of the Temperature Range Suitable for the Synthesis of B₄C-TiB₂ and B₄C-ZrB₂ Powder Composite Materials. V.A Shestakov, T.S. Gudyma, Y.L. Krutskii, N.F. Uvarov, A.E. Brester, I.N. Skovorodin // Inorg. Mater. – 2021. - № 57.- С. - 481–486.

ВЛИЯНИЕ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА НА СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ СИНТЕЗЕ КАРБИДА ХРОМА

Е.Ю. Ким¹, Е.А. Максимовский²

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,

г. Новосибирск, katerina_kim_95@mail.ru

Научный руководитель: Крутский Ю.Л., к.т.н., доцент

В данной работе исследовано влияние нановолокнистого углерода на синтез карбида хрома при разных температурах. Представлены результаты исследования порошков, полученных карботермическим восстановлением с использованием в качестве исходных реагентов нановолокнистого углерода и оксида хрома.

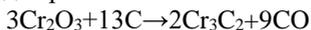
In this work, the effect of nanofibrous carbon on the synthesis of chromium carbide at different temperatures is investigated. The results of a study of powders obtained by carbothermal reduction using nanofibrous carbon and chromium oxide as initial reagents are presented.

С развитием современной науки всегда будут востребованы создания новых материалов, а также улучшение качества уже существующих, которые обладают устойчивостью к воздействию агрессивных сред, высокой коррозионной стойкостью и прочностью. К таким материалам относится тугоплавкое соединение карбид хрома (Cr_3C_2). Карбид хрома – это превосходный тугоплавкий керамический материал, известный своей твердостью. Наночастицы карбида хрома производятся методом спекания. Эти частицы имеют такой же тепловой коэффициент, что и у стали, что придает им механическую прочность, позволяющую выдерживать нагрузки на уровне пограничного слоя.

Благодаря высоким прочностным характеристикам, карбид хрома широко применяется в промышленности. Из сплава карбида хрома с никелем изготавливают детали пресс-форм и аппаратов химической промышленности, а также используется для изготовления специальных инструментов, которые противостоят интенсивному абразивному износу при повышенных температурах [1].

В работе выбран карботермическое восстановление для получения карбида хрома. Для приготовления шихт использовался нановолокнистый углерод, растертый в порошок и просеянный через сито с диаметром ячейки 100 мкм, и сам оксид хрома. Оба реагента перед использованием выдерживали в печи при 100°C для удаления влаги.

Для получения карбида хрома шихта готовилась по реакции:



Эксперименты проводились при температурах 900°C, 1100°C, 1300°C и 1500°C. Время выдержки составило 20 минут в индукционной печи тигельного типа. Синтез осуществлялся в среде инертного газа — аргона, для предотвращения нежелательного азотирования продукта реакции.

При помощи растрового электронного микроскопа (РЭМ) S-3400N (Hitachi) получены изображения поверхности образцов, их морфология, размер частиц и элементный состав методом энергодисперсионного анализа.

На рисунке (рисунок 1) видно, что при температуре 900 °C образец не претерпевает никаких изменений и на снимке видны исходные реагенты – мелкие частицы оксида хрома на поверхности агрегатов углеродного материала. Косвенным доказательством этого является то, что, по данным седиментационного анализа, средний размер частиц оксида хрома составляет 1,37 мкм, а НВУ – 3,84 мкм. При температуре 1100 °C начинают обнаруживаться первые частицы карбида хрома и по-прежнему остаются компоненты исходной шихты.

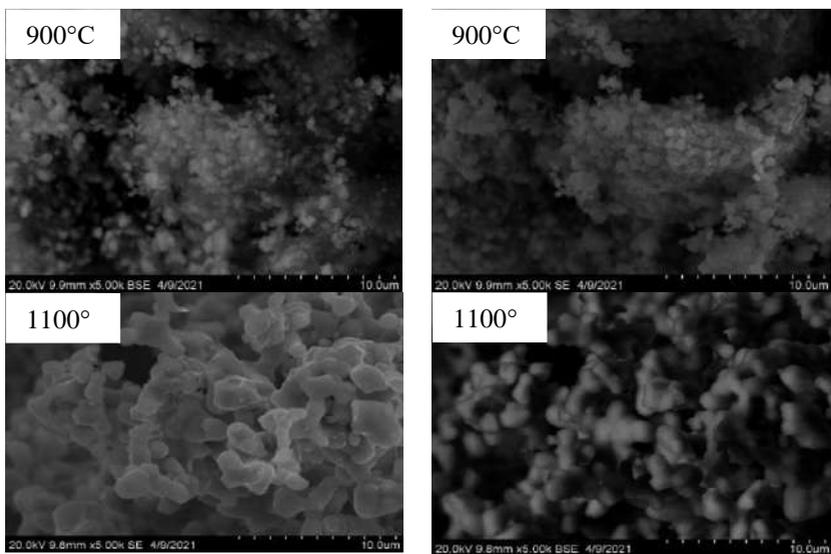


Рис.1 – Снимки образцов на РЭМ, полученных при взаимодействии оксида хрома с НВУ. Слева – снимки, полученные во вторичных электронах (SE), справа, то же место, но в обратно- рассеянных (BSE)

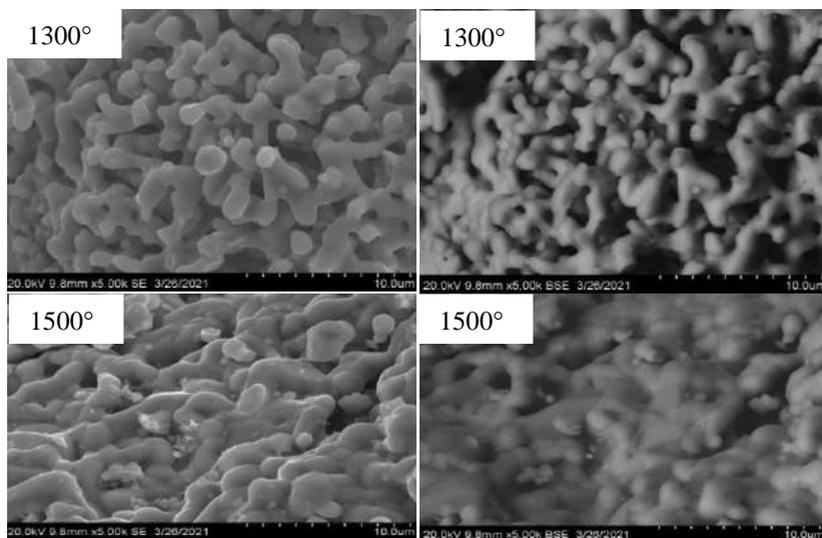


Рис.2 - Снимки образцов на РЭМ, полученных при взаимодействии оксида хрома с НВУ. Слева – снимки, полученные во вторичных электронах (SE), справа, то же место, но в обратно-рассеянных (BSE)

Дальнейшее увеличение температуры до 1300 °С приводит к формированию частиц карбида хрома, которые образуют агрегаты, исходные компоненты не обнаружены (рисунок 2). При температуре 1500 °С частицы карбида начинают спекаться и образуют плотные структуры – агрегаты.

Данные, полученные методом энергодисперсионной спектроскопии, представлены в таблице 1. Видно, что образцы содержат преимущественно хром, углерод и незначительное количество кислорода и углерода. Присутствие азота в образцах не было обнаружено (эксперименты проводились в инертном газе – аргоне). Форма частиц – не осколочная, то есть характерна для материалов, полученных по химическим реакциям. Они имеют широкий диапазон распределения по размерам и преимущественно агрегированы. С увеличением температуры термообработки размеры частиц/агрегатов возрастают.

Таблица 1 – Результаты энергодисперсионной спектроскопии

Образец	Cr ₃ C ₂ 900 °С	Cr ₃ C ₂ 1100 °С	Cr ₃ C ₂ 1300 °С	Cr ₃ C ₂ 1500 °С
Элемент	Атомный состав, %			
С	50.95	37.25	32.17	34.24
О	33.91	2.1	0	0
Cr	15.14	60,65	67.83	65.76
Итого	100.00	100.00	100.00	100.00

Исходя из данных сканирующей электронной микроскопии и элементного анализа наиболее оптимально по энергетическим затратам, проводить синтез при температуре 1300 °С, так как при данной температуре достигли нужного по составу карбида хрома. Показано, что использование углеродного материала с развитой поверхностью (НВУ) вместо обычно применяемой сажи позволило снизить параметры процессов синтеза (температуру на 100...200 °С) и время.

Литература:

1. *Крутский Ю.Л., Дюкова К.Д.* Получение порошка карбида хрома с использованием гранулированного нановолокнистого углерода // *Высокие технологии в современной науке и технике: материалы всерос. науч.-техн. конф.* - Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 153 – 156.

ФОТОКОЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РОДАНИДОВ В РАСТВОРАХ

Н.Н. Киселева, Е.М. Турло

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Турло Е.М., к.п.н., доцент

В работе описана методика спектрофотометрического определения роданид-ионов в растворах. Показана зависимость чувствительности метода от кислотности среды.

This paper describes a technique for the spectrophotometric determination of thiocyanate ions in solutions. The dependence of the sensitivity of the method on the acidity of the medium is shown.

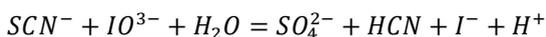
Роданиды аммония NH_4SCN и щелочных металлов MeSCN применяются в народном хозяйстве (гербициды, ингибиторы коррозии металлов, при крашении тканей, в фотографии) и химической промышленности (катализ, извлечение драгоценных металлов). Кроме того, роданид аммония является одним из компонентов сырья для получения тиомочевины $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$ и может попадать в техногенные воды. В водах роданиды образуются также при разложении тиосульфатов и политионатов и при взаимодействии сульфидов с цианидом. Роданид очень токсичен, его ПДК составляет 0,1 мг/л. Поэтому определение малых количеств роданидов в природных и сточных водах является актуальной задачей.

Для определения малых количеств тиоцианатов используют разнообразные физико-химические методы (хроматографические, электрохимические). Они позволяют определить концентрацию ионов с максимальной точностью около 10-40 мкг/л. Наибольшую чувствительность имеют каталитические фотометрические. Среди последних наиболее простым и экспрессным является метод, основанный на фотометрировании комплекса FeSCN^{2+} . Его основной недостаток состоит в невысокой чувствительности. Для фотометрического определения тиоцианатов предложены также бензидинпиридиновый и пиразолон-пиридиновый методы. Недостатком первого метода является канцерогенность используемого реагента, второго – неустойчивость растворов реагента. Экстракционно-фотометрический метод, включающий концентрирование тиоцианата в форме ионного ассоциата с метиленовым синим, характеризуется высокой чувствительностью, однако предполагает использование токсического органического растворителя – дихлорэтана. Для определения тиоцианатов используют также чувствительные непрямые

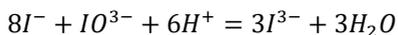
методы, основанные на редокс-реакциях. К исследуемому раствору добавляют избыток окислителя, например перманганата, а после завершения реакции окисления вводят избыток иодида. Количество выделившегося иода, пропорциональное количеству непрореагировавшего окислителя, определяют фотометрически. Нами изучена возможность увеличения чувствительности косвенного определения тиоцианата путем использования иодата в качестве окислителя и крахмала как фотометрического реагента на иод.

Методика эксперимента. Все реагенты были марки "х.ч." Раствор 0,1 М тиоцианата калия готовили из фиксаля. Стандартный 0,1 М водный раствор иодата калия готовили растворением точной навески, рабочие растворы – разбавлением дистиллированной водой исходных растворов. Раствор иодида калия помещали в посуду из темного стекла и хранили в холодильнике. Светопоглощение растворов регистрировали спектрофотометром ПЭ-5300ВИ. К растворам тиоцианата прибавляли определенное количество иодата и серной кислоты, выдерживали при температуре в диапазоне 10 – 50°С в течение фиксированного времени. Далее прибавляли растворы иодида и крахмала, при этом количество выделившегося иода находили по светопоглощению при 570 нм в кювете с толщиной слоя 50 мм.

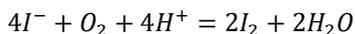
Результаты и их обсуждение. Тиоцианат и иодат реагируют в стехиометрических соотношениях



При последующем введении в реакционную смесь избытка иодида, по отношению к введенному окислителю, в кислой среде протекает иодиодатная реакция



Повышение кислотности раствора способствует протеканию данной реакции. При этом ускоряется также "фоновая реакция" иодида с кислородом



Было установлено, что при концентрации H_2SO_4 0,02 М поглощение "фоновое" раствора незначительно, а поглощение смесей KI с KIO_3 в отсутствие и в присутствии SCN^- не изменяется в течение 7 мин. При повышении кислотности растворов этот промежуток времени сокращается, что уменьшает воспроизводимость результатов анализа.

При концентрации серной кислоты $<0,02$ М скорость индикаторной реакции снижается. Поэтому дальнейшие исследования проводили при концентрации серной кислоты $0,02$ М. Светопоглощение растворов регистрировали через 5 мин после прибавления в реакцию смесь раствора иодида.

Данный метод очень чувствителен, позволяет определить $0,15$ мкг в 10 мл пробы. Метод является экспрессным. Результаты выполненной работы свидетельствуют о перспективности дальнейшего развития косвенных методов определения тиоцианата в технических водах.

Литература:

1. Запорожец О.А., Трохименко А.Ю. Непрямое спектрофотометрическое определение тиоцианата по иод-крахмальной реакции // Химия и технология воды. – 2008. – Т. 30, № 5. – С. 544–551.

2. Способ регенерации цианида из водных растворов: патент 2374340 Российская Федерация: МПК С 22 В 11/00 / В.К. Совмен, В.Н. Гуськов, С.В. Дроздов, В.Л. Корниенко, Т.А. Кенова, Н.А. Фондамакин; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Золотодобывающая компания «Полнос». - № 2008122704/02; заявл. 04.06.2008; опубл. 27.11.2009, Бюл. № 33. – 7 с.

3. Александрова Т.Н., Липина Л.Н. Обоснование методов обезвреживания цианистых стоков при переработке золотосодержащих руд // Горный инновационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 9. – С. 116–121.

4. Васильева И.С., Кенова Т.А., Корниенко В.Л. Электрохимическое окисление тиоцианатов активными формами кислорода на электроде из диоксида свинца // Журнал Сибирского федерального университета. – 2011. – № 1. – С. 18–26.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ БОРИДОВ ЖЕЛЕЗА И НИКЕЛЯ

Е.В. Кладиева, Д.В. Тютюньков, Е.М. Турло

Новосибирский государственный технологический университет,

г. Новосибирск, kladieva.geny@mail.ru

Научный руководитель: Турло Е.М., к.п.н., доцент

Представленная работа посвящена разработке технологической схемы получения покрытий на основе боридов железа и никеля для оборудования нефтехимического производства, а также исследованию свойств полученных покрытий. В работе рассмотрены физико-химические свойства боридов, обуславливающие возможность использования боридов железа для повышения износостойкости нефтехимического оборудования. Описана методика

определения коррозионной стойкости покрытий. Проанализирована зависимость коррозионной стойкости покрытий.

The presented work is devoted to the development of a technological scheme for obtaining coatings based on iron borides for equipment of petrochemical production, as well as to the study of the properties of the obtained coatings. The paper considers the physicochemical properties of borides, which make it possible to use iron borides to increase the wear resistance of petrochemical equipment. A technique for determining the corrosion resistance of coatings is described. The dependence of the corrosion resistance of coatings is analyzed.

В нефтедобывающей промышленности существует необходимость использования материалов, проявляющих высокую коррозионную стойкость, жаростойкость, технологичность и немагнитность. Одним из таких материалов является хромоникелевая аустенитная сталь 12Х18Н9Т [1]. Наличие в составе аустенитообразующего компонента – никеля – обуславливает пластичность и технологичность данного материала, а высокое содержание хрома обеспечивает стойкость стали к коррозии. Стойкость к коррозии объясняется образованием на поверхности материала пленки оксидов хрома, препятствующей окислению железа и дальнейшему разрушению материала в жестких условиях, например, при высоких температурах (отсюда – жаростойкость) [2]. Однако при определенных условиях хромоникелевые стали могут подвергаться локальным видам коррозионного разрушения, в частности межкристаллитной коррозии (МКК) [3].

Склонность к МКК может развиваться в процессе эксплуатации и в результате сварочного нагрева при изготовлении оборудования. Одним из способов решения данной проблемы является формирование износостойких покрытий на сталях данного класса [4, 5]. Современным методом увеличения прочности является получение боридных покрытий. При этом необходимо сохранить остальные преимущества данного материала. Важным является наблюдение за склонностью материала к межкристаллитной коррозии.

Цель данной работы – получение боридных покрытий с использованием разных смачивающих компонентов (железо, никель) и проведение экспресс-тестирования на коррозию. В ходе работы равномерно наносили пасту на поверхность основного материала.

На сегодняшний день основной метод получения боридных покрытий – вневакуумная лучевая наплавка. С помощью этого метода можно получать покрытия только на горизонтальных поверхностях. Что препятствует активному использованию этого метода.

В ходе работы мы попытались разработать технологию получения боридных покрытий на деталях с разнообразной формой (сфера, цилиндр). Для этого мы разработали состав пасты, содержащей бор. После нанесения на поверхность изделия и термической обработки данная паста превращается в стойкое боридное покрытие, не уступающее по качеству первому. При этом процесс получения покрытий становится более экономичным. Состав пасты: аморфный бор, тетраборат натрия, тритон X-100, силикат натрия, фторид магния, никелевые и железные опилки. Пасту кистью наносили на поверхность, высушивали при температуре 450°C в муфельной печи, охлаждали и наносили следующий слой. Количество слоев варьировало 15-20. Затем изделие обжигалось в индукционной печи.

С помощью данного метода были получены слои с толщиной 0,2-0,4 см. Покрытие однородное, прочное, имеет хорошее сцепление с поверхностью изделия.

Исследование образцов на определение коррозионной стойкости определяли по ГОСТ 6032-2003 [6]. Для расчета показателя скорости коррозии был использован весовой показатель коррозии K_m , который составил $\sim 0,3-0,4$ г/м²ч. Весовой показатель свидетельствует, что материал обладает хорошей устойчивостью (класс X), согласно классификации классов коррозионной устойчивости.

В ходе исследовательской работы подобран состав пасты, которую можно наносить на изделия различной формы, и получать стойкое покрытие, содержащее бориды. Установлено, что после термической обработки образуется слой боридов с высоким содержанием бора. Наплавка позволяет получить износостойкие покрытия толщиной до 4 мм. Предложена технология получения боридных покрытий на цилиндрических поверхностях. Подобраны условия, при которых бор окисляется с минимальными потерями. Было найдено соотношение составных компонентов. Проведена оценка коррозионной стойкости боридного покрытия на нержавеющей стали.

Литература:

1. *Шлямнев А.П.* Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы. – М.: Проммет-Сплав, 2008. – 336 с.
2. *Дмитриев А.Ю.* Основы технологии бурения скважин: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 216 с.
3. Межкристаллитная коррозия аустенитных сталей / А.Н. Баранов, М.В. Константинова, Е.А. Гусева, М.В. Гречнева // Системы. Методы. Технологии. – 2015. – №2 (26). – С. 142–147.

4. Гадалов В.Н., Борсяков А.С. Диффузионные боридные покрытия на железе, сталях и сплавах. – М.: Наука, 2012. – 144 с.

5. Голковский М.Г. Закалка и наплавка релятивистским электронным пучком вне вакуума. Технологические возможности метода. –Германия: LAP LAMBERT AcademicPublishing, 2013. – 318 с.

6. ГОСТ 6032-2003. Стали и сплавы коррозионно-стойкие. Методы испытаний на стойкость к межкристаллитной коррозии = Corrosion-resistant steels and alloys. Test methods of intercrystalline corrosion resistance. – Введ. 2005-01-01. – М.: Стандартиформ, 2005. – 18 с.

ПЕРЕРАБОТКА ДРОБЛЕННЫХ КУКУРУЗНЫХ СТЕРЖНЕЙ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н.С. Лазаренко, В.В. Головахин, К.В. Трегубова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, 9139278003@mail.ru

Научные руководители: Баннов А.Г., к.т.н., доцент;

Корниенко Е.Е., к.т.н., доцент

В данной работе были получены образцы пористого углерода из дробленых кукурузных стержней. Были представлены результаты ИК-спектроскопии углеродного материала.

The porous carbon made from crushed corn cores was obtained in this work. The results on FTIR spectroscopy of carbon were presented.

В связи с постоянным ростом численности населения Земли растет и количество потребляемой им воды. Необходимость улучшения технологий подготовки воды для промышленного и частного применения, а также повышения качества очистки сточных вод делает актуальными исследования, нацеленные на разработку технологий водоочистки. Применение мембран, модифицированных активированным углем, может позволить добиться высокой степени очистки воды без использования химических реагентов, сохраняя длительный цикл работоспособности.

На данный момент активированный уголь активно применяется в различных очистительных системах в качестве адсорбента. Активированный уголь относится к широкому спектру карбонизированных материалов с высокой степенью пористости и большой площадью поверхности. Данное свойство позволяет найти ему

множество применений в очистке окружающей среды и промышленных стоков в процессах удаления, извлечения, разделения различных соединений в жидкой и газовой фазах [1]. Одним из наиболее важных его преимуществ в сравнении с другими углеродными материалами является его относительная простота и дешевизна получения.

Активированный уголь - крайне многофункциональный материал, выделяющийся большой площадью поверхности и высокой степенью пористости, также стоит отметить, что доля углерода в элементном составе может достигать до 90%. Углеродные структуры могут содержать ряд основных функциональных групп, определяющих его свойства. Такими группами являются карбоксил, карбонил, фенол, лактон и хинон. Они отвечают за адсорбцию загрязняющих веществ. Уникальные адсорбционные свойства зависят от имеющихся функциональных групп активированного угля, их наличие во многом зависит от процесса активации прекурсоров и способа их дальнейшей термической очистки [2].

Наиболее изученными и используемыми источниками активированного угля являются древесина, антрацит, битумный уголь, бурый уголь, торфяная скорлупа и кокос, однако наука не стоит на месте и пальма первенства постепенно переходит к сырью состоящему из различных отходов биомассы, таких как рисовая шелуха, оливковые косточки, миндальная скорлупа и т.д. Лигноцеллюлозная биомасса привлекает все большее внимание благодаря тому, что ее легко получить из широкого спектра сельскохозяйственных продуктов и побочных отходов их производства [3]. Также в качестве сырья могут выступать пищевые отходы, и другие биологические отходы [4], дальнейшее развитие данных технологий значительно повысит экологичность процессов получения активированного угля, при этом предоставив промышленности доступ к огромной и дешевой сырьевой базе.

В качестве наиболее доступного сырья для начала исследований были выбраны дробленые кукурузные стержни, являющиеся довольно распространенным и недорогим органическим отходом сельского хозяйства.

Обработка сырья проводилась в проточном реакторе в инертной среде аргона. Дробленые кукурузные стержни подвергались температурной обработке при температуре 500 °С в течение 1 часа. В процессе пиролиза кукурузной биомассы был получен углеродный материал, при этом конверсия составила около 25% и может варьироваться от глубины пиролиза. В ходе реакции выделялось большое количество органических смол, химический состав которых

требует дальнейшего анализа. Температурная обработка током горячего воздуха (600 °С) позволила практически полностью очистить внутреннюю поверхность реакционной камеры.

На Фурье-ИК-спектре полученного углеродного материала можно наблюдать карбонильные (1130 см^{-1}), а также различные азотсодержащие группы (950 см^{-1}), в том числе амидные (1650 см^{-1}), что благоприятно скажется на абсорбционных способностях материала при работе с ионами металлов. Результаты ИК спектроскопии полученного образца представлен на рисунке 1.

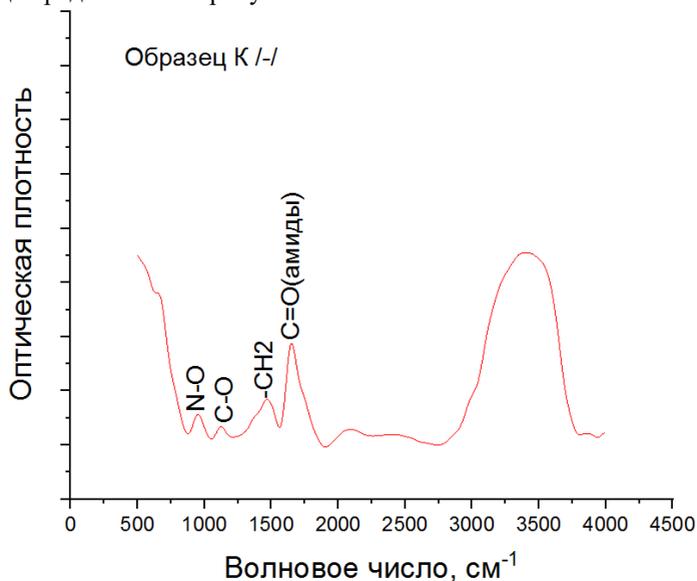


Рис.1 – ИК-спектр углеродного материала, полученного из дробленных кукурузных стержней

Полученные результаты говорят о перспективности исследуемого материала для использования в качестве адсорбента в водоочистительных мембранах, нацеленных на извлечение тяжелых металлов, с точки зрения его поверхностного химического состава.

Для получения оптимальных водоочистительных мембран необходимо провести подбор метода активации получаемого углеродного материала, проанализировав его поверхностные характеристики методами БЭТ и ртутной порометрии. Также, несмотря на дешевизну кукурузных стержней и хороший химический состав получаемого материала, необходимо изучить характеристики

углеродных материалов, полученных на основе других распространенных в России органических отходов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки (код FSUN-2020-0008).

Литература:

1. *Heidarinejad Z.* Methods for preparation and activation of activated carbon: a review // *Environmental Chemistry Letters.* – 2020. – N 18. – P. 393–415.
2. *Yousefi M.* Modification of pumice with HCl and NaOH enhancing its fluoride adsorption capacity: Kinetic and isotherm studies // *Human and Ecological Risk Assessment.* – 2018. – Vol. 3, N 25. – P. 1–13.
3. *Kosheleva R.* Synthesis of activated carbon from food waste // *Environmental Chemistry Letters.* – 2019. – N 17. – P. 429–438.
4. *Ukanwa K.* A Review of Chemicals to Produce Activated Carbon from Agricultural Waste Biomass // *Sustainability.* – 2019. – Vol. 11, N 22. 6204.

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ НА ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Н.И. Лапекин, И.А. Грачев, Т.В. Ануфриева

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, lapekin21@mail.ru**

**Научные руководители: Баннов А.Г., к.т.н., доцент;
Корниенко Е.Е., к.т.н., доцент**

В данной работе исследовали влияние давления прессования на газочувствительные свойства многостенных углеродных нанотрубок. Исследования проводили в диапазоне концентраций диоксида азота 100-500 ppm при комнатной температуре. В качестве анализируемых образцов использовали прессованные при 9-13 МПа многостенные углеродные нанотрубки. Было установлено, что давление прессования существенно влияет на газочувствительные свойства многостенных углеродных нанотрубок.

In the paper the influence of compaction pressure on gas-sensing properties of multi-walled carbon nanotubes was investigated. The study was carried out in the nitrogen dioxide concentration range of 100-500 ppm at room temperature. As analyzed samples the multi-walled carbon nanotubes pressed at 9-13 MPa were used. It was found that that the compaction pressure significantly affects the gas-sensing properties of multi-walled carbon nanotubes.

Наноструктурные материалы имеют колоссальное значение с научной и практической точек зрения, ввиду уникальных физико-химических свойств, которые проявляются в процессе изменения размера частиц. Размерный эффект проявляется в изменении магнитных, электро- и теплопроводящих свойств, а также в изменении значений температуры плавления, диэлектрической постоянной и т.д. [1].

К числу перспективных наноматериалов можно отнести многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ), которые нашли свое широкое применение в катализе, а также в качестве активного материала биосенсоров и хеморезистивных газовых сенсоров [2].

Как правило, традиционные газовые сенсоры реализуются в виде полупроводниковых датчиков на основе оксидов металлов, которые работают при высоких температурах (200-350°C). Это требует больших затрат энергии для поддержания нагрева и имеет важное значение для создания портативных устройств [3]. Использование МУНТ в качестве активного материала хеморезистивных газовых сенсоров более предпочтительно благодаря низкой стоимости, высокой чувствительности, возможности встраивания в портативные устройства.

Отличительной особенностью МУНТ также является возможность присоединения функциональных групп путем химической обработки исходных образцов. В процессе обработки на поверхности материала образуются функциональные группы, которые положительно сказываются на адсорбционных, электрофизических, сенсорных свойствах материалов [4].

Сенсоры на базе МУНТ можно изготавливать на базе компактов. При этом очевидно, что в процессе компактирования плотность вещества увеличивается на порядки, что приводит к соизмеримому изменению физико-химических свойств материала. В работе [5] авторы установили, что в процессе уплотнения частиц МУНТ, удельная проводимость компактов увеличивалась в 2 раза, при увеличении давления прессования с 1 до 5 МПа. Поэтому очень важно оценивать изменение свойств компактов углеродных наноматериалов.

Данная работа посвящена изучению влияния давления прессования на газочувствительные свойства МУНТ.

Для оценки изменения сенсорных свойств методом прессования были получены компакты цилиндрической формы диаметром 10 ± 2 мм при давлении 9-13 МПа и времени 30 мин при комнатной температуре. Для прессования использовали коммерческие МУНТ диаметром 10-20 нм, полученные методом CVD. СЭМ- и ПЭМ-микрофотографии исходного образца МУНТ-1020 приведены на рисунке 1.

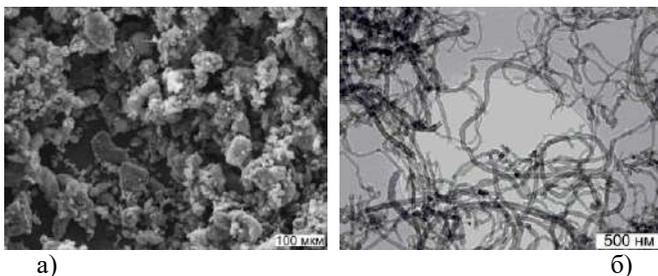


Рис.1 – СЭМ-микрофотография (а) и ПЭМ-микрофотография (б) образца МУНТ-1020

Структурные особенности как исходных, так и прессованных материалов определяли с помощью рентгенофазового анализа (РФА). По значению полуширины пика, которая соответствует значению межплоскостного расстояния между графеновыми слоями, по формуле 1 была рассчитана степень графитации (d_{002} – межплоскостное расстояние, нм):

$$y = \frac{0,688 - 2 \cdot d_{002}}{0,688 - 0,6708} \quad (1)$$

Значения параметров компактирования МУНТ-1020 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения параметров компактирования

Образец	Давление прессования, МПа	Время прессования, мин
МУНТ-1020 (90_30)	9	30
МУНТ-1020 (100_30)	10	30
МУНТ-1020 (110_30)	11	30
МУНТ-1020 (120_30)	12	30
МУНТ-1020 (130_30)	13	30

Отклик газовых сенсоров был исследован с помощью изготовленной на заказ газовой установки. В качестве газа-носителя использовался синтетический воздух (79% N_2 , 21% O_2). Вторая линия использовалась для анализатора: смесь 5000 ppm NO_2 в воздухе. Основным параметром датчиков был отклик датчика. Значение отклика рассчитывалось по формуле 2 (R – сопротивление сенсора при воздействии анализируемого газа, Ом; R_0 – сопротивление сенсора при воздействии синтетического воздуха, Ом):

$$S = \frac{R - R_0}{R_0} \cdot 100 \% \quad (2)$$

Исследования реакции сенсоров на воздействие NO_2 проводились при комнатной температуре (25 ± 2 °C) в диапазоне концентраций 100-500 ppm.

В таблице 2 приведены значения межплоскостного расстояния, а также степени графитации исходных и прессованных МУНТ-1020.

Таблица 2 – Значения межплоскостного расстояния и степени графитации исходного и прессованного МУНТ-1020

Образец	d_{002} , нм	Степень графитации, %
МУНТ-1020	0,340	46,53
МУНТ-1020 (110_30)	0,342	26,82

Из рисунка 2 видно, что прессованные образцы МУНТ-1020 (90_30) и МУНТ-1020 (130_30) имеют отклик на диоксид азота. Значения отклика датчиков МУНТ-1020 (90_30) и МУНТ-1020 (130_30) варьировались в диапазоне 2,94-16,65 % и 2,35-14,33 %, соответственно, при комнатной температуре в диапазоне концентраций диоксида азота 100-500 ppm. Исходя из полученных данных, можно говорить о снижении значения отклика газового сенсора при увеличении давления прессования образца. Это обусловлено изменением внутренней структуры МУНТ-1020, а именно пластической деформацией агломератов, что приводит к нарушению основной плоскости графита, о чем также говорят значения степени графитации, полученные в результате РФА. Для прессованного МУНТ-1020 (110_30) степень графитации меньше, по сравнению с исходным образцом МУНТ-1020 (26,82 % и 46,53 %, соответственно).

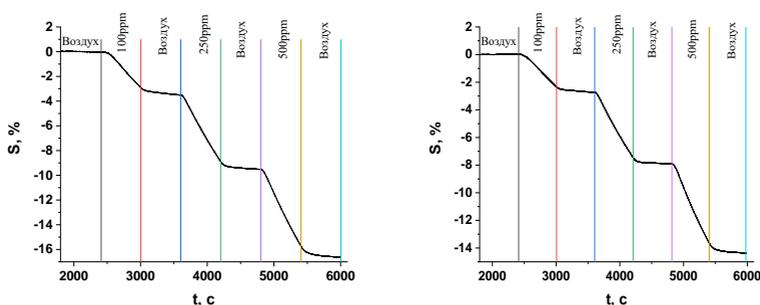


Рис.2 – Отклик хеморезистивного газового сенсора на основе МУНТ-1020 (90_30) (а), МУНТ-1020 (130_30) (б) на диоксид азота при комнатной температуре для диапазона концентраций от 100 ppm до 500 ppm (25 ± 2 °C)

Резюмируя вышесказанное, стоит отметить, что значение давления прессования многостенных углеродных нанотрубок существенно влияет на газочувствительные свойства компактов. Увеличение давления прессования с 9 до 13 МПа снижает отклик газового сенсора на 500 ppm диоксида азота с 16,65 % до 14,33 % соответственно. Для достижения большего значения отклика необходимо прикладывать меньшее значение давления прессования, однако в таком случае велика вероятность разрушения компакта.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки (код FSUN-2020-0008).

Литература:

1. *Lapekin N.I.* Electrical properties of compacted carbon nanomaterials // MATEC Web Conf. – 2021. – Vol. 340. – № 010447. – 5 p.
2. *Bannov A.G.* Recent Advances in Ammonia Gas Sensors Based on Carbon Nanomaterials // Micromachines. – 2021. – Vol. 12, N 186. – 30 p.
3. *Bannov A.G.* High-Performance Ammonia Gas Sensors Based on Plasma Treated Carbon Nanostructures // IEEE Sensors Journal. – 2017. – Vol. 17, N 7. – P. 1964-1970.
4. *Bannov A.G.* Comparative analysis of methods of oxidative modification of carbon nanofibers // Prot Met Phys Chem Surf. – 2012. – Vol. 48. – P. 199–206.
5. *Marinho B.* Electrical conductivity of compacts of graphene, multi-wall carbon nanotubes, carbon black, and graphite powder // Powder Technology. – 2012. – Vol. 221. – P. 351–358.

СИНТЕЗ НАНОКОМПОЗИТОВ В СИСТЕМЕ ДИОКСИД ОЛОВА–ОКСИД КАЛЬЦИЯ

А.В. Логинов^{1,2}, А.И. Апарнев¹, Н.Ф. Уваров^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт химии твердого тела и механохимии, ИХТТМ СО РАН,

г. Новосибирск, Россия, loginov@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Уваров Н.Ф.^{1,2}, д.х.н., профессор

Проведен синтез смешанного гидроксида $\text{CaSn}(\text{OH})_6$, исследованы продукты его термоллиза. Показано, что в результате термического разложения этого соединения при 600 °С образуются наноккомпозиты $\text{SnO}_2/\text{CaSnO}_3$, состоящие из наночастиц станната кальция и диоксида олова.

The synthesis of mixed $\text{CaSn}(\text{OH})_6$ hydroxide was carried out, and the products of its thermolysis were studied. It is demonstrated that thermal decomposition of this

compound at 600 °C results in formation of SnO₂/CaSnO₃ nanocomposites consisting of calcium stannate and tin dioxide nanoparticles.

Наноконпозиты на основе оксидов переходных металлов применяются для модификации различных материалов с целью улучшения их свойств. Повышенный интерес исследователей вызывают наноконпозитные материалы на основе диоксида олова, допированного переходными металлами, что обусловлено перспективными областями их применения. Подобные материалы можно использовать для изготовления газовых сенсоров, катализаторов, электродов, а также различных электронно-оптических и электрохимических устройств [1-5].

В данной работе получены наноконпозитные оксиды олова-кальция термическим разложением CaSn(OH)₆. Прекурсор CaSn(OH)₆ синтезирован совместным осаждением кальция и олова из солянокислых растворов при добавлении раствора аммиака. Полученный смешанный гидроксид олова-кальция подвергся термическому разложению в диапазоне температур 100-1000°C. Данные дифференциально-термического (ДТА) и термогравиметрического (ТГ) анализа свежесаженного образца гидроксида состава CaSn(OH)₆ свидетельствуют о протекании последовательных эндо- и экзотермических процессов, сопровождающихся изменениями массы, структуры и фазового состава, что хорошо согласуется с результатами РФА. При температурах 150-310°C наблюдается потеря массы, сопровождающаяся эндотермическим эффектом, обусловленная дегидратацией исходного образца. Продукт дегидратации является аморфным, о чем свидетельствует отсутствие на рентгеновских дифрактограммах рефлексов, соответствующих кристаллическим фазам. По данным РФА образец, полученный прогревом смешанного гидроксида при 300-600°C в течение 5 ч, представляет собой рентгеноаморфный продукт. При дальнейшем нагревании образца наблюдается экзотермический эффект при 720-850°C, связанный с переходом аморфной фазы в смесь кристаллических фаз станнатов магния CaSnO₃, Ca₂SnO₄, что подтверждается результатами РФА. На дифрактограмме также наблюдаются уширенные пики нанокристаллического диоксида олова, что указывает на сложный механизм кристаллизации аморфного продукта. Прокаливание выше 1000°C приводит к разложению CaSnO₃ с образованием фазы SnO₂ и фазы Ca₂SnO₄ со структурой шпинели.

Таким образом, термическим разложением гексагидроксостанната кальция возможно получение функциональных наноконпозитов на основе диоксида олова различных составов типа SnO₂-CaSnO₃ и SnO₂-

Ca₂SnO₄. Данные продукты перспективны для дальнейшего использования в твердых композиционных электролитах.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках реализации программы развития НГТУ (научный проект № С21–19).

Литература:

1. Jena H., Kutty K.V.G, Kutty T.R.N. Ionic transport and structural investigations on MSn(OH)₆ (M = Ba, Ca, Mg, Co, Zn, Fe, Mn) hydroxide perovskites synthesized by wet sonochemical methods // Materials Chemistry and Physics. – 2004. – Vol. 88, iss. 1. – pp. 167-179.
2. Cheng H., Lu Z. Synthesis and gas-sensing properties of CaSnO₃ microcubes / Solid State Sci., – 2008. – Vol. 10, iss. 8 -pp. 1042-1048
3. Loginov A.V., Aparnev A.I., Uvarov N.F. Study of thermal decomposition of hexahydroxostannates(IV) MSn(OH)₆, (M = Mg, Sr, Ca) // Materials Today: Proceedings. – 2020. – Vol. 25, pt. 3. – pp. 477-479.
4. Loginov A.V., Bagavieva S.K., Aparnev A.I., Uvarov N.F. Synthesis of oxide materials in the Mg-Sn-O system for use in composite solid electrolytes // Russ. J. Appl. Chem. – 2017. – Vol. 90, iss. 3. – pp. 496–498.
5. Dai Q., Gu C., Xu Y., Zhang Y., Hong Y., Woo Joo S., Huang J. Self-sacrificing template method to controllable synthesise hollow SnO₂@C nanoboxes for lithium-ion battery anode // Journal of Electroanalytical Chemistry. – 2021. – Vol. 898, N 115653.

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ СИНТЕЗЕ ДИБОРИДА ВАНАДИЯ

И.С. Мамаев¹, Е.А. Максимовский²

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,

г. Новосибирск, iiamamaev@gmail.com

Научный руководитель: Крутский Ю.Л.¹, к.т.н., доцент

В данной работе рассматривается вариант снижения энергетических затрат при синтезе диборида ванадия посредством использования нановолокнистого углерода. Представлены результаты исследования порошков, полученных данным методом, посредством энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии.

This paper discusses an option to reduce energy costs in the synthesis of vanadium diboride for the use of nanofibular carbon. The results of the study of powders obtained by this method, through the energy-dispersive x-ray spectroscopy and scanning electron microscopy.

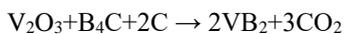
В современном мире развитие многих отраслей промышленности: электроники, техники, космической, энергетики и металлургии – связано с возрастанием параметров технологических и иных процессов. Непосредственно, возрастают требования к материалам, поиск и создание которых является одной из важнейших проблем. Решением является использование существующих и созданием новых тугоплавких материалов, которые сочетают высокие температуры плавления с низкой упругостью паров, высокой термодинамической устойчивостью, твердостью, износостойкостью и другим физико-химическими свойствами [1]. Одним из наиболее важных соединений этого типа является диборид ванадия.

Диборид ванадия VB_2 – представитель диборидов металлов V группы. Характеризуется высокой температурой плавления, высокими значениями твердости, прочности, износо- и ударостойкости, вследствие чего является перспективным материалом для высокотемпературной техники, при создании воздушных ванадиево-боридных электрохимических ячеек, для получения катализаторов жидкофазного окисления молекулярным кислородом различных органических соединений.

Данная работа заключалась в следующем: изучение характеристик образцов высокодисперсного диборида ванадия, полученного посредством реакции оксида ванадия (III) с карбидом бора B_4C и углеродом [2].

Для выполнения синтеза гранулы нановолокнистого углерода (НВУ), оксид ванадия V_2O_3 и высокодисперсный порошок карбида бора перед проведением экспериментов высушили в печи при $100^\circ C$ для удаления влаги. Исходные порошки совместно просеивали через сито 100 мкм.

Проведение процесса синтеза путем нагрева в газовой среде из аргона в углеродном тигле смеси оксида ванадия V_2O_3 , карбида бора и НВУ, приготовленной по стехиометрии на получение диборида ванадия в соответствии с реакцией:



Эксперименты были выполнены при температурах 1300, 1500, 1600 и $1700^\circ C$ (образцы 1, 2, 3 и 4 соответственно) в индукционной печи в среде аргона, время процесса в каждом случае составляло 20 минут.

Морфологию, размеры частиц и элементный состав образцов изучали на растровом электронном микроскопе (РЭМ) S-3400N

(Hitachi), оборудованном приставкой для энергодисперсионного анализа.

На рисунке 1 приведены снимки РЭМ образцов, полученных при взаимодействии оксида ванадия (III) с углеродом и карбидом бора при разных температурах. Слева – снимки, полученные во вторичных электронах, справа, то же место, но в обратно-рассеянных.

Данные, полученные методом энергодисперсионной спектроскопии, представлены в таблице 2. Спектры были получены при ускоряющем напряжении 20 кэВ, увеличении 200 раз и токе 2 нА.

Образцы представлены частицами с ровными краями. Такая форма частиц характерна для материалов, полученных по химическим реакциям. На снимках образцов 1 и 2, полученных при сравнительно низких температурах (реакция прошла не полностью), заметно, что они представлены разнородными частицами, что, собственно, являются собой смесь исходных реагентов и продукта реакции. Частицы преимущественно агрегированы.

По данным энергодисперсионного анализа таблица 1 образцов 3 и 4 они содержат преимущественно ванадий, бор и незначительное количество кислорода и углерода. Присутствие азота в образцах не было обнаружено (эксперименты проводились в инертном газе аргоне). Форма частиц – не осколочная, то есть характерна для материалов, полученных по химическим реакциям. С увеличением температуры термообработки размеры частиц/агрегатов возрастают.

Исходя из результатов элементного анализа, можно выяснить следующее. При температуре 1300°C образец состоит из частично прореагировавшей смеси, о чем говорит высокое содержание углерода.

При температуре синтеза образца 1700°C также можно сказать, что примеси кислорода и углерода в образце были близки к минимуму.

Также видно доказательство неполного прохождения реакции образования боридов при температуре синтеза образца 1500°C, когда при 1600°C содержание бора выше содержания в образце углерода.

Таблица 1 – Результаты элементного анализа

Образец Элемент	VB ₂	VB ₂	VB ₂	VB ₂
	1300°C	1500°C	1600°C	1700°C
	Атомный состав, %			
В	18.19	42.81	56.26	56.28
С	72.80	43.94	7.66	5.25
V	9.01	13.25	36.08	38.47
Итоги	100.00			

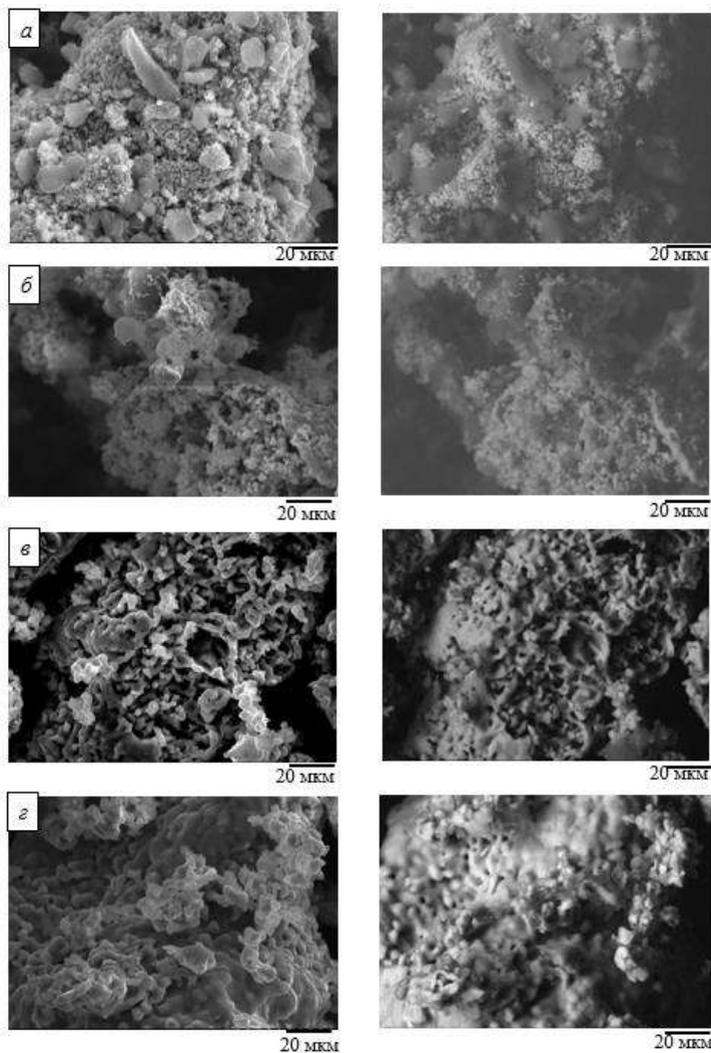


Рис. 1 – Снимки РЭМ образцов No 1-1300 (а), 3-1500 (б), 4-1600 (в) и 5-1700 (г), слева – снимки, полученные во вторичных электронах (SE), справа, то же место, но в обратно-рассеянных (BSE).

В итоге исследован процесс синтеза высокодисперсного диборида ванадия карбидоборным методом. В качестве восстановителя был использован нановолокнистый углерод, характеризующийся

сравнительно низким содержанием примесей уровне мас%). Предполагается, что образование фазы VB_2 протекает последовательно через появление промежуточных фаз. Частицы диборида ванадия имеют ровные края, широкий диапазон распределения по размерам и преимущественно агрегированы. Показано, что использование нановолокнистого углерода при синтезе диборида ванадия, вместо обычно применяемой сажи, позволяет снизить параметры процессов синтеза, такие как температуру и время процесса.

Исходя из данных сканирующей электронной микроскопии и элементного анализа наиболее оптимально по энергетическим затратам, проводить синтез при температуре $1600\text{ }^\circ\text{C}$, так при данной температуре достигается необходимый состав продукта.

Литература:

1. Дибориды некоторых переходных металлов: свойства, области применения и методы получения. Часть 1. Дибориды титана и ванадия (обзор) / Крутский Ю.Л., Черкасова Н.Ю., Гудыма Т.С., Нецкина О.В., Крутская Т.М. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2021. – № 64 (2). С. 149-164.

2. Серебрякова Т.И. Неронов В.А., Высокотемпературные бориды. – Челябинск: Металлургия, 1991. – 368 с.

СИНТЕЗ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СТАННАТА ЦИНКА

А.Д. Мочалов¹, А.И. Апарнев¹, А.В. Логинов^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет;

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск, Россия, sasha.ru.1001@gmail.com

Научный руководитель: Апарнев А.И.¹, к.х.н., доцент

Синтезирован двойной гидроксид цинка(II) и олова(IV) $ZnSn(OH)_6$, исследованы продукты его термического разложения. Показано, что в результате термоллиза того соединения при $600\text{ }^\circ\text{C}$ образуется наноккомпозит, состоящий из фаз касситерита SnO_2 и шпинели Zn_2SnO_4

The double hydroxide of zinc(II) and tin(IV) $ZnSn(OH)_6$ was synthesized. The products of its thermal decomposition were investigated. It is shown that thermolysis of this compound at $600\text{ }^\circ\text{C}$ results in formation of a nanocomposite consisting of cassiterite SnO_2 and spinel phases Zn_2SnO_4

Известно, что системе Zn–Sn–O в зависимости от соотношения исходных компонентов, могут быть получены два основных соединения: ортостаннат цинка Zn_2SnO_4 со структурой обратной шпинели и метастаннат цинка $ZnSnO_3$ со структурой перовскита [1]. Данные соединения используют при создании различных функциональных материалов. Zn_2SnO_4 и $ZnSnO_3$, представляющие собой широкозонные полупроводниковые оксиды с проводимостью *n*-типа, применяют в качестве диэлектриков, прозрачных проводников, материалов для газовых сенсоров, литий-ионных аккумуляторов, солнечных элементов, в фотокатализе и других областях [1, 2].

В данной работе представлены данные по синтезу станнатов цинка с помощью реакции термического разложения двойного гидроксида олова(IV) и цинка состава $ZnSn(OH)_6$.

Гидроксид олова и цинка был получен смешением раствора станната натрия $Na_2SnO_3 \cdot 3H_2O$ с раствором хлорида цинка, взятых в атомном соотношении Zn:Sn = 1:1 с последующим интенсивным перемешиванием в течении 18 ч. По данным химического анализа, проведенного атомно-адсорбционным методом на спектрофотометре Varian AA 280FS, остаточное содержание ионов олова и цинка составляло менее 0.1 мкг/л, что позволяет судить о полном замещении ионов натрия в станнате на ионы цинка.

Полученный осадок белого цвета отфильтровывали от маточного раствора, промывали дистиллированной водой и высушивали при 105°C в течение 4 ч в сушильном шкафу. Термическую обработку порошка проводили в муфельной печи SNOL 6,7/1300 при 300, 520, 600 и 800°C со скоростью нагревания 5 °C/мин до заданной температуры и выдержкой при конечных температурах в течение 4 ч.

Рентгенофазовый анализ (РФА) порошков проводили на приборе Bruker D8 Advance с использованием излучения CuK_{α} . Качественную идентификацию образующихся в системе фаз проводили с помощью программы Crystallographica Search-Match, Version 2.1 и базы данных PDF2. Процесс термического разложения исследовали методом дифференциального термического анализа (ДТА) с помощью синхронного термоанализатора SNA 449 F/1/1 JUPITER при скорости нагрева 10 К/мин в атмосфере смеси аргона и воздуха.

По данным рентгеноструктурного анализа, полученный двойной гидроксид $ZnSn(OH)_6$ имеет кубическую структуру, что согласуется с данными, представленными в базе данных PDF2 (файл №73-2384). Параметр кристаллической решетки составляет 7.767Å. По данным сканирующей электронной микроскопии, порошок гидроксида состоит из кубических частиц с размерами 0.2-0.4 мкм. По данным химического

микроанализа, соотношение атомных долей Zn:Sn равно 5.9:6.3, что согласуется расчетными значениями.

Исследование процесса термолита двойного гидроксида методом ДТА показали, что в диапазоне температур 50-500°C наблюдается уменьшение массы образца вследствие его дегидратации, сопровождающееся ярко выраженным эндотермическим эффектом при 280°C. После термической обработки образца при 600°C на рентгенограмме появляются широкие рефлекссы, относящиеся к фазе касситерита SnO₂ (файл PDF2 № 41-1445) и узкие рефлекссы фазы Zn₂SnO₄ со структурой шпинели (файл PDF2 № 74-2184). Оценка с помощью уравнения Шеррера показывает, что образец состоит из смеси наночастиц касситеррита и станната цинка с размером порядка 10 нм. Полученный материал является перспективным при создании газовых сенсоров.

Работа выполнена в рамках Тематического плана НИР НГТУ по проекту ТП-ХХТ-1_21.

Литература:

1. *Налимова С.С., Максимов А.И., Матюшкин Л.Б., В.А. Мошников.* Современное состояние исследований в области синтеза и применения станната цинка // Физика и химия стекла. – 2019. – Т. 45, № 4. – С. 311–325. – doi. 10.1134/S0132665119040097.
2. *Ammonia gas sensor based on PPy/ZnSnO₃ nanocomposites / P.Song, Q. Wang, ZX. Yang // Materials Letters. – 2011. – Vol. 65, iss. 3. – pp. 430-432. – doi. 10.1016/j.matlet.2010.10.087*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДИФРАКТОМЕТРА

К.И. Степанов, Д.С. Нижегородов

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,

г. Северск, skdota2@bk.ru

Научный руководитель: Макасеv Ю.Н., к.т.н., доцент

В данной статье будет подробно описан рентгеноструктурный анализ, принцип работы дифрактометра и определение его разрешающей способности. Данный метод позволяет исследовать структуру вещества с помощью явления дифракции рентгеновских лучей на трехмерной кристаллической решетке с учетом группы элементарной ячейки, симметрии кристалла, формы и размера.

This article will describe in detail the X-ray structural analysis, the principle of operation of the diffractometer and the determination of its resolution. This method makes it possible to study the structure of a substance using the phenomenon of X-ray diffraction on a three-dimensional crystal lattice, taking into account the group of the unit cell, crystal symmetry, shape and size.

Примерно 90% всех твердых материалов можно считать кристаллическими. При облучении материала рентгеновским излучением, атомная решетка образца действует как трехмерная дифракционная решетка, отклоняя рентгеновское излучение под различными углами, в зависимости от межатомных расстояний. Полученная рентгенограмма регистрируется дифрактометром представленным на рисунке 1.

Рентгеноструктурный анализ является наиболее мощным и современным методом качественного и количественного определения структурного состава минералов. Метод основан на исследовании дифракции рентгеновского излучения на поликристаллических образцах и расшифровке полученных данных – т.н. дифрактограмм.

Регистрация дифрактограмм представляет собой исследование углового распределения интенсивности дифрагированного излучения. В дифрактометре ARL X'tra в качестве источника используется рентгеновская трубка с медным анодом максимальной мощностью 2200 Вт, а дискриминация неупруго рассеянного излучения осуществляется полупроводниковым детектором с охладителем Пельтье разрешением 250 эВ. В дифрактометре X'tra применяется геометрия «на отражение» в варианте θ - θ , т.е. и трубка, и детектор движутся симметрично относительно неподвижного образца. [1]

Частицы твёрдого кристаллического вещества могут представлять собой отдельные кристаллы, в свою очередь, любой кристалл имеет дефекты внутреннего строения. Все кристаллы построены из блоков различной величины. Внутри блока в кристалле возможны точечные дефекты, микронапряжения и другие виды искажений кристаллической решётки. [2]

Виды дефектов могут оказывать существенное влияние на химическую активность вещества, на его физические свойства. Реальная блочная структура кристалла приводит к тому, что пики вещества на рентгенограмме размываются. Кроме размеров блоков к размытию пика приводит и ряд других дефектов структуры, а также неидеальный характер самого рентгеновского излучения (его не монохроматичность, расхождение пучка) и погрешность прибора. С чем мы и столкнулись при работе с ним. Нами было принято решение провести анализ эталона алюминия, и полученная кристаллограмма представлена на рисунке 2.



Рис. 1 – Рабочая камера дифрактометра в которой находятся гониометры с трубкой и детектором, штатив для образца, основные кнопки управления и световые элементы

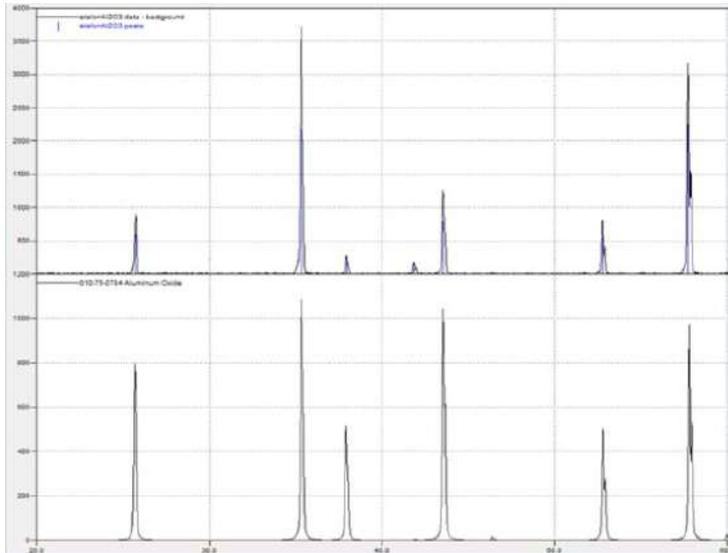


Рис. 2 – Кристаллограмма эталона алюминия построенная в координатах импульс в секунду от градуса угла наклона гониометра

В верхней части отображена кристаллограмма взятая из международной библиотеки кристаллограмм, в нижней части отснятый эталон алюминия. Видны расхождения что подтвердило догадки о неточной разрешающей способности данного прибора, было принято провести следующие операции устранения неполадок:

- регулировка ширины щелей на рентгеновской трубке и на детекторе
- корректировка угла тета на рентгеновской трубке, путем установки такого предустановленного угла тета, при котором нивелируется расхождение снимаемой дифрактограммы с эталонным значением положения линии.

После настройки аппарата, выполнен повторный анализ образца эталона алюминия и получена кристаллограмма соответствующая эталону взятому из библиотеки. Кристаллограмма представлена на рисунке 3.

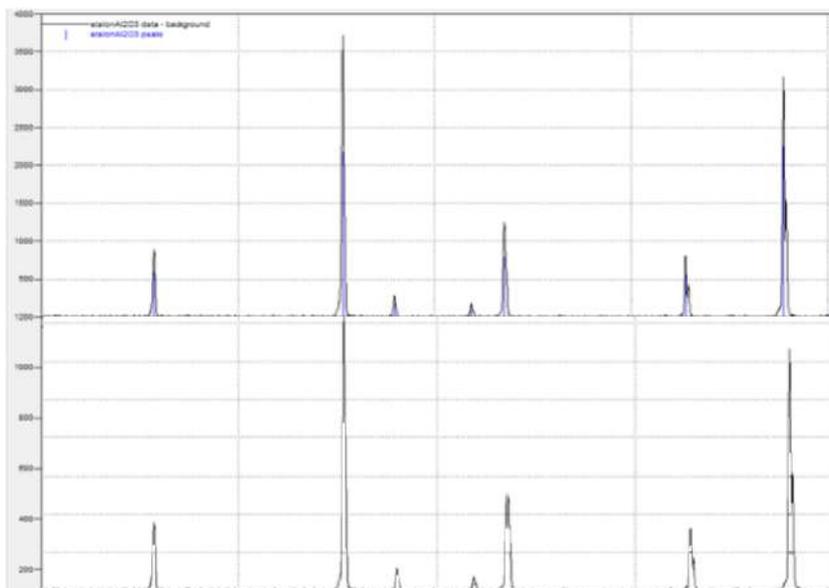


Рис. 3 – Кристаллограмма соответствующая эталону алюминия построенная в координатах импульс в секунду от градус угла гониометра после проведённых корректировок

Таким образом, в ходе работы была изучена методика анализа с применением дифрактометра, выполнена съемка эталонного образца.

Были выявлены дефекты в приборе, произведены операции по их устранению, установлены оптимальные параметры мощности, ширины щелей и углов отражения на рентгеновской трубке и ширины щелей.

Литература:

1. Л.М.Ковба, В.К.Трунов. Рентгенофазовый анализ. – М:МГУ, 1976.-231 с.

2. Пушаровский Д.Ю. Рентгенография минералов. – М.:ЗАО «Геоинформмарк», 2000. – 292 с.

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ И ПЕРСПЕКТИВЫ МАКСЕНОВ

М.А. Козлов^{1,3}, В.В. Головахин², А.Г. Баннов²

¹Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН,

²Новосибирский государственный технический университет,

³Российский химико-технологический университет

им. Д.И. Менделеева, г. Москва, porovmaxvik@gmail.com

Научный руководитель: Попов М.В.^{1,2,3}, к.т.н., доцент

Работа посвящена синтезу и исследованию пористых углеродных материалов таких как терморасширенный графит, нановолокнистый углерод и активированный углерод как электродные материалы для суперконденсаторов. Обсуждено использование двумерных карбидов переходных металлов (максенов) в качестве электродных материалов.

This work is devoted to the synthesis and study of porous carbon materials such as thermally expanded graphite, nanofiber carbon and activated carbon as electrode materials for supercapacitors The use of two-dimensional transition metal carbides (maxenes) as electrode materials is discussed.

По мере увеличения глобального спроса на энергию необходимо будет эффективно внедрять возобновляемые источники энергии, такие как ветровые, волновые и солнечные, в широких масштабах. В силу изначальной нестабильности возобновляемых источников энергии, для их эффективного внедрения необходима разработка технологий хранения и преобразования энергии. Одним из наиболее востребованных направлений в сфере разработок аккумулирующих источников электроэнергии является создание высокоэффективных экологически чистых электрохимических конденсаторов или

суперконденсаторов (СК) [1]. Сейчас активно изучается возможность применения новых пористых углеродных материалов для электродных структур, которые будут обладать высокими показателями ёмкостных характеристик, оптимальными параметрами текстурных характеристик, а также иметь невысокую стоимость. В связи с этим, целью данной работы является разработка пористых углеродных материалов для применения в качестве электродных структур суперконденсаторов, а также исследование зависимостей удельной ёмкости от текстурных характеристик и типа используемого углеродного материала на примере терморасширенного графита (ТРГ), нановолокнистого углерода (НВУ), активированного углерода (АУ).

Результаты исследования текстурных характеристик исходных углеродных материалов представлены в таблице 1. В данной таблице приведены значения удельной площади поверхности (A , м²/г), удельной площади поверхности микропор (A_m , м²/г), средний диаметр пор ($d_{пор}$, нм), а также общий объем пор (V , см³/г).

Таблица 1 – Текстурыные характеристики

№ п/п	Образец	A , м ² /г	A_m , м ² /г	$d_{пор}$, нм	V , см ³ /г
1	НВУ	248	116	9	0.535
2	ТРГ	759	455	4	0.817
3	АУ	145	114	3	0.109

Анализ результатов удельной ёмкости показал, что наибольшей удельной ёмкостью характеризовались материалы, имеющие средний размер пор 1–5 нм, то есть обладающие микро- и мезопористой структурой. Значения удельной ёмкости наибольшие для активированного углерода (АУ), полученного из рисовой лузги, и составило 57 Ф/г, также наибольшую удельную ёмкость показала рисовая лузга, обработанная азотной кислотой – 179 Ф/г при скорости развертки 2 мВ/с.

Между тем большие перспективы в качестве электродных материалов имеют максены [2]. Двумерные карбиды переходных металлов (максены) – самый молодой класс двумерных (2D) материалов, которые впервые были синтезированы в 2011 году в США. В ИОХ РАН (г. Москва) и НГТУ (г. Новосибирск) ведутся совместные исследования в области создания, исследования и прикладного применения максенов как перспективный класс нового вида электродного материала для суперконденсаторов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки (код FSUN-2020-0008).

Литература:

1. Mirzaeian M., Abbasa Q., Ogwua A., Hallb P., Goldinc M., Mirzaeian M., Jirandehid H.F. Electrode and electrolyte materials for electrochemical capacitors // Int. J. Hydrogen Energy. 2017. Vol. 42, №. 40. P. 1–23.
2. Xiao J., Wen J., Zhao J., Ma X., Gao H., Zhang X. A safe etching route to synthesize highly crystalline Nb₂CT_x MXene for high performance asymmetric supercapacitor applications// Electrochimica Acta, Vol. 337, 2020, 135803

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СИНТЕЗА НАНОЧАСТИЦ МЕДИ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ ГЛЮКОЗОЙ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ

Е.А. Попова¹, Л.И. Афонина^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Афонина Л.И.^{1,2}, к.х.н., доцент

Проанализирована литература по способам получения и применения наночастиц меди восстановлением из растворов её солей с использованием глюкозы с целью нахождения простых методов получения наночастиц меди, а так же их стабилизации. Методом рентгенофазового анализа исследован состав образцов, полученных в выбранных условиях, оценен размер частиц.

The literature on methods of obtaining and application of copper nanoparticles by reduction from solutions of its salts using glucose has been reviewed to find simple methods of obtaining copper nanoparticles as well as their stabilization. The composition of samples obtained under the chosen conditions was investigated by X-ray diffraction analysis and the particle size was estimated.

Усиление интереса к синтезу металлических нано- и микроматериалов, наблюдаемое в последнее десятилетие, вызвано рядом причин. Во-первых, уменьшение размера частиц - это традиционный способ улучшения таких свойств материала, как каталитическая активность, активность в твердофазных реакциях, процессах спекания. Кроме того, у вещества в нанокристаллическом

состоянии проявляются особые свойства (магнитные, оптические и др.), которые не характерны для объемных материалов и обусловлены проявлением квантовых эффектов [1]. Вследствие чего, наноразмерные металлические порошки широко используются в различных областях науки и техники: электронике, катализе, медицине, а разработка и совершенствование методов их синтеза сохраняет свою актуальность.

Повышенным вниманием пользуются наноразмерные материалы на основе меди. Медь обладает высокой электропроводностью, теплопроводностью, ковкостью, пластичностью. Эти свойства меди можно улучшить, получив на ее основе различные наноструктуры с хорошо контролируемыми размерами и морфологией. Кроме того, медь - хороший альтернативный материал для таких благородных металлов, как Au и Ag, обладая сходными химическими свойствами, она в виду ее низкой стоимости гораздо более экономична.

Успехи в получении и использовании наночастиц меди в значительной мере зависят от возможностей методов синтеза – от того, позволяет ли выбранный метод получать стабильные наночастицы заданного размера, сохраняющие в течение длительного времени высокую химическую и биологическую активность [2].

Для получения наноструктурной меди применяют различные способы и подходы, например, термохимическое и фотохимическое разложение солей, механохимическое измельчение, золь-гель технологии и другие [1]. Многие из них требуют существенных экономических затрат и сложного технического оборудования и часто не всегда позволяют достичь желаемого результата.

Механохимическое измельчение - пример синтеза наночастиц «сверху вниз», который заключается в контролируемом разрушении твердых прекурсоров на более мелкие компоненты часто с использованием шаровых мельниц. Главным недостатком этого метода является то, что в процессе разрушения материала образуются частицы разного размера, и практически невозможно подобрать условия, при которых частицы будут получаться четко заданного необходимого размера. Размер получаемых частиц зависит от типа шаровой мельницы, конструкции контейнера, скорости вращения, времени, температуры внутри контейнера, атмосферы, среды помола и соотношения масс шаров и порошка. В работе [3] исследовали влияние этих параметров на синтез наночастиц меди методом мокрого шарового помола и были получены частицы меди размером 21 нм.

Подход «снизу вверх» (когда прекурсоры атомного уровня используются для синтеза наноразмерных материалов) более популярен, поскольку он предлагает широкие возможности для

контроля формы и размера, получаемых наночастиц и охватывает большое число химических методов, протекающих в растворах.

В методе термического разложения наночастицы меди часто синтезируются в автоклавах под давлением при контролируемой температуре, причем температура растворителя превышает температуру кипения растворителя. В зависимости от растворителя этот процесс известен как сольвотермальный и гидротермальный. Так, Бетанкур-Галиндо и соавт. использовали фениловый эфир в качестве растворителя при сольвотермальном синтезе сферических наночастиц меди размером 4-18 нм [4].

Анализ литературы показал, что реакция восстановления ионов меди, происходящая в водных растворах, является наиболее простым и эффективным способом получения наночастиц меди, позволяющим легко контролировать размер и форму получаемых частиц [5]. Данный метод не требует сложного оборудования, больших инвестиций, что позволяет легко реализовать его в промышленных масштабах. В этом методе достаточно легко контролировать морфологию частиц и получать их определенной формы (нановолокна, нанотреугольники, наносферы, нанопластины), а так же их размер, варьируя в ходе синтеза различные факторы определяющие процесс. Однако, синтез стабильных, монодисперсных и имеющих одинаковую форму наночастиц меди имеет определенные трудности из-за их тенденции быстро окисляться и агрегировать при наличии кислорода в реакционной смеси, что требует дополнительных исследований по подбору стабилизаторов для наночастиц. Кроме того, некоторые восстановители (борогидриды, гидразины, гипофосфиты), используемые в этих процессах, небезопасны для окружающей среды и человека. Поэтому очень актуально стоит вопрос по поиску реагентов, которые соответствуют приобретающей все большую популярность концепции «зеленой химии». В этой связи значительное внимание уделяется процессам, где в качестве восстановителей используются аскорбиновая кислота и глюкоза, не представляющие опасности для окружающей среды. В работе [6] отмечено, что глюкоза является экологически чистым восстановителем и ее использование одновременно выполняет несколько задач. Она не только способна мягко восстанавливать катионы Cu^{2+} в Cu^0 , но также отвечает за стабилизацию образующихся наночастиц меди, покрывая их защитной пленкой, предотвращающей их дальнейшее окисление кислородом воздуха в течение длительного времени.

Таким образом, анализ литературы показал, что свойства наноматериалов, их химический и фазовый состав напрямую зависят от способа синтеза и природы исходных реагентов.

Нами проведено исследование процесса восстановления меди глюкозой из водного раствора ее сульфата. Восстановление проводили при молярном соотношения меди и глюкозы 1:1,5 и температуре 60 °С, рН среды корректировали до значения 9 добавлением NaOH. Время перемешивания 1 ч. В ходе эксперимента наблюдалось образование мелкодисперсных осадков темно-коричневого цвета, которые отделяли фильтрацией, промывали водой и сушили на воздухе. На дифрактограммах образцов, полученных в этих условиях, регистрировались пики с максимумами, отнесенными к двум фазам: оксида меди (I) (JCPDS No. 05-667) и металлической меди (JCPDS No. 04-836). Оценка состава фаз и размеров кристаллитов по данным РФА: 52% Cu₂O (28 нм) и 48% Cu (28 нм). Проведение процесса в разбавленном в 5 раз растворе с теми же соотношениями реагентов увеличивало содержание в осадке оксидной фазы и уменьшало размеры частиц. Оценка состава фаз и размеров кристаллитов по данным РФА в этом случае: 84% Cu₂O (12 нм) и 16% Cu (30 нм). Планируемые в дальнейшем эксперименты при более высокой температуре (85 °С) и большем молярном соотношении глюкозы к меди должны способствовать преимущественному формированию фазы металлической Cu.

Работа выполнена в рамках Тематического плана НИР НГТУ по проекту ТП-ХХТ-1_21.

Литература:

1. Ремпель А.А., Материалы и методы нанотехнологий: учебное пособие. – Изд-во Урал. ун-та. – Екатеринбург, 2015. - 136 с.
2. Copper Nanoparticle(CuNP's) Synthesis by the Various Ways with Photocatalytic and Antibacterial Activity (A-Review) / I. A. Tito, S. Uddin, S. Islam, S. Bhowmik // Orient. J. Chem. - 2021. - V. 37, No 5. - P. 1030-1040.
3. Yadav S.K., Vasu V. Synthesis and Characterization of Copper Nanoparticles, Using Combination of Two Different Sizes of Balls in Wet Ball Milling // Int. J. Emerg. Trends Sci. Technol. - 2016. – Vol. 3. P. 3795-3799.
4. Synthesis of Copper Nanoparticles by Thermal Decomposition and Their Antimicrobial Properties / R. Betancourt-Galindo, P.Y. Reyes-Rodriguez, B.A. Puente-Urbina, C.A. Avila-Orta, O.S. Rodríguez-Fernández

// J. Nanomater. – 2014 – Vol. 2014, iss.5. – P.5. – doi: 10.1155/2014/980545.

5. Солдатенко Е.М., Доронин С.Ю., Чернова Р.К. Химические способы получения наночастиц меди // Бутлеровские сообщения. – 2014. – № 2. – 103-113 с.

6. Upadhyay L.S.B., Kumar N. Green synthesis of copper nanoparticle using glucose and polyvinylpyrrolidone (PVP) // Inorganic and Nano-Metal Chemistry. – 2017. – Vol. 47, N. 10 – P. 1436-1440.

ЗАМЕЩЕНИЕ ФТОРА В 4,5,6,7-ТЕТРАФТОР-2,1,3-БЕНЗОТИАДИАЗОЛЕ С-НУКЛЕОФИЛАМИ

Э.А. Рейх¹, А.Ю. Макаров²

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Новосибирский институт органической химии СО РАН,

г. Новосибирск, reich2824@gmail.com

Научный руководитель: Макаров А.Ю.² д.х.н., в.н.с.

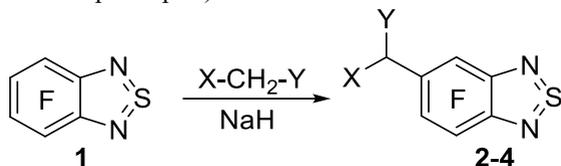
Высокорегioseлективное нуклеофильное замещение фтора в положении 5 4,5,6,7-тетрафтор-2,1,3-бензотиадиазола анионами малонитрила, циануксусного и малонового эфиров приводит к соответствующим замещённым производным малоновой кислоты. Строение 2-(4,6,7-трифтор-2,1,3-бензотиадиазол-5-ил)-пропандинитрила подтверждено рентгеноструктурным анализом.

Highly regioselective nucleophilic substitution of fluorine atom at position 5 of 4,5,6,7-tetrafluoro-2,1,3-benzothiadiazole by anions of malononitrile, cyanoacetic and malonic esters results in corresponding substituted derivatives of malonic acid. Structure of the 2-(4,6,7-trifluoro-2,1,3-benzothiadiazol-5-yl)-propanedinitrile was confirmed by X-ray diffraction.

2,1,3-Бензотиадиазолы представляют интерес как компоненты и структурные блоки функциональных материалов для органической электроники [1; 2], исходные вещества для синтеза разнообразных азотистых гетероциклов, включая обладающие перспективной биологической активностью, в частности, противораковой [3-5]. Атомы фтора в молекуле 2,1,3-бензотиадиазола не только нередко улучшают их ценные свойства, но также дают широкие возможности для синтеза разнообразных производных путём нуклеофильного замещения. Тем не менее, исследование таких реакций фторированных 2,1,3-бензотиадиазолов началось лишь в последнее десятилетие, и только для O- и N-нуклеофилов [3; 5].

В настоящей работе впервые исследованы реакции 4,5,6,7-тетрафтор-2,1,3-бензотиадиазола **1** с С-нуклеофилами – анионами малонитрила, циануксусного и малонового эфиров.

Реакция 4,5,6,7-тетрафтор-2,1,3-бензотиадиазола с карбанионом, генерированным из малонитрила действием NaH протекает при комнатной температуре в ТГФ и приводит к 2-(4,6,7-трифтор-2,1,3-бензотиадиазол-5-ил)малонитрилу **2** (схема 1), строение которого подтверждено рентгеноструктурным анализом (рис. 1). Аналогичные реакции с циануксусным и малоновым эфирами идут достаточно быстро только при повышенной температуре и приводят к соединениям **3** и **4**. Состав и строение полученных продуктов установлены спектроскопией ЯМР ^1H , ^{13}C и ^{19}F и масс-спектрометрией. Региоселективность замещения фтора во всех случаях высокая, содержание минорных изомеров в реакционной смеси не превышает 6% (по данным ЯМР ^{19}F и хроматомасс-спектрометрии).



X = Y = CN **2**; X = CN, Y = COOEt **3**; X = Y = COOEt **4**

Схема 1. Замещение атома фтора С-нуклеофилами

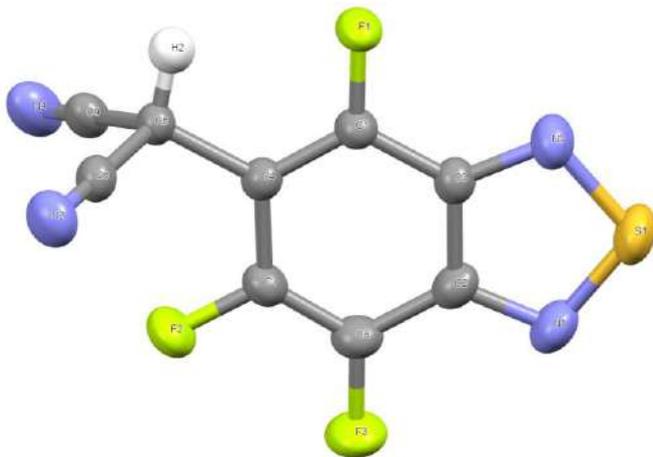


Рис. 1 – Строение 2-(4,6,7-трифторо-2,1,3-бензотиадиазол-5-ил)малонитрила **2** по данным РСА

Для соединения **2** наблюдается сольватохромия, обусловленная, очевидно, прототропной таутомерией (схема 2), ранее описанной для 2-(4-нитрофенил)пропандинитрила [6]. Раствор в дейтерохлороформе бесцветный, в дейтероацетонитриле оранжевый, в дейтерозтаноле красный, в ДМСО-d₆ тёмно-красный с пурпурным оттенком. Спектры ЯМР ¹⁹F в CDCl₃ и CD₃CN практически идентичны, что соответствует наличию исключительно бесцветного СН-таутомера **2**, наблюдаемого в кристаллическом состоянии (рисунок 1), либо его преобладанию, и отсутствию либо низкому содержанию окрашенного NH-таутомера **2a** хиноидного строения (схема 2). При переходе к смеси EtOH-CD₃CN 3:1 пики значительно уширяются, но положение сигналов меняется мало, т.е., СН-таутомер **2** преобладает и в этом случае. В спектре ЯМР ¹⁹F соединения **2** в ДМСО-d₆ наблюдаются сигналы NH-таутомера **2a**, причём значительно уширен только один из них (рис. 2, 3).

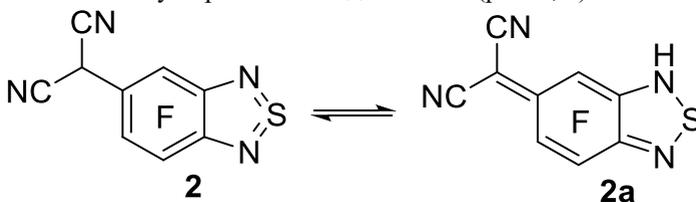


Схема 2. Прототропная таутомерия соединения **2**

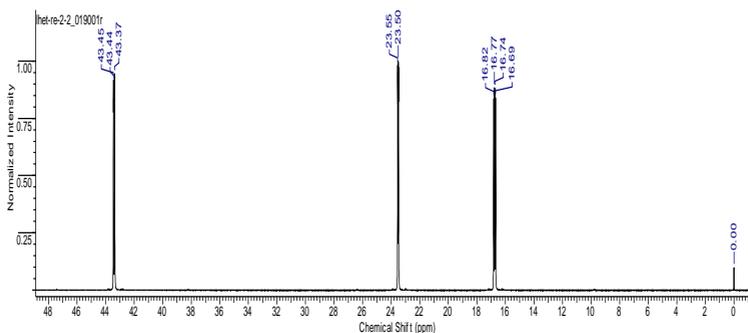


Рис. 2 – Спектр ЯМР ¹⁹F соединения **2** в CDCl₃; стандарт C₆F₆

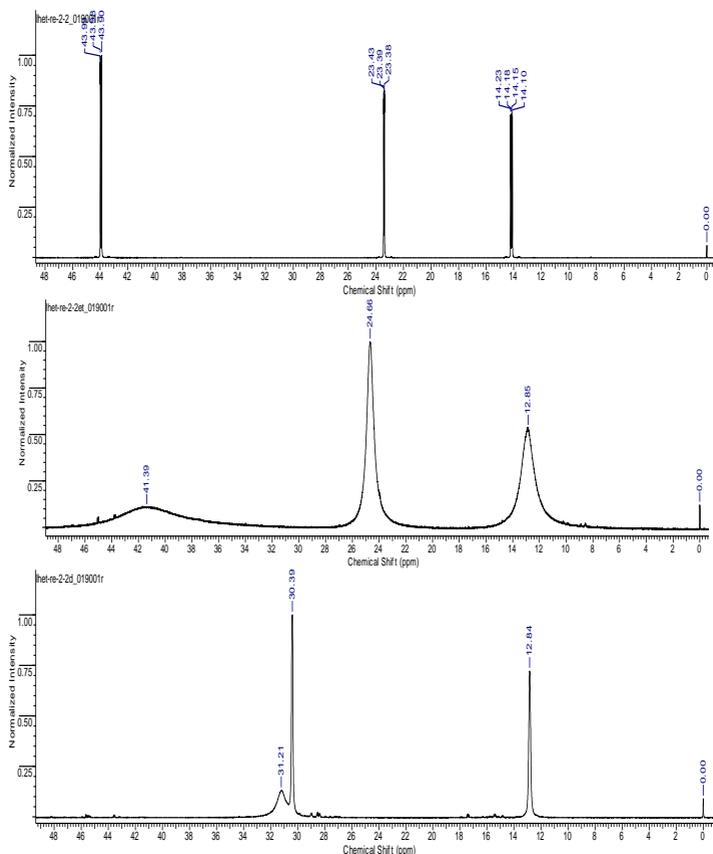


Рис. 3 – Спектры ЯМР ^{19}F соединения **2** в CD_3CN (вверху) в смеси $\text{EtOH-CD}_3\text{CN}$ 3:1 (в центре) и в DMCO-d_6 (внизу); стандарт C_6F_6

Литература:

1. Князева Е.А., Ракитин О.А. Влияние структурных факторов на фотовольтаические свойства сенсibilизированных красителем солнечных ячеек // *Успехи химии*. – 2016. – Т. 85, № 10. – С. 1146–1183.
2. 2,1,3-Benzothiadiazole and Derivatives: Synthesis, Properties, Reactions, and Applications in Light Technology of Small Molecules / В.А.Д. Neto, А.А.М. Lapis, Е. N. da Silva Júnior, J. Dupont // *Eur. J. Org. Chem.* – 2013. – Vol. 2013, iss. 2. – P. 228–255.
3. Carbocyclic functionalization of quinoxalines, their chalcogen congeners 2,1,3-benzothia/selenadiazoles, and related 1,2-diaminobenzenes based on nucleophilic substitution of fluorine / Mikhailovskaya T.F.,

Makarov A.G., Selikhova N.Yu., Makarov A.Yu., Pritchina E.A., Bagryanskaya I.Yu., Vorontsova E.V., Ivanov I.D., Tikhova V.D., Gritsan N.P., Slizhov Yu.G., Zibarev A.V. // J. Fluorine Chem. – 2016. – Vol. 183. – P. 44–58.

4. Halogenated (F, Cl) 1,3-benzodiazoles, 1,2,3-benzotriazoles, 2,1,3-benzothia(selena)diazoles and 1,4-benzodiazines inducing Hep2 cell apoptosis / Prima D.O., Vorontsova E.V., Makarov A.G., Makarov A.Yu., Bagryanskaya I.Yu., Mikhailovskaya T.F., Slizhov Yu.G., Zibarev A.V. // Mendeleev Commun. – 2017. – Vol. 27, iss. 5. – P. 439–442.

5. Fluorine-Containing n-6 and Angular and Linear n-6-n' (n, n' = 5, 6, 7) Diaza-Heterocyclic Scaffolds Assembled on Benzene Core in Unified Way / Prima D.O., Makarov A.G., Bagryanskaya I.Yu., Kolesnikov A.E., Zargarova L.V., Baev D.S., Eliseeva T.F., Politanskaya L.V., Makarov A.Yu., Slizhov Yu.G., Zibarev A.V. // ChemistrySelect. – 2019. – Vol. 4. – P. 2383–2386.

6. Anomalous reaction of arylmalononitriles with nitric acid. Para-directing nature of dicyanomethyl group and a through-ring nitro/*aci*-nitro tautomerism of 4-nitrophenylmalononitrile / Suzuki H., Koide H., Ogawa T. // Bull. Chem. Soc. Jpn. – 1988. – Vol. 61. – P. 501-504.

ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ КОМПОЗИТНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ (1-x) NaNO₂-xAl₂O₃

Л.А. Родригес^{1,2}, Д.В. Алексеев^{1,3}, Ю.Г. Матейшина^{1,2,3}

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

²Новосибирский государственный технический университет,

³Новосибирский государственный университет,

г. Новосибирск, liarodriguezru@outlook.com

Научный руководитель: Матейшина Ю.Г.^{1,2,3}, к.х.н., доцент.

В работе исследовано влияние различных составов на транспортные свойства твердых композитных электролитов (1-x) NaNO₂-xAl₂O₃ методом импедансной спектроскопии. Показано, что максимальной величиной проводимости является состав 0.7NaNO₂-0.3Al₂O₃ (T = 200 °C, δ = 2.3 · 10⁻² См/см).

The effect of various compositions on the transport properties of solid composite electrolytes (1-x) NaNO₂-xAl₂O₃ was investigated by impedance spectroscopy. It is shown that the maximum conductivity is the composition 0.7NaNO₂-0.3Al₂O₃ (T = 200 °C, δ = 2.3 · 10⁻² S/cm).

Вопросы энергетики остаются актуальными и в настоящее время и волнуют все мировое сообщество. Устройства, аккумулирующие энергию, такие как топливные элементы, аккумуляторы, суперконденсаторы и т.д., находят широкое применение как в промышленности, так и повседневной жизни. Любое электрохимическое устройство состоит из двух электродов, электролита и сепаратора. В связи с развитием рынка литий-ионных аккумуляторов стоимость лития выросла в 3 раза в 2015 г. и стабилизировалась. По оценкам Deutsche Bank общий мировой запас лития всего ~ 100 млн. тонн, что означает необходимость поиска альтернативы литию. Натрий-один из перспективных металлов для создания аккумуляторов. К преимуществам натрия можно отнести мировой запас и низкая цена (на 2 порядка по сравнению с литием). Работы по созданию натрий-ионных аккумуляторов получили новый виток развития в последние 10 лет, что активизировало поиск важного составляющего электрохимического устройства-электролита. В этом качестве используются различные водные или органические растворы кислот/щелочей или солей. Основными ограничениями для таких электролитов являются узкий диапазон рабочих температур и низкая механическая прочность. Эти недостатки можно решить переходом к твердым электролитам, характеризующимся механической прочностью и термической стабильностью. С другой стороны, возникает проблема недостаточной проводимости и неудовлетворительного контакта. В композиционных твердых электролитах типа «ионная соль- оксидная инертная добавка» удается устранить часть этих недостатков [1].

Нитрит натрия при комнатной температуре является сегнетоэлектриком со структурой, принадлежащей к объемно-центрированной ромбической группе. При $T \approx 436$ К имеет место фазовый переход, выше этой температуры кристаллическая структура неполярна и принадлежит к орторомбической системе (ПГС Immm). Особенность фазового перехода нитрита натрия заключается в том, что сегнетоэлектрическая упорядоченная фаза отделена от неупорядоченной параэлектрической фазы несоразмерной фазой, стабильной лишь в узком температурном интервале около $(1 \div 1,5)$ К [3]. В ряду нитритов щелочных металлов, нитрит натрия характеризуется низким значением ионной проводимостью, но достаточной термической стабильностью ($1,82 \cdot 10^{-6}$ См/см при 200 °С, $T_{пл} = 271$ °С [2]), что позволяет рассматривать эту соль как перспективную для создания твердых композиционных электролитов. В качестве второго компонента - инертной добавки, традиционно используют высокодисперсные оксиды (Al_2O_3 , SiO_2 и др.). Выбор основывается на

следующих свойствах: химическая инертность по отношению к соли, термическая стабильность в исследуемом рабочем интервале температур и высокая удельная поверхность.

Целью настоящей работы было исследование транспортных свойств твердых композиционных электролитов $(1-x) \text{NaNO}_2 \cdot x\text{Al}_2\text{O}_3$.

Синтез твердых композиционных электролитов проводился по керамической методике из NaNO_2 (ООО «Хлорен Хима», хч) и высокодисперсного оксида алюминия (Al_2O_3) (СКТБ "Катализатор" с $s_{\text{уд}} = 200 \pm 20 \text{ м}^2/\text{г}$). Предварительно дегидратированные исходные реагенты (Al_2O_3 - при $600 \text{ }^\circ\text{C}$ течение 2 часов до удаления воды), взятые в стехиометрическом соотношении были использованы для синтеза твердых композиционных электролитов состава $(1-x) \text{NaNO}_2 \cdot x\text{Al}_2\text{O}_3$ (где x -мольная доля, $0 < x < 1$). Механическая смесь реагентов тщательно перемешивалась в агатовой ступке в течение 10 мин. Далее смесь помещали в фарфоровый тигель, затем сушильный шкаф на $271 \text{ }^\circ\text{C}$ на 20 мин. Процедуру повторяли минимум 2 раза. Для измерения транспортных свойств из горячих композитов формовались таблетки с двумя припресованными серебряными электродами. Электропроводность измерялась по двухэлектродной схеме в вакууме ($5 \times 10^{-2} \text{ мм рт. ст.}$) в диапазоне температур $25\text{-}225 \text{ }^\circ\text{C}$. Все синтезированные в работе композиты $(1-x) \text{NaNO}_2 \cdot x\text{Al}_2\text{O}_3$, где x -мольная доля, $0 < x < 1$ были исследованы методом импедансной спектроскопии. Импеданс образца в ячейке определяется последовательным соединением трех элементов, обусловленных вкладом токоотводов, электродов и исследуемого материала электролита. Экспериментальные данные по проводимости, полученные с помощью прибора LCR Hewlett Packard HP 4284A, описываются аррениусовыми зависимостями $\sigma = A \exp(-E_a/kT)$. Для каждой температурной точки строились годографы импеданса в координатах Найквиста ($-Z'' = f(Z')$). Значения проводимости хорошо воспроизводятся в циклах «нагрев-охлаждение», стабильны при длительной выдержке в вакууме в изотермических условиях.

Показано, что проводимость композитов является ионной во всей исследованной области составов. Посредством гетерогенного допирования удастся увеличить значение проводимости до четырёх порядков по сравнению с исходной солью. Максимальным значением проводимости характеризуется состав $0,7\text{NaNO}_2 \cdot 0,3\text{Al}_2\text{O}_3$ ($T = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ $\delta = 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ См/см}$).

Литература:

1. Уваров Н. Ф. Композиционные твердые электролиты. Новосибирск.: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2008. 254 с.
2. *Mateyshina Yu., Uvarov N.* Ionic conductivity of alkali nitrites // *Solid State Ionics.*- 2. 2017.-N. 302.-P. 77-82.
3. Лайнс М., Глас А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы / Пер. с англ. / Под ред. В.В. Леманова, Г.А. Смоленского. М.: Мир, 1981. 736 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАВАЮЩИХ КОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТИ ВОД ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Д.А. Романов, В.Н. Панченко

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, intregal38@mail.ru

Научный руководитель: Панченко В.Н., к.х.н.

*На поверхности фотокатализатора TiO_2 последовательным нанесением магнийалюминиевого комплекса и $TiCl_4$ был синтезирован титан-магниевый катализатор (ТМК). С использованием полученных ТМК были приготовлены полимерные композиты методом полимеризации этилена *in situ*. Изучено влияние содержания полиэтилена в композите на физико-химические характеристики.*

*A titanium-magnesium catalyst (TMC) were synthesized on the surface of the TiO_2 photocatalyst by successively processing a magnesium-aluminum complex and $TiCl_4$. Polymer composites were prepared using the obtained TMCs by *in situ* polymerization of ethylene. The influence of the polyethylene content in the composite on the physico-chemical characteristics has been studied.*

Случаи разлива топлива на поверхности воды уже многие десятилетия носят повсеместный, мировой характер. После сбора основной массы водно-топливной смеси боновыми рукавами, поверхность воды остаётся загрязнённой топливной плёнкой. Токсичная плёнка ограничивает доступ кислорода к воде, действует губительно даже на донных обитателей.

Очистка воды фотокаталитическими методами является перспективным направлением, прежде всего, благодаря использованию в качестве катализатора нанопорошка TiO_2 . Оксид титана – экологически безопасен, нетоксичен, имеет невысокую стоимость. В процессе разложения органических загрязнений на TiO_2 выделяются

экологически безопасные вещества CO_2 , H_2O и минеральные соли. Однако основной проблемой, связанной с использованием диоксида титана для очистки водной среды, является его способность образовывать суспензию (рисунок 1А) и со временем оседать на дно. Всё это приводит к снижению эффективности катализатора. В связи с этим возникает необходимость удержания фотокатализатора TiO_2 на поверхности воды. Одним из эффективных способов является внедрение частиц TiO_2 в полимерную матрицу [1].

Существуют исследования, в которых в качестве полимерной матрицы использовались полипропилен, полистирол, полианилин, поливинилхлорид и некоторые другие полимеры [1,2]. Однако основная часть полимерных композитов (ПК) была синтезирована методом смешения TiO_2 с раствором или расплавом полимера. В работе [3] полимерный композит полипиррол/ TiO_2 был получен полимеризацией *in situ*. Полимеризацию проводили в растворе 1.5 М HCl в присутствии катализатора FeCl_3 при 0°C в течение 10 часов. Высокая концентрация HCl может приводить к разрушению TiO_2 , а так же данный метод приводит к неоднородному распределению наполнителя в полимерной матрице.

В целях избежания данных процессов нами было предложено синтезировать катализатор на поверхности частиц фотокатализатора TiO_2 . И проводить полимеризацию методом *in situ*.

Титан-магнийевый катализатор полимеризации этилена (ТМК) получали последовательным нанесением магний-алюминиевого комплекса (МАК) $\text{MgBu}_2 \cdot 0.125\text{AlEt}_3$ и TiCl_4 на предварительно дегидроксилированный при 450°C фотокатализатор TiO_2 Aeroxide P25. С использованием ТМК были получены ПК полимеризацией *in situ*, с содержанием полиэтилена 56.9 и 85.4 вес.%.

Полученные ПК проверили на плавучесть в водной среде. Было показано, что в течение 34 дней не происходило их оседание (Рисунок 1Б и 1С).

ПК состоят из аморфных частиц, образованных из более мелких слипшихся между собой полимерных частиц (рисунок 2).

Активность фотокаталитического процесса разложения органических загрязнений с использованием ПК зависит от содержания полимера и доступности фотокатализатора для органических соединений [1]. Основной характеристикой активности является ширина запрещённой зоны полупроводникового катализатора (E_g).

Для полученных ПК была измерена ширина запрещённой зоны (таблица 1). Было показано, что E_g композита, содержащего 56.9 вес.%

ПЭ, близка к E_g исходного фотокатализатора TiO_2 . При большем содержании ПЭ (85.4 вес.%) величина E_g возрастает.

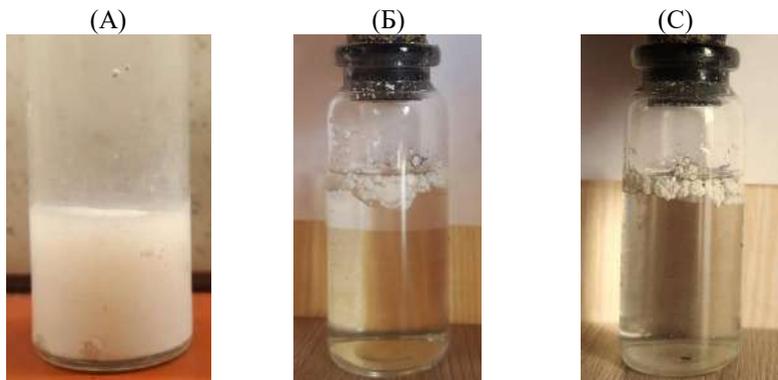


Рис.1 – Фотографии (А) водной суспензии TiO_2 ; (Б) Композитного фотокатализатора (с содержанием ПЭ 56.9%) сразу после добавления композита в воду и (С) через 34 дня



Рис. 2 – Микрофотографии ПК, содержащих (А) 56.9 и (Б) 85.4 вес.% ПЭ

Таблица 1 – Ширина запрещённой зоны в исходных образцах TiO_2 и полимерных композитах ПЭ/ TiO_2

№	ПЭ в ПК, вес. %	E_g , эВ
1	0	3.00
2	56.9	3.00
3	85.4	3.07

Эти данные показывают, что оптимальными катализаторами могут быть ПК с содержанием ПЭ не более 60 вес. %.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИК СО РАН (проект № АААА-А21-121011490008-3).

Литература

1. 1 Nasir A.M., Jaafar J., Aziz F., Yusof N., Salleh W.N.W., F.A. Ismail, Aziz M. A review on floating nanocomposite photocatalyst: Fabrication and applications for wastewater treatment // Journal of Water Process Engineering.– 2020.– Vol. 36.– P. 101300.
2. Srikanth B. Recent advancements in supporting materials for immobilised photocatalytic applications in waste water treatment // Journal of Environmental Management. – 2017. – Vol. 200. – P. 60-78.
3. Wang D., Wang Y., Li X., Luo Q., An J., Yue J. Sunlight photocatalytic activity of polypyrrole–TiO₂ nanocomposites prepared by ‘in situ’ method // Catalysis Communications.– 2008.– Vol. 9.– P. 1162–1166.

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ МЕДНОЙ МАТРИЦЫ ВОЛЬФРАМОМ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ КОМПОЗИТОВ «МЕДЬ-АЛМАЗ»

Д.В. Савинцева¹, А.В. Ухина², Н.Ф. Уваров^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

г. Новосибирск, savintsevadashaa@gmail.com

Научные руководители: Ухина А.В.², к.х.т., научный сотрудник

В работе методами горячего прессования и электроискрового спекания были получены медь-алмазные композиты. Медная матрица была модифицирована вольфрамом с целью улучшения смачиваемости алмазных частиц и, как следствие, улучшения теплопроводности композитов.

In present work, Hot Pressing and Spark Plasma Sintering were used to obtain copper-diamond composites. The copper matrix was modified with tungsten in order to improve the wettability of diamond particles and, as a consequence, improve the thermal conductivity of the composites.

В последнее время много исследований посвящены получению композиционных материалов с улучшенными функциональными свойствами. В связи с развитием промышленности и увеличением мощности приборов необходим поиск новых материалов с высокой

теплопроводностью, т. к. плотность рассеиваемой мощности может быть очень большой при малой площади теплового контакта. В результате этого традиционные материалы, такие как медь и алюминий, являются уже недостаточно эффективными для отвода тепла. Преимущество материалов с высокой теплопроводностью заключается в том, что с их помощью можно увеличить мощность приборов, не изменяя при этом их размер, или, наоборот, уменьшить размер, не изменяя при этом мощности прибора.

Одним из перспективных кандидатов для создания материалов с высокой теплопроводностью является алмаз, благодаря своим уникальным свойствам – высокой твердости, теплопроводности и химической инертности. В связи с развитием технологии получения синтетических алмазов и снижением их стоимости (при сохранении почти таких же свойств, как у природных алмазов) много исследований посвящено получению различных функциональных материалов на их основе. Однако порошки синтетических алмазов не поддаются прессованию, в связи с чем необходимо использование металл-связки для получения объемных компактных материалов [1].

В данной работе в качестве металла-связки была выбрана медь (марка ПМС-1, средний размер частиц 40 мкм, дендритная форма частиц) в связи с ее высокой теплопроводностью среди других металлов, синтетические алмазы (марка MBD8, средний размер частиц 100 мкм, габитус – кубоктаэдр) и вольфрам (средний размер частиц 1-2 мкм) для модификации медной матрицы. Для получения медно-алмазных композитов использовалась установка горячего прессования (Hot pressing, HP, Россия) и установка электроискрового спекания (Spark Plasma Sintering, SPS) LABOX-1575 (Sinter Land Inc., Япония). Спекание проводили в атмосфере аргона (для HP) и в вакууме (для SPS). Процесс происходил при температуре 920 °С, давление составляло 40 МПа, время выдержки при максимальной температуре – 15 мин (для HP) и 3 и 10 мин (для SPS).

При создании медь-алмазных композитов возникает проблема плохой смачиваемости алмазных частиц медью. На границе фаз образуются поры, снижающие относительную плотность материала, и, как следствие, его теплопроводность рисунок 1.

Для медно-алмазных композитов без добавок измеренная теплопроводность составляла 150 Вт/м·К, что в 2,6 раз меньше теплопроводности меди. Для увеличения смачиваемости алмазных зерен был выбран способ модификации медной матрицы карбидообразующим металлом - вольфрамом. Концентрация вольфрама в образцах варьировалась в диапазоне от 0,15 об. % W до 1 об.% W и

составляла 0,15 об.%, 0,35 об.%, 0,7 об.% и 1об.%. Наибольшей теплопроводностью обладают образцы с 0,35 и 0,7 об. % вольфрама. Теплопроводность композитов сначала возрастает, достигая максимума 225 Вт/м·К при 0,35 об.% W, а затем снижается. Такой эффект может быть объяснен тем, что сначала добавление вольфрама в матрицу способствует увеличению смачиваемости алмазов модифицированной медной матрицей, однако дальнейшее увеличение содержания вольфрама в медной матрице приводит к снижению ее теплопроводности, т. к. теплопроводность вольфрама значительно ниже теплопроводности меди. Предполагается, что пустоты на границе фаз уменьшаются за счёт модификации медной матрицы карбидообразующим элементом, что способствует увеличению теплопроводности композита рисунок 2.

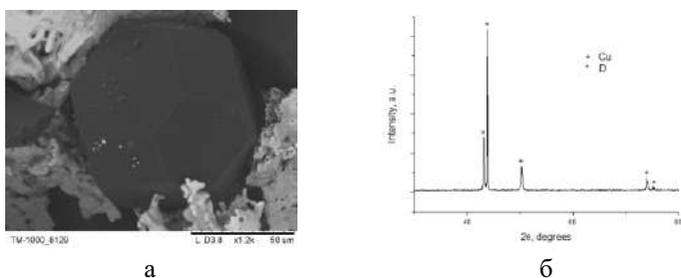


Рис. 1 – Микроструктура композита «медь-алмаз» (а) и его рентгенограмма (б)

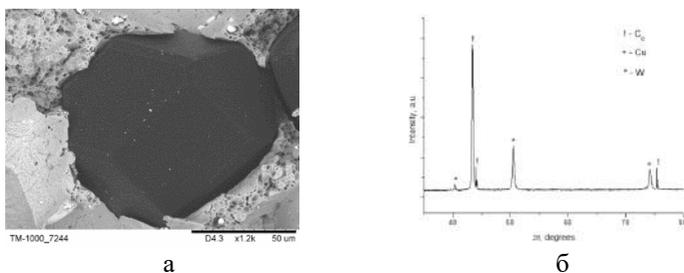


Рис. 2 – Микроструктура композита «медь-алмаз» с модифицированной вольфрамом медной матрицей (а) и его рентгенограмма (б)

Литература:

1. Ухина А.В. Структурно-морфологические особенности формирования металл-алмазных композиций: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.21. – Новосибирск, 2019. – 117 с.

СИНТЕЗ ФЕНОЛЯТА МАГНИЯ И ИЗУЧЕНИЕ ЕГО СВОЙСТВ

Ю.В. Свистельникова¹, Ю.Е. Синельникова^{1,2},

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

г. Новосибирск, svistelnickova.julia@yandex.ru

Научный руководитель: Уваров Н.Ф.^{1,2}, д.х.н., проф.

В работе представлены результаты получения твердого темплата на основе фенолята магния для синтеза мезопористых углеродных материалов темплатным методом в различных средах с последующим пиролизом. Характеристики полученного фенолята магния были исследованы методами РФА, ИК-спектроскопии и СЭМ.

This work presents the results of obtaining a solid template based on magnesium phenolate for the synthesis of mesoporous carbon materials by the template method in various media with subsequent pyrolysis. The characteristics of the synthesized magnesium phenolate were investigated by XRD, IR spectroscopy, and SEM.

Суперконденсаторы (СК) представляют собой уникальный тип устройств высокой мощности. Огромное внимание к СК обусловлено способностью этих устройств накапливать чрезвычайно большое количество электрической энергии за малый промежуток времени [1]. Такая способность обеспечивается электродным материалом, который должен обладать следующими характеристиками: большой площадью удельной поверхности (для накопления зарядов), хорошей электропроводностью (которая обеспечивала бы высокие удельные мощностные характеристики СК), порами, доступными для электролита (обеспечивающие смачивание всей поверхности материала). Таким характеристикам удовлетворяют мезопористые углеродные материалы, которые обладают большой удельной поверхностью, возможностью регулирования размера пор, термостойкостью, химической инертностью и высокой электропроводностью [2].

Мезопористые углеродные материалы получают несколькими способами. Самым простым методом создания пористых углеродных материалов является активация, т.е. частичное окисление различных форм углерода. В результате получают активированный углерод с высокой удельной поверхностью. Выход углерода, полученного подобным способом, достаточно низкий.

Альтернативным методом получения мезопористых материалов, является метод темплатного синтеза пиролизом полимерных прекурсоров, полученных из мицеллярных растворов в присутствии ПАВ [3]. Метод позволяет получать мезопористые материалы с

упорядоченными порами одинакового размера. Однако, данный метод очень сложный и трудно воспроизводимый, а стоимость получаемого материала высока.

В литературе также описан метод темплатного синтеза мезопористых углеродных материалов с использованием твердых темплатных агентов. Он основан на использовании твердофазного темплата как структурообразующего агента, вокруг которого формируется углеродный каркас. После удаления темплата образуются поры, размер которых определяется размером исходного темплата [2,4,5].

В настоящей работе проведен синтез металлоорганического соединения - фенолята магния, который в последующем можно было бы использовать одновременно как источник углерода, и как твердый темплатный агент. Методика синтеза фенолята магния заключалась в получении на первой стадии фенолята натрия при взаимодействии фенола с гидроксидом натрия. На второй стадии раствор полученного вещества смешивали со спиртовым раствором хлорида магния. Поскольку растворимость хлорида натрия в этиловом спирте очень мала, то его отделяли в виде осадка. Из оставшегося раствора удаляли растворитель с помощью вакуумного масляного насоса. Конечный продукт представлял собой порошок светло-розового цвета.

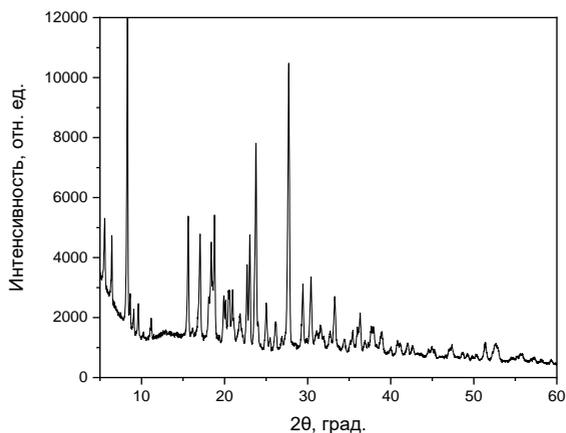


Рис. 1 - Рентгеновская диффрактограмма полученного фенолята магния

Полученный продукт был исследован методами рентгенофазового анализа (Рисунок 1), сканирующей электронной микроскопии и ИК-спектроскопии (Рисунок 2). Получены предварительные данные по величине удельной поверхности углеродных материалов, полученных

пиролизом фенолята магния и формальдегида в присутствии щелочного катализатора.

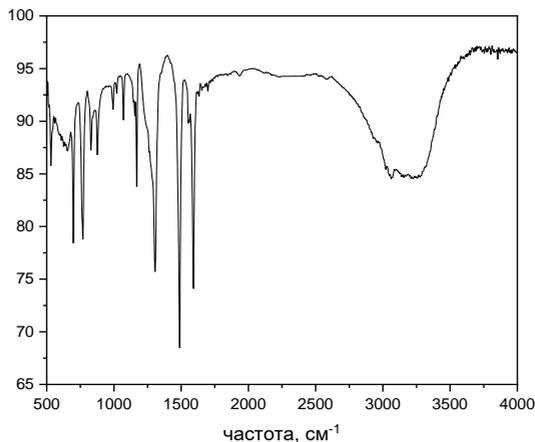


Рис. 2 - ИК-спектр полученного фенолята магния

Работа выполнена в рамках Тематического плана НИР НГТУ по проекту ТП-ХХТ-1_21.

Литература:

1. Wen Lu, Rachel Hartman. Nanocomposite Electrodes for High-Performance Supercapacitors // J.Phys.Chem.Lett. – 2011. – Vol.2. – P. 655-660.
2. Inagaki M., Toyoda M., Soneda Y., Tsujimura S., Morishita T. Templated mesoporous carbons: Synthesis and applications. // Carbon. – 2016. – P. 448 – 473.
4. Yan Meng, Dong Gu, Fuqiang Zhang, Yifeng Shi, Liang Cheng, Dan Feng, Zhangxiong Wu, Zhenxia Chen, Ying Wan, Andreas Stein, and Dongyuan Zhao. A Family of Highly Ordered Mesoporous Polymer Resin and Carbon Structures from Organic-Organic Self-Assembly // Chem. Mater. – 2006. – Vol. 18, N 18. – P. 4447- 4464.
5. Inagaki M., Kobayashi S., Kojin F., Tanaka N., Morishita T., Tryba B. Pore Structure of Carbons Coated on Ceramic Particles. // Carbon. – 2004. – Vol.42. – P. 3153 – 3160.
6. Morishita T., Soneda Y., Tsumura T., Inagaki M. Preparation of Porous Carbons from Thermoplastic Precursors and Their Performance for Electric Double Layer Capacitors. // Carbon. – 2006. – Vol.44. – P. 2360 – 2367.

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЕМПЛАТНОГО АГЕНТА В ПРЕКУРСОРЕ НА УДЕЛЬНУЮ ЁМКОСТЬ ПОЛУЧЕННОГО УГЛЕРОДНОГО ЭЛЕКТРОДНОГО МАТЕРИАЛА

Ю.Е. Синельникова^{1,2}, Н.Ф. Уваров^{1,2},

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

г. Новосибирск, yulya.sinelnikova.96@bk.ru

Научный руководитель: Уваров Н.Ф.^{1,2}, д.х.н., проф.

Суперконденсаторы являются перспективными устройствами для хранения энергии. Характеристики таких устройств определяются свойствами используемых электродных материалов. В данной работе в качестве такого материала был использован углерод, полученный темплатным методом. Целью работы являлось исследовать зависимость удельной емкости углеродного материала от величины его удельной поверхности при различном содержании темплатного агента.

Supercapacitors are promising devices for energy storage. Performance of such devices are defined by properties of the electrode material used. In this work, carbon obtained by the template method was used as such a material. The aim of the work was to study the dependence of the specific capacity of carbon materials on its specific surface at different content of the template agent.

Быстрые темпы развития современной экономики вызывают серьёзные экологические проблемы, для решения которых необходимо создание эффективных технологий преобразования и хранения энергии. Среди новых уникальных устройств хранения энергии особый интерес представляют суперконденсаторы, которые характеризуются сверхвысокой скоростью заряда-разряда, высокой мощностью, простотой обслуживания и длительным сроком службы [1]. Наиболее важную роль в суперконденсаторах играют электродные материалы. Среди различных электродных материалов широко используются углеродсодержащие материалы, на основе которых изготавливается более 80 % коммерчески доступных суперконденсаторов [2].

Углеродные материалы, используемые в суперконденсаторах с двойным электрическим слоем (ДЭС), должны обладать высокой удельной поверхностью, хорошей электронной проводимостью, химической стабильностью, простотой обработки, низкой стоимостью и широким диапазоном рабочих температур [3]. В качестве таких электродных материалов в настоящее время используются различные типы углеродных материалов: активированный уголь [4], углеродные аэрогели [5], углеродные нанотрубки (УНТ), углеродные нановолокна [6] и др. Наиболее перспективным направлением в этой области

является получение углеродных материалов с высокой удельной поверхностью, поскольку именно от этой характеристики зависит удельная емкость электрода.

Данная работа посвящена определению величины удельной емкости углеродных материалов, полученных темплатным методом. Пористые углеродные материалы были получены путем пиролиза фенолформальдегидной смолы в присутствии цитрата магния, который играл роль соединения - предшественника для синтеза твердого темплатного агента непосредственно в матрице полимера. Пиролиз проводили в среде аргона при 900 °С. Соотношение цитрата магния к фенолу в исходной смеси варьировалось от 0 до 100 масс. %. Величина удельной емкости была определена методом вольтамперометрии в симметричной двухэлектродной ячейке. В качестве электролитов были использованы растворы 6М КОН и 1М H₂SO₄. Экспериментальные данные будут детально рассмотрены в докладе.

Работа выполнена в рамках Тематического плана НИР НГТУ по проекту ТП-ХХТ-1_21.

Литература:

1. Zhang, L. L., Zhao, X. S. Carbon-based materials as supercapacitor electrodes // Chemical Society Reviews. – 2009. – Vol. 38, N 9. – P. 2520.
2. Zhai, Y., Dou, Y., Zhao, D., Fulvio, P. F., Mayes, R. T., Dai, S. Carbon Materials for Chemical Capacitive Energy Storage // Advanced Materials. – 2011. – Vol. 23, N 42. – P. 4828 – 4850.
3. Zhang, Y., Feng, H., Wu, X., Wang, L., Zhang, A., Xia, T., et al. Progress of electrochemical capacitor electrode materials: a review // J. Hydrogen Energ. – 2009. – Vol. 34. –P. 4889 – 4899.
4. Pognon, G., Cougnon, C., Mayilukila, D., and Bélanger, D.. Catechol modified activated carbon prepared by the diazonium chemistry for application as active electrode material in electrochemical capacitor // ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2012. Vol. 4. – P. 3788 – 3796.
5. Wei, Y. Z., Fang, B., Iwasa, S., and Kumagai, M. A novel electrode material for electric double-layer capacitors // J. Power Sources. – 2005. – Vol. 141. – P. 386 – 391.
6. Zhang, H., Cao, G., and Yang, Y. Carbon nanotube arrays and their composites for electrochemical capacitors and lithium-ion batteries // Energ. Environ. Sci.. – 2009. – Vol. 2. – P. 932 – 943.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО СПОСОБАМ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ ВИСМУТА

К.Д. Сушкова¹, Л.И. Афонина^{1,2},

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

г. Новосибирск, octahedralshape@gmail.com

Научный руководитель: Афонина Л.И.^{1,2} к. х. н., доцент

Проведен анализ литературы по способам синтеза наночастиц металлического висмута с целью определения наиболее рационального метода получения, обеспечивающего высокую чистоту и однородность конечного продукта, а также контроль их химического и фазового составов.

A literature review on synthesis methods of obtaining bismuth metal nanoparticles has been carried out to determine the most rational method of production, providing high purity and homogeneity of the final product as well as control of its chemical and phase composition.

Висмут - элемент с необычными свойствами, которые объясняются его анизотропной Ферми-поверхностью, а также низкой плотностью, малой эффективной массой и большой длиной свободного пробега носителей заряда. Благодаря этому Вi и его соединения используются в различных областях, таких как металлургия, ядерная энергетика, при изготовлении магнитных материалов и литий-ионных батарей, а также в косметической промышленности и медицине.

В последнее время широко изучаются наноструктуры висмута, поскольку они играют важную роль во многих сферах современной науки и технологии [1]. Усиление интереса к синтезу металлических нано- и микроматериалов вызвано тем, что уменьшение размера кристаллитов - традиционный способ улучшения таких свойств материала, как каталитическая активность, активность в твердофазных реакциях, процессах спекания. Вторая причина – проявление веществом в нанокристаллическом состоянии особых свойств (магнитных, оптических и др.), не характерных для объемных материалов и обусловленных проявлением квантовых эффектов. Поэтому получение и исследование нанокристаллических материалов является важным этапом в создании техники нового поколения.

Так, тонкие пленки монокристаллического висмута демонстрируют большое магнитосопротивление и эффекты конечных размеров. Было установлено, что теплопроводность монокристаллических нанопроволок висмута в 3–6 раз меньше, чем у массивных материалов. Экспериментально обнаруженное большое положительное

магнетосопротивление нановисмута может быть использовано для создания магнитных сенсоров и новых электронных приборов [2].

Благодаря широкой сфере применения металлических наночастиц висмута, хорошо развиваются препаративные методы их синтеза. В зависимости от выбора метода синтеза, а также его условий можно получать наноструктуры с различными морфологиями и размерами [3]. К настоящему времени синтезированы самые разнообразные наноструктуры висмута: наночастицы, нанопроволоки, наностержни, нанотрубки, треугольные нанопластинки и другие. Наибольшее значение для технологии имеют монодисперсные металлические наносферы, обладающие уникальными оптическими, каталитическими, химическими и биологическими свойствами.

В литературе описывается [4] образование четко разделенных наносфер висмута в процессе взаимодействия цитрата висмута и мочевины в диэтиленгликоле при микроволновом облучении. Анализ опытных данных показал, что количество мочевины влияет на размер синтезируемых наночастиц. Установлено, что в отсутствие мочевины образуются микросферы висмута с неправильной морфологией. Наносферы с оптимальным размером (400-700 нм) и формой получены при молярном соотношении (n) мочевины к цитрату висмута – 6:1. При увеличении n образуются более мелкие частицы, однако они покрыты прозрачными пленками из-за избыточного количества мочевины. Время реакции также оказывает влияние на механизм роста наносфер висмута. Установлено, что оптимальное время синтеза с максимальным выходом продукта составляет 20 минут. Увеличение времени приводит к росту размера частиц, что негативно сказывается на качестве конечного продукта. Преимущества микроволнового синтеза: быстрота, экономичность, бесконтактный нагрев, быстрая передача энергии. Среди слабых сторон данного метода можно отметить дорогостоящее оборудование и сложное масштабирование процесса.

Гидротермальный метод синтеза позволяет, варьируя условия, не только получать различные наноструктуры, но предотвращать агрегацию частиц, добиваться высокой кристалличности и гомогенности продукта и уменьшать температуру синтеза до 100-200 °С. Анализ литературных данных показал [5], что пентагидрат нитрата висмута восстанавливается в гидротермальных условиях до $V_{мет}$ смесью гидразингидрата и олеата натрия при температуре 80 °С. В первые 2 часа после начала синтеза в системе образуются частицы с различной морфологией (треугольная призматическая, кубическая, кубовидная и сферическая). Присутствие СТАВ (бромид цетилтриметиламмония) способствует формированию наносфер висмута, при чем при высокой концентрации СТАВ синтезируются

наносферы меньшего диаметра. В отсутствие СТАВ при увеличении времени синтеза формируются длинные наностержни висмута одинакового диаметра (в среднем 30 нм) и от 100 до 1000 нм в длину. По данным РФА все образцы, приготовленные гидротермальным методом, обладают высокой фазовой чистотой. Однако полученные наночастицы часто имеют широкое распределение по размерам.

Метод химического восстановления металлов из различных сред, в том числе и висмута, не теряет своей актуальности. Наиболее легко металлические наночастицы могут быть получены с использованием традиционных неорганических восстановителей. Так, Боровикова и соавторы [6] получали висмутовые наночастицы путем восстановления водного раствора пентагидрата нитрата висмута в присутствии боргидрида натрия. Использование различных стабилизаторов способствовало формированию наночастиц висмута различной морфологии. J. Zhao *et al.* [7] получали наносферы висмута, восстановлением прекурсора BiOCl гидразин гидратом в водной среде в присутствии СТАВ. Образцы, полученные без введения СТАВ, обладали неправильной морфологией. Группа Меркоци [8] получала наночастицы висмута двумя различными путями, используя этиленгликоль. Первый путь – «полиольный», включающий нагревание нитрата висмута, КОН и PVP (поливинилпироллидон) при 185°C . Во втором подходе реакция проводилась при 60°C с теми же реагентами за исключением КОН, а в качестве восстановителя использовался гипофосфит натрия. Показано, что выбор восстановительных условий влиял на размер и форму полученных частиц. В первом случае образуются крупные сферические ($>200\text{нм}$) частицы. Второй метод приводит к получению частиц треугольной формы размером 70 нм.

Метод химического восстановления висмута в различных средах обладает рядом преимуществ: не требует специального высокотехнологичного оборудования, сравнительно прост в проведении, легко поддается масштабированию и экономически выгоден. Варьируя параметры синтеза (температуру, концентрации используемых реагентов, pH среды), можно добиться высокого контроля над процессом образования, и тем самым получить частицы необходимой формы и размера.

Для получения чистого нановисмута остается актуальным вопрос дополнительной стабилизации частиц, которые, образуясь в растворах, обладают высокой агрегативной и седиментационной неустойчивостью. Кроме того, получающиеся наночастицы проявляют высокую химическую активность, которая приводит к их окислению кислородом как растворенном в воде, так и содержащимся в воздухе. Все это требует введения специальных добавок, тормозящих эти процессы.

Таким образом, анализ литературы показал, что разработка эффективных методов получения наночастиц висмута является важной задачей при создании материалов на их основе, поскольку правильно подобранные условия синтеза оказывают влияние на формирование фаз и их структурные особенности, что в конечном итоге сказывается на технологическом процессе получения и свойствах конечного продукта.

В данной работе в качестве эксперимента было показано, что при добавлении формиата висмута (BiO)HCOO в кипящий этиленгликоль ($T_{\text{кип}} = 197 \text{ }^\circ\text{C}$) происходит его восстановление до металла, что подтверждается наличием на рентгенограмме основных рефлексов $\text{Bi}_{\text{мет}}$ (ICDD 46-1246). Однако полное восстановление достигается при времени обработки не менее 7 часов.

Работа выполнена в рамках Тематического плана НИР НГТУ по проекту ТП-ХХТ-1_21.

Литература:

1. *Y. Tian, J. Toudert Nanobismuth: Fabrication, Optical, and Plasmonic Properties - Emerging Applications// Journal of Nanotechnology. - V. 2018, Article ID 3250932, 23 pages.*
2. *Very large magnetoresistance in electrodeposited single-crystal Bi thin films(invited)/ C.L. Chien, F.Y. Yang, K. Liu, D.H. Reich, P.C. Searson// Journal of Applied Physics. - 2000. - V. 87, No 9. - P. 4659-4664.*
3. *Size-and shape-controlled synthesis of bismuth nanoparticles/ F. Wang, R. Tang, H. Yu, P.C. Gibbons, W.E. Buhro //Chemistry of materials. - 2018. – V. 20, No 11. – P 3656-3662.*
4. *Microwave synthesis of bismuth nanospheres using bismuth citrate as a precursor/ J. Wu, H. Yang, H. Li, Z. Lu, X. Yu, R. Chen// Journal of Alloys and Compounds. – 2010. – V. 498. – P. L8–L11.*
5. *Facile method for bismuth nanorod synthesis// K. Petsoma, A.Kopwitthayab , M. Horphathumc , J. Kaewkhao,d, N. Sangwanateee , H. Kim//Materialstoday. -2017. –V.5. –P. 14960–14964.*
6. *Синтез и стабилизация наночастиц висмута в водных растворах /Л.Н. Боровикова, И.В. Полякова, Е.М. Коротких, В.К. Лаврентьев, А.И. Киппер, О.А. Писарев// Журнал физической химии. – 2018. Т. 92, № 11. – С. 1760-1764.*
7. *An easy synthesis of 1D bismuth nanostructures in acidic solution and their photocatalytic degradation of rhodamine B/ D. Ma, J. Zhao, Y. Zhao, X. L. Hao, Y. Lu// Chemical Engineering Journal. - 2012. V. 209. – P. 273-279.*
8. *M. Cadevall, J. Ros, A. Merkoci Bismuth nanoparticles integration into heavy metal electrochemical stripping sensor //Electrophoresis. – 2015. – V. 36. – P. 1872–1879.*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРОЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ПРИ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИИ МЕТАЛЛОВ

Н.А. Тарасова, Е.М. Турло

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru

В работе описана методика электроосаждения металлов. Раскрыты этапы технологического процесса цинкования изделий, определена кроющая способность электролитов разного состава. Подобран режим осаждения.

The paper describes the technique of electrodeposition of metals. The stages of the technological process of galvanizing products are disclosed, the covering ability of electrolytes of different composition is determined. The deposition mode has been selected.

Цинк широко применяется в народном хозяйстве. Наиболее важной областью его использования является защита железа и стали от коррозии (оцинкованное железо и т.д.) на что расходуется до 40% мирового производства цинка. Широкое применение находит листовый цинк, а также цинковая пыль, используемая в качестве восстановителя. Ею осаждают из растворов медь, кадмий, редкие элементы, из цианистых растворов – золото, используют для получения гидросульфита натрия, в многочисленных синтезах органических соединений. Цинк находит широкое применение в промышленности в виде сплавов с медью. В последние годы наибольшее признание получили сплавы с небольшим содержанием меди, в которых основными компонентами являются цинк и алюминий.[2]

Электроосаждение представляет собой образование металлического покрытия на поверхности основного материала, происходящее в результате электрохимического восстановления ионов металла из раствора электролита.[3]

В процессе электроосаждения металлов на изделие осадок наносимого металла распределяется на его поверхности неравномерно по толщине, если изделие имеет глубокий рельеф, и иногда в глубоких отверстиях покрытие не осаждается совсем. Рассеивающая и кроющая способности взаимосвязаны и зависят от следующих факторов: поляризации катода, электропроводности электролита, режима электролиза, а также от геометрических факторов, определяющих рельеф поверхности. Свойство электролита давать при катодном выделении металла равномерный по толщине осадок зависит от рассеивающей способности этого электролита, а свойство покрывать имеющиеся на катоде углубления – от его кроющей способности. Эти

две характеристики имеют большое практическое значение при защите деталей от коррозии электролитическими покрытиями потому, что продолжительность службы изделия определяется наличием равномерного по толщине защитного покрытия на всех участках данного изделия. Кроющую способность электролита определяют следующим методом: методом углового катода, при помощи ячеек Холла и Пена.

Целью данной работы являлось определение кроющей способности электролитов цинкования разного состава и ознакомление с факторами, влияющими на кроющую способность, и способами определения кроющей способности электролитов.

Методика выполнения работы. Приготовление растворов электролитов цинкования состав которых приведён в таблице 1.

Таблица 1 – состав электролитов цинкования и режим электролиза

Состав и параметры электролита	Содержание, г/л	
	Электролит №1	Электролит №2
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	200	100
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	30	-
Декстрин (столярный клей)	2,0	-
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	60	-
NH_4Cl	-	200
CH_3COONa	-	25
Желатин	-	1,0
рН	3,5...4,5	5,8...6,2
Температура	комнатная	комнатная
$D_k, A/дм^2$	1,5	1,5

Кроющая способность электролита является производственной характеристикой и определяется при помощи плоского катода, изогнутого под прямым углом. Необходимо было измерить площадь катода (той его части, которая будет находиться в электролите) и по заданной плотности тока на катоде ($D_k = 1,5 A/дм^2$) рассчитать силу тока, необходимую для электроосаждения цинка ($I = D_k \cdot S_k$). Угловой катод зачищали наждачной бумагой и обезжирили венской известью, промыли проточной, сполоснули дистиллированной водой и поместили в электролит. Анодом служила цинковая пластинка, тщательно промытая с помощью щетки. Собирали схему для проведения электролиза. Схема представлена на рисунке 1

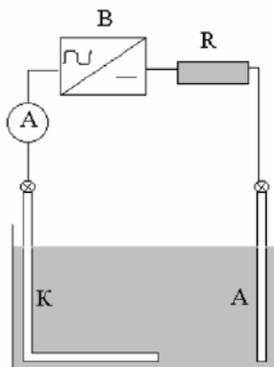


Рис. 1 – схема установки для определения кроющей способности электролитов

Далее подавали небольшое напряжение на ячейку и только потом залили электролит в электролизер, затем установили необходимое значение силы тока и поддерживали его постоянным в течение всего эксперимента, контролируя при помощи амперметра. Электроосаждение цинка проводилось в течение 40 мин, после чего выпрямитель В (рисунок 1) отключили и извлекли из электролизера электроды. На изогнутом катоде со стороны, обращенной к аноду при электролизе, определили площадь оцинкованной поверхности катода, а также площадь поверхности катода без покрытия. Отношение площади оцинкованной поверхности в см^2 (S_n) ко всей покрываемой цинком поверхности (S_K), выраженное в процентах, дает кроющую способность электролита (K_c):

$$K_c = \frac{S_n}{S_K} \cdot 100\%$$

Затем был проведён электролиз из электролита №2, предварительно удалив цинковое покрытие с углового катода, сначала в травильном растворе (основную массу цинка), затем зачисткой оставшегося цинка наждачной бумагой, промыли водопроводной водой, сполоснули дистиллированной и поместили угловой катод в электролизер, влили электролит №2 (такой же объем, в каком брали электролит №1) и подали необходимый ток. [1]

Экспериментально установлено, кроющая способность возрастает в присутствии ПАВ, при увеличении температуры и концентрации ионов цинка в растворе.

Литература:

1. *Полудова В.П.* Практикум по прикладной электрохимии. – Калининград: Калинингр. ун-т, 2000. – С. 7 – 10.
2. *Живописцев В.П., Селезнева Е.А.* Аналитическая химия цинка. – М.: Изд-во Наука, 1975. – 9 с.
3. *Гамбург Ю.Д.* Теория и практика электроосаждения металлов / Ю.Д. Гамбург, Дж. Зангари; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – С. 9.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРИРОВАНИЯ-ДЕГИДРИРОВАНИЯ СПЛАВОВ И ЛИГАТУР НА ОСНОВЕ РЗМ

А.А. Чуркин, Д.К. Грачева, А.Д. Бочанов
Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
г. Северск, e-mail: Lxxxxa2000@bk.ru
Научный руководитель: Е.К. Грачев

Получение магнитных сплавов и лигатур по технологии порошковой металлургии является самым перспективным с точки зрения простоты и экономической выгоды. Одним из технологических переделов является гидрирование-дегидрирование. Группой исследователей СТИ НИЯУ МИФИ была проведена программа исследований направленных на изучение процесса гидрирования лигатур и сплавов на основе РЗМ. В данной работе будут представлены теоретические основы процесса гидрирования и первые экспериментальные данные.

Obtaining magnetic alloys and ligatures using powder metallurgy technology is the most promising in terms of simplicity and economic benefits. One of the technological changes is hydrogenation-dehydrogenation. A group of researchers at the STI NRNU MEPhI conducted a research program aimed at studying the process of hydrogenation of ligatures and alloys based on REM. This paper will present the theoretical foundations of the hydrogenation process and the first experimental data.

Существует отработанная технология получения магнитных сплавов и лигатур порошковой металлургией, которая имеет широкое применение в промышленности.

Получение магнитных сплавов и лигатур по технологии порошковой металлургии является перспективным с точки зрения простоты технологии и экономической выгоды. Одним из технологических переделов является гидрирование-дегидрирование.

Основой процесса гидрирования является адсорбирование газообразного водорода уже при комнатной температуре и давлении 10-

10Па. При этом происходит перестройка электронной структуры и изменение расстояния между магнитоактивными ионами, что влечет изменение фундаментальных магнитных характеристик сплава. Это выражается в росте намагниченности на 7-10%, увеличении температуры Кюри и в существенном снижении константы магнитной анизотропии.

Процесс гидридного измельчения магнитных сплавов и лигатур осуществляется путем дробления сплава и обработки его водородом. При температуре 300-350С происходит гидрирование фазы богатой неодимом и ее разрушение. Впоследствии материал легко разрушается в порошок, так как зерна основной фазы Nd-Fe-B уже не связаны.

Процесс гидридного измельчения магнитных сплавов и лигатур осуществляется путем дробления слитка магнитного сплава на куски размером 10-20 мм и обработки их водородом.

Достоинства гидрирования: высокая производительность и простота процесса, получаемые порошки стабильного качества, легко измельчаются, продолжительность измельчения незначительная.

Недостатки гидрирования: опасность при работе с водородом.

Существует три способа водородной обработки:

1) HD – hydrogen decrepitation (или простое гидрирование). Взаимодействие водорода со сплавом начинается при 50С, наибольшая скорость наблюдается при 120-200С.

2) HDD – hydrogen decrepitation-desorption (или режим гидрирование-дегидрирование). Происходит высвобождение наводороженного сплава в основном от хемосорбированного водорода нагревом материалов в условиях вакуума.

3) HDDR – hydrogen decrepitation-desorption-recombination. Данный процесс

является наиболее современным и высокотехнологичным процессом, состоящем из четырех серий термообработки при подаче водорода и вакуумировании системы, одноименных буквам сокращений HDDR:

гидрогенизация - насыщение водородом фазы, богатой РЗЭ. При этом первоначально сплав нагревается и производится вакуумирование системы;

диспропорционирование – распад фазы сплава, при дальнейшей обработке водородом;

десорбция – дальнейшее разложение фазы при прекращении подачи водорода и вакуумировании системы. Данная стадия характеризуется полной десорбцией водорода.

рекомбинация – образование первичного сплава состава, происходящее при понижении температуры и вакуумировании.

Достоинства гидрирования в сравнении с механическими методами получения порошков: высокая производительность и простота процесса; получаемые порошки стабильного качества; легко измельчаются; незначительная продолжительность измельчения, также гидриды меньше подвержены окислению на воздухе, что положительно сказывается на их магнитных характеристиках. Недостатки гидрирования: опасность при работе с водородом.

Водород, для процесса гидрирования, может быть получен из разных источников: технический водород, закаченный в баллон под давлением или сплавы способные десорбировать водород при нагревании. Например, LaNi_5 .

Группой исследователей СТИ НИЯУ МИФИ была создана экспериментальная установка для проведения процессов гидрирования-дегидрирования.

По составленной программе экспериментов, в которой исследуются влияния различных факторов:

- давление;
- температура процесса;
- масса навески;
- время процесса;
- степень гидрирования α ;
- количество циклов гидрирования-дегидрирования.

Основным показателем качества гидрирования является коэффициент степени гидрирования:

$$\alpha_{Nd} = \frac{\Delta m_{H_2}}{m_{0H_2}},$$

где Δm_{H_2} – изменение массы водорода к моменту времени τ , мг; m_{0H_2} – общая масса прореагировавшего водорода, мг.

В целом методом изучения адсорбции газов на металлах был выбран весовой метод, основанный на определении адсорбированного газа по изменению массы адсорбента. После проведения первых экспериментов по гидрированию лигатуры Nd-Fe, условия которых представлены на графиках рисунков 1 и 2 видно, что наибольшая степень гидрирования достигается при 25-50°C, однако продолжительность индукционного периода при этих температурах максимальна.

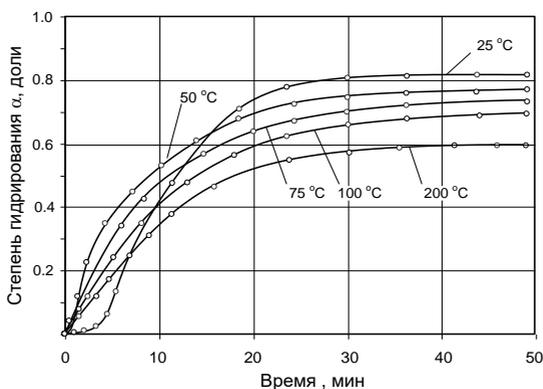


Рис.1-Влияние температуры на скорость гидрирования.

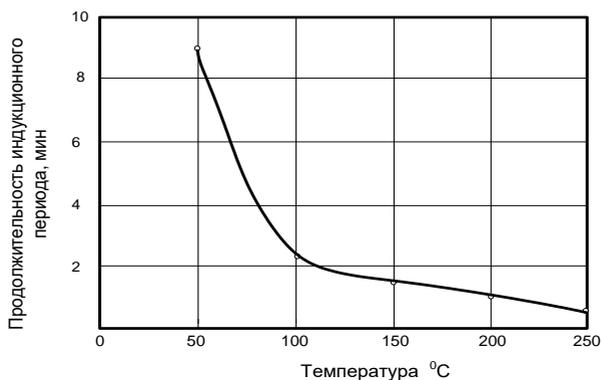


Рис.2-Влияние температуры на длительность индукционного периода при начальном давлении 0,2 МПа

Рассмотренная методика гидрирования позволяет получать порошки, размер частиц в которых примерно тот же, что и в методе HDDR, при этом практически отказываясь от нагрева, что значительно упрощает производственный процесс. Также в методе HDDR в промышленности используется технический водород, в методике рассмотренной выше, используется водород высокой степени чистоты, полученный десорбцией при нагреве из сплава LaNi_5 , что положительно сказывается степени гидрирования, ввиду отсутствия примесей.

Авторами доклада будут подробно рассмотрены процессы и приведены экспериментальные данные гидрирования сплавов и лигатур на основе РЗМ, а так же влияние различных условий на степень их гидрирования.

Литература:

1. Фторидная технология получения магнитных материалов на основе редкоземельных элементов для ядерной энергетики. Ч. I. Внепечная фторидная технология редкоземельных сплавов / А.С. Буйновский [и др.]. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2012.– 435 с – С. 289.

МОДИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДНОГО ЭЛЕКТРОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВАНАДИЕВЫХ РЕДОКС-БАТАРЕЙ

С.Е. Шабалина¹, А.А. Фахрутдинова¹, Ю.Ю. Алюнина¹

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск, mirgyvanhous@gmail.com

Научный руководитель: Уваров Н.Ф.^{1,2}, д.х.н., профессор

В работе исследовано влияние различных добавок на электрохимические характеристики электродного материала на основе углеродного войлока для проточных ванадиевых редокс-батарей. Показано, что наибольшую электрокаталитическую активность проявляют добавки диоксида марганца.

The effect of various additives on electrochemical parameters of carbon felt electrode materials for vanadium redox-batteries was investigated. It was shown that additives based on manganese dioxide have the highest electro-catalytic activity.

Ванадиевые редокс-батареи (ВРБ) считаются одними из наиболее перспективных устройств для крупномасштабных энергетических технологий хранения электрической энергии с точки зрения гибкости конструкции, длительного срока службы, высокой эффективности и безопасности. Однако, широкое применение ВРБ в таких областях применения, таких как фотоэлектроника, автомобилестроение и т. д., до сих пор ограничено низкой мощностью и высокой стоимостью ВРБ.

Повышение удельной энергоемкости ВРБ - эффективное решение для снижения её стоимости за счет меньшего расхода материала. Электрод, как один из основных компонентов ВРБ, обеспечивает протекание окислительно-восстановительных реакций и оказывает важное влияние на потери напряжения, связанные с электрохимической

поляризацией, омической поляризацией и концентрационной поляризацией. В связи с этим, основными требованиями к электродному материалу являются: большая площадь электрохимически активной поверхности электрода, высокая электрохимическая активность электрода.

Для увеличения эффективной площади электрода используют объемно-пористые электроды, например углеродный войлок. Однако, углерод не может обеспечить высокие значения тока, поэтому электрохимические свойства электрода можно улучшить путем нанесения на электрод катализаторов. Использование катализатора позволяет увеличить ток обмена и таким образом снизить сопротивление переноса заряда, в результате чего ВРБ может работать при более высоких плотностях тока и обеспечить повышенную удельную энергоемкость [1].

В настоящей работе были подобраны электродные материалы для ВРБ на основе углеродного войлока и проведена их модификация катализаторами с целью увеличения рабочего тока.

В качестве углеродного материала был выбран углеродный войлок производства компании «M-Carbo» толщиной 5 мм. В качестве модифицирующих добавок были выбраны катализаторы двух типов: комплексная соль $(\text{Fe}^{\text{III}})_4[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]_3$, характеристики которой описаны в работе [2] и диоксид марганца MnO_2 . В качестве электролита использовались раствор сульфата ванадила VOSO_4 концентрации 0.01M и 0.1 M, в которые в ряде случаев добавляли изомолярное количество серной кислоты. Гексацианоферрат (II) железа (III) (берлинская лазурь), был получен из водных растворов гексацианоферрата (III) калия и сульфата железа (II) при температуре 80 °C по реакции:



Углеродный войлок пропитывали суспензией свежеполученных частиц берлинской лазури. Для модификации электродного материала диоксидом марганца была приготовлена суспензия MnO_2 в этаноле. Углеродный войлок пропитывался полученной суспензией. Исходный углеродный материал и модифицированные электроды помещались в двухэлектродную электрохимическую ячейку. Электроды разделялись бумажным сепаратором, смоченным раствором электролита указанного выше состава. Вольтамперные кривые были получены с помощью прибора ИПУ-1 при линейном циклическом изменении напряжения в диапазоне от 0 до 1 В при скорости развертки напряжения 10 мВ/с.

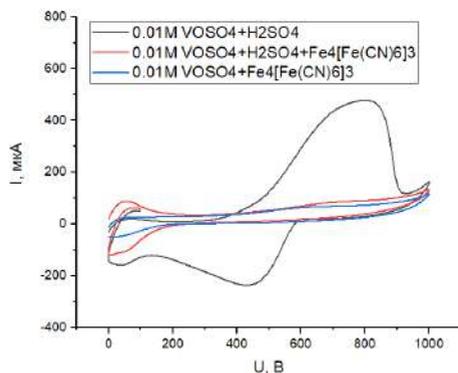


Рис. 1 – Влияние добавки берлинской лазури на вольтамперные характеристики углеродного электродного материала ВРБ

На Рисунке 1 представлены вольтамперные кривые, полученные для электродного материала, модифицированного добавкой гексацианоферрата (II) железа (III) в сравнении с кривыми, полученными для исходного углеродного материала. Как видно из рисунка, в условиях работы ВРБ (при изомолярном соотношении сульфата ванадила и серной кислоты) добавка берлинской лазури не приводит к заметному росту значений тока, а скорее является ингибитором электрохимической реакции, т.е. ее использование в качестве каталитического компонента нецелесообразно.

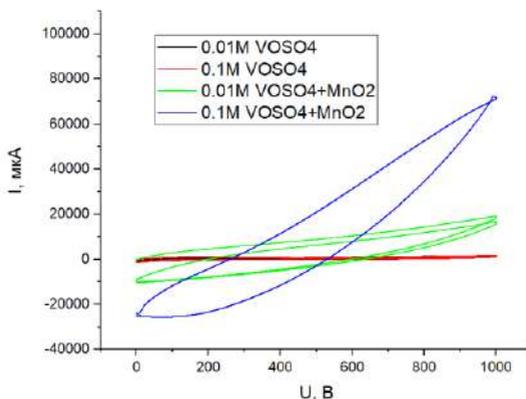


Рис. 2 – Влияние катализатора – оксида марганца (IV) на вольтамперные характеристики углеродного электрода ВРБ

В отличие от добавки берлинской лазури, модификация углеродного материала добавкой MnO_2 приводит очень сильному, более чем на 2 порядка величины, увеличению значений тока. Таким образом, углеродный войлок, модифицированный диоксидом марганца, является перспективным электродным материалом для ВРБ.

Работа выполнена в рамках Тематического плана НИР НГТУ по проекту ТП-ХХТ-1_21.

Литература:

1. Recent progress on carbon and metal based electrocatalysts for vanadium redox flow battery / Manoj K. Singh, Manshu Kapoor, Anil Verma // Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment. – 2020. – Vol. 10. – P. 1–9. – doi: 10.1002/wene.393
2. Zhang F., Huanga S., Wanga X., Jiaa C., Dub Y., Wang Q. Redox-targeted catalysis for vanadium redox-flow batteries // Nano Energy. – 2018. – Vol. 52. – P. 292–2999.

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТОГО ПОКРЫТИЯ НА ИСПАРИЕНИЕ И КИПЕНИЕ ТОНКОГО СЛОЯ ЖИДКОСТИ

Д.А. Швецов¹, А.Н. Павленко¹, В.И. Жуков^{1,2}

¹Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,

**²Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, shvetsov.kh301@ya.ru**

В работе приводятся результаты исследования испарения и кипения тонкого горизонтального слоя жидкости на капиллярно-пористых покрытиях с различной морфологией. Покрытия имели синусоидальный 2D-профиль, который отличался значениями длины волны синусоиды. Показано, что в профиле с меньшей длиной волны увеличивается интенсификация теплообмена при пузырьковом кипении за счет увеличения количества центров парообразования. При понижении давления значения коэффициентов теплоотдачи принимали равные значения на всех покрытиях.

The paper presents the results of a study of evaporation and boiling of a thin horizontal layer of liquid on capillary-porous coatings with different morphologies. The coatings had a sinusoidal 2D profile, which differed in the values of the wavelength of the sine wave. It is shown that in a profile with a shorter wavelength, the enhancement of heat transfer during bubble boiling increases due to an increase in the number of vaporization centers. The values of the heat transfer coefficients assumed equal values on all coatings with a decrease in pressure.

Капиллярно-пористые покрытия существенно интенсифицируют теплообмен при кипении жидкости за счет увеличения числа действующих центров парообразования [1, 2]. Одним из перспективных методов создания таких покрытий является аддитивная технология 3-D печати (SLM / SLS). Основным преимуществом данного метода является простота изготовления сложных профилей покрытий без необходимости дальнейшей обработки [3]. Авторы работы [4] с помощью метода SLM получили сетчатые покрытия с различной шириной и установили, что коэффициент теплоотдачи уменьшался с увеличением ширины сетки с 0,5 мм до 1,3 мм. В исследовании [5] было показано, что более высокие значения коэффициента теплоотдачи достигались на 2D-модулированных покрытиях, выполненных в форме синусоиды, чем на 3D-структурах. Изменение длины волны синусоиды в меньшую сторону при постоянной высоте ребер приводило также к большей интенсификации теплообмена.

Целью данной работы являлось экспериментальное исследование теплообмена на капиллярно-пористых покрытиях с различной морфологией в широком диапазоне давлений. Покрытия наносились с использованием технологии 3-D лазерной печати [6]. Профили покрытий выполнены в форме синусоиды с различной длиной волны. В таблице 1 представлены основные параметры покрытий.

Таблица 1 – Параметры капиллярно-пористых покрытий

	<u>Профиль 1</u>	<u>Профиль 2</u>
Материал	Бронза AISI C836000	
Теплопроводность	$\lambda \approx 89 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ [7]	
Пористость	$\varepsilon = 44 \%$	
Длина волны синусоиды	$\lambda_{m1} = 1,7 \text{ мм}$	$\lambda_{m2} = 3,5 \text{ мм}$
Максимальная высота	$\delta = 550 \text{ мкм}$	
Минимальная высота	$\delta_0 = 50 \text{ мкм}$	
Высота ребра синусоиды	$A = \delta - \delta_0 = 500 \text{ мкм}$	
Уравнение профиля	$z = (A/2) \cdot \sin(2\pi x/\lambda_m) + A/2 + \delta_0$	

Обозначения в таблице: z – вертикальная координата; x – горизонтальная координата.

Исследование проводилось на экспериментальной установке, подробное описание которой приведено в [8]. Внутрь рабочей камеры заливался тонкий слой рабочей жидкости – н-додекана. В работе рассматривался теплообмен в слое высотой $h = 2,5$ мм ($h/l_\sigma = 1,4$), где h – высота слоя жидкости, м; (h/l_σ) – безразмерная высота; $l_\sigma = \sqrt{\sigma/g(\rho_L - \rho_V)}$ – капиллярная постоянная, м; σ – поверхностное натяжение, Н/м; ρ_L, ρ_V – плотности жидкости и пара, соответственно, кг/м³; g – гравитационная постоянная, м/с². Значение коэффициента теплоотдачи рассчитывалось с использованием следующего выражения: $\alpha = q/(T_w - T_s)$, где q – тепловой поток, Вт/м²; T_w – температура стенки, К; T_s – температура насыщения жидкости. Измерения тепловых потоков проводились одновременно с визуальными наблюдениями. Давление в рабочей камере измерялось деформационно–ионизационным датчиком вакуума и поддерживалось постоянным для каждого эксперимента.

На рисунке 1 показано сравнение зависимостей коэффициента теплоотдачи от теплового потока, полученных для исследуемых поверхностей при различном давлении. Получено, что на покрытии с профилем 1 значения коэффициента теплоотдачи больше, чем на покрытии с профилем 2 при давлениях $P_s = 0,4$ – 20 кПа. Данная интенсификация теплообмена показывает, что на покрытии с меньшей длиной волны достигается большее число действующих центров парообразования. Тепловой поток, при котором начинается кипение, также выше у профиля 1.

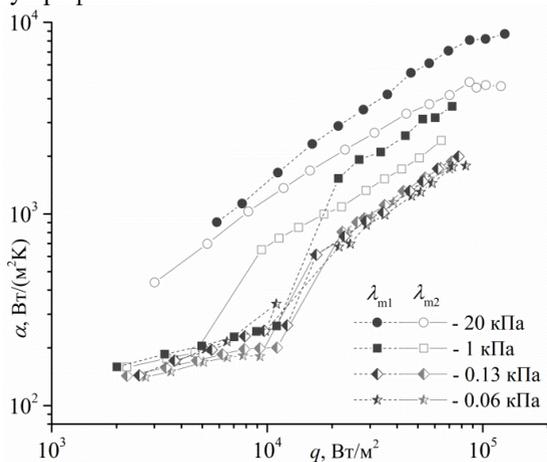


Рис. 1 – Сравнение зависимостей коэффициента теплоотдачи от теплового потока, полученных для исследуемых поверхностей при различном давлении

При уменьшении давления пузырьковое кипение прекращалось. В результате число центров парообразования переставало влиять на теплообмен, и коэффициенты теплоотдачи на всех покрытиях не отличались. Значения тепловых потоков, при которых начиналось интенсивное испарение, на всех покрытиях также примерно одинаково ($q \sim 2 \cdot 10^4$ Вт/м²). В таблице 2 представлено сравнение максимальных коэффициентов теплоотдачи α_{\max} , полученных на покрытиях с профилями 1 и 2 при различном давлении.

Таблица 2 – Влияние давления на интенсификацию теплообмена

P_s , кПа	20	10	5	1	0,66	0,40	0,13	0,06
$\frac{\alpha_{\max 1}}{\alpha_{\max 2}}$	1,79	1,62	1,51	1,5	1,48	1,18	1,06	1,04

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ проект № 19-19-00180.

Литература:

1. *Singh S.K., Sharma D.* Review of pool and flow boiling heat transfer enhancement through surface modification // *Int. J. Heat and Mass Transfer.* – 2021. – V. 181. – 122020.
2. *Volodin O., Pecherkin N., Pavlenko A., Zubkov N.* Surface microstructures for boiling and evaporation enhancement in falling films of low-viscosity fluids // *Int. J. Heat and Mass Transfer.* – 2020. – Vol. 155. – 119722.
3. *Read N., Wang W., Essa K., Attallah M.M.* Selective laser melting of AlSi10Mg alloy: process optimisation and mechanical properties development // *Mater. Design.* – 2015. – V. 65. – P. 417–424.
4. *Zhang C., Zhang L., Xu H., Li P., Qian B.* Performance of pool boiling with 3D grid structure manufactured by selective laser melting technique // *Int. J. Heat and Mass Transfer.* – 2019. – V. 128. – P. 570–580.
5. *Min D.H., Hwang G.S., Usta Y., Cora O.N., Koc M., Kaviani M.* 2-D and 3-D modulated porous coatings for enhanced pool boiling // *Int. J. Heat Mass Transfer.* – 2009. – V. 52. – P. 2607–2613.
6. *Bessmeltsev V.P., Pavlenko A.N., Zhukov V.I.* Development of a technology for creating structured capillary-porous coatings by means of 3D printing for intensification of heat transfer during boiling // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing.* – 2019. – V. 55, № 6. – P. 554–563.
7. *Osintsev O.E., Fedorov V.N.* Copper and copper alloys. Domestic and foreign brands: Reference book. Moscow: Mechanical Engineering, 2004. – 336 p.

8. Zhukov V.I., Pavlenko A.N., Shvetsov D.A. The effect of pressure on heat transfer at evaporation/boiling in horizontal liquid layers of various heights on a microstructured surface produced by 3D laser printing // Int. J. Heat and Mass Transfer. – 2020. – V. 163. – 120488.

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ФЕРРОВОЛЬФРАМАТА СВИНЦА

Н.С.Шевченко^{1,2}, А.А.Гусев¹, О.В.Тихонова²

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

²Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, shevchenko.2506@mail.ru

Научный руководитель: Гусев А.А.¹, с.н.с ,

Тихонова О.В.², к.т.н, доцент

Данная статья посвящена синтезу системы: $(1-x)Pb_2MgWO_6 + (x)Pb_3Fe_2WO_9$, где $x(Fe) = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$ с использованием механохимической активации и обжига в диапазоне температур 600-900 °С, с целью исследования твердых растворов и влияния железа на формирование структуры перовскита.

This research reviews synthesis of system $(1-x) Pb_2MgWO_6 + (x) Pb_3Fe_2WO_9$, $x(Fe) = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$ obtained by using mechanochemical activation and calcination at a wide range of temperature 600-900 °C, for the purpose of research solid phase and the influence of iron on the formation of the perovskite structure.

В настоящее время возрастает интерес к материалам со структурой перовскита, проявляющим одновременно сегнетоэлектрические и магнитные свойства. Одним из таких соединений является твердый раствор $Pb_2MgWO_6 - Pb_3Fe_2WO_9$ (PMW – PFW). Керамика ферровольфрамата свинца $Pb_3Fe_2WO_9$ (PFW) сочетает в себе электрическую и магнитную подсистему, которую используют для создания устройств памяти, запись на которые производится электрическим полем, а считывается – магнитным. Варьируя концентрацию железа в твердом растворе, можно изменять данные свойства. Важными объектами исследований с фундаментальной и практической точек зрения являются материалы, содержащие магнитные ионы. PFW имеет структуру перовскита ABO_3 , в которой ионы Mg^{6+} , W^{6+} и Fe^{3+} случайным образом занимают В–центры в октаэдрических положениях O_2^- [1]. Следствием разупорядочения Fe^{3+} в В-позициях является формирование антиферромагнитного состояния, а

так же изменение температуры переходов в сегнетоэлектрическое [2,4] и антиферромагнитное состояние [3,5].

В качестве исходных реагентов для синтеза брались WO_3 , MgO , PbO , Fe_2O_3 , Li_2CO_3 классификации «чистые для анализа». Для механохимической активации (м/а) порошков использовалась мельница АГО-2 со стальными барабанами и шарами диаметром 8 мм и массой 200 г (ускорение шаров 40g). Для снижения электропроводности керамики вводился карбонат лития 1% вес. сверх стехиометрии, а так же оксид свинца в избытке 3% вес. сверх стехиометрии, поскольку спекание свинецсодержащей керамики сопровождается испарением свинца с поверхности образцов и приводит к изменению их фазового состава [6,7]. Для предотвращения намола железа в процессе активации, предварительно проводилась футеровка шаров и барабанов согласно патента [8]. Активированные порошки прессовались с использованием гидравлического пресса под давлением 10 т/см^2 без пластификатора. Образцы представляют собой таблетки $h = 2 \text{ мм}$ и $d = 10 \text{ мм}$. Обжиг осуществлялся в печи ПВК-1,4-8 от $600 \text{ }^\circ\text{C}$ до $900 \text{ }^\circ\text{C}$. Скорость нагрева 10°C/мин . Образцы охлаждались вместе с печью после ее выключения. Взвешивание проводилось на весах UW220H фирмы SHIMADZU с точностью 0,001 г, геометрический размер определялся при помощи микрометра с точностью 0,01 мм. Рентгенофазовый анализ (РФА) выполнялся с использованием ДРОН-3 и D8ADVANCE (BRUKER).

Система: $(1-X)(2PbO+MgO+WO_3) + X(3PbO+Fe_2O_3+WO_3)$, где $X = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$. Время активации 10 минут. На рисунке 1 представлены дифрактограммы активированных порошков из анализа которых видно, что при $x = 0,2$ формируется кубическая структура с пространственной группой $Fm\bar{3}m$, а с увеличением $x = 0,4; 0,6; 0,8$; формируется кубическая структура с пространственной группой $Pm\bar{3}m$.

При значении $x = 0,2$ во всем диапазоне температур от $600 \text{ }^\circ\text{C}$ до $850 \text{ }^\circ\text{C}$ формируется структура с гранецентрированной кубической решеткой, которая после шлифовки сохраняется. На дифрактограммах символами отмечены основные рефлексы фаз PWM-PFW. На образцах, с $x = 0,4-0,8$ при температурах обжига $850 \text{ }^\circ\text{C}$ и выше формируются фазы Pb_2WO_5 моноклинной структуры S.G. C2/m, и Pb_2O_3 с орторомбической структурой S.G. P21am в пределах 3-5%

На рисунке 3 представлены дифрактограммы образцов со значением $x = 0,4$. При $600 \text{ }^\circ\text{C}$ формируется примитивная кубическая структура. При $700 \text{ }^\circ\text{C}$ и $800 \text{ }^\circ\text{C}$ формируется гранецентрированная решетка, которая сохраняется так же после обжига $850 \text{ }^\circ\text{C}$ и последующей шлифовки.

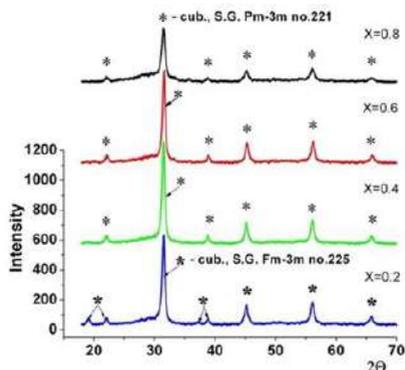


Рис. 1 – Дифрактограммы образцов с различным значением x после м/а

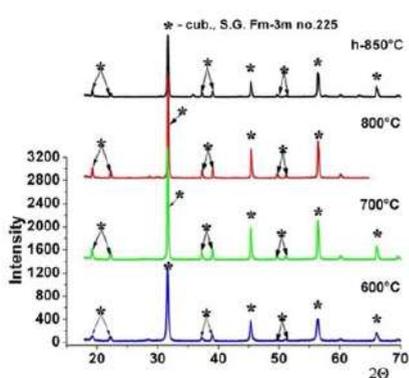


Рис.2 – Дифрактограммы образцов с $x = 0,2$ после обжига и шлифованного образца при 850°С

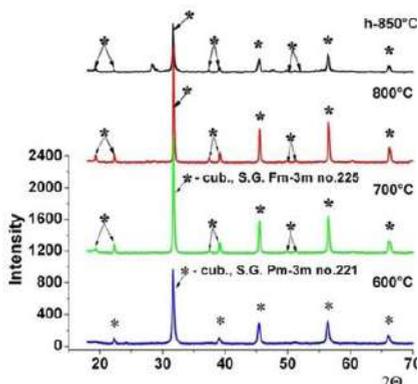


Рис.3 – Дифрактограммы образцов с $x = 0,4$ после обжига и шлифованного образца при 850°С

При $x = 0,6$ структура с пространственной группой $Fm\bar{3}m$ появляется при 800 °С и сохраняется после обжига при 850 °С и шлифовки. В диапазоне температур 600 °С и 700 °С образуется структура с пространственной группой $Pm\bar{3}m$ (Рисунок 4).

На рисунке 5 представлены дифрактограммы образцов со значением $x = 0,8$ и различной температурой обжига. В диапазоне температур от 600 до 800 °С формируется фаза с пространственной группой $Pm\bar{3}m$, но при 850°С образуется фаза с пространственной группой $Fm\bar{3}m$, которая после шлифовки сохраняется.

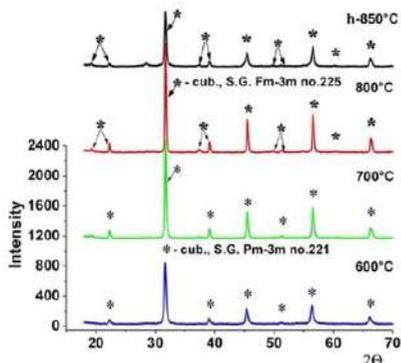


Рис. 4 – Дифрактограммы образцов с $x = 0,6$ после обжига и шлифованного образца при 850 °С

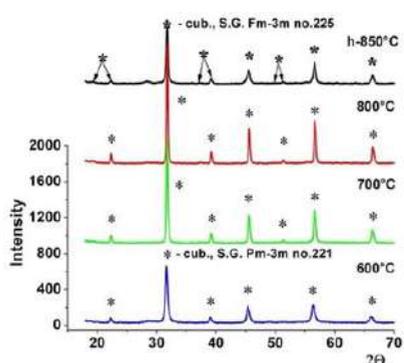


Рис.5 – Дифрактограммы образцов с $x = 0,8$ после обжига и шлифованного образца при 850 °С

Из анализа плотностей, представленных на рисунке 6 следует, что при всех значениях x , самые плотные образцы получены при 800 °С. С увеличением температуры обжига плотность образцов начинает снижаться. Это связано с тем, что идет формирование не только PMW и PFW с параметрами решетки S.G. Pm3m и S.G. Fm3m, но и Pb_2WO_5 моноклинной структуры S.G. C2/m, и Pb_2O_3 с орторомбической структурой S.G. P21am. Происходит разрыхление структуры в процессе разложения Li_2CO_3 и испарение CO_2 , а так же потери свинца вследствие резкого повышения давления его паров. Самый плотный образец получен при содержании $x = 0,2$ с плотностью 8,82 г/см³. При температурах выше 800 °С нет необходимости спекания из-за большой потери свинца, поскольку образцы разрыхляются и плотность падает.

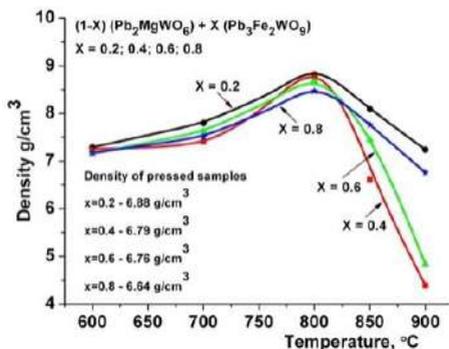


Рис.6 – График плотности образцов с различным значением x в диапазоне температур 600-900 °С

При синтезе $\text{Pb}_2\text{MgWO}_6 - \text{Pb}_3\text{Fe}_2\text{WO}_9$ (PMW – PFW) формируются твердые растворы со структурой перовскита во всем диапазоне концентраций $0 < X < 1$. С увеличением значения X преимущественно формируется примитивная кубическая структура с пространственной группой $\text{Pm}\bar{3}\text{m}$. Из анализа плотности образцов следует, что с увеличением значения X плотность образцов снижается, что связано с формированием фаз с различными структурами и различными параметрами решетки, испарением CO_2 , потерями свинца вследствие резкого повышения давления его паров.

Литература:

1. Смоленский Г.А., Аргановская А.И., Исупов В.А. Физика твердого тела. - 1959. - Т. 6 – С. 990.
2. Robert S. Roth, Samuel J. Schneider, Jr. Solid State Chemistry. Nat. Bur. Stand. (U.S.), Spec. Publ. 2002. – 812 p.
3. Mitoseriu L., Stancu A., Fedor C., Vilarinho P.M, Analysis of the composition-induced transition from relaxor to ferroelectric state in $\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ solid solutions // J. Appl. Phys. – 2003. Vol.94, - p. 1918-1925.
4. Fraygola B., Coelho A.A., Garcia D., Eiras A.J. Magnetic and ferroelectric phase coexistence in multiferroic PFW-PT ceramics // Proc. Appl. Ceram. – 2012. – Vol. 6, N 1. – p.65-75
5. Григорьев И.С. Физические величины: справочник. Изд-во: М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.
6. Измерение парциального давления атомов свинца над PbO методом линейчатой абсорбции / В.Г. Мурадов, Ю.Н. Кудрявцев, О.Н. Муратова, В.Ф. Любимов // Журнал прикладной Спектроскопии. – 1981. - Т. 34, №4. - С. 724-726.
7. Зырянов В.В., Сысоев В.Ф., Болдырев В.В., Коростелева Т.В., Изобретение SU1375328 A1 (B 02 C 17/08). 23.02.88. Бюл. №7.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА ВЯЗКОСТЬ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ DER-331

А.А. Шестаков, А.Е. Воробьева, А.С. Рыбкина
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, a.shestakov25@mail.ru
Научный руководитель: Баннов А.Г., к.т.н., доцент

В данной работе были определены реологические характеристики композиций на основе эпоксидной смолы и технического углерода. Вязкость системы увеличивалась при добавлении технического углерода.

In this work the rheological characteristics of epoxy resin and carbon black compositions were determined. The viscosity of the system was increased by the addition of carbon black.

Материаловедение композитов в настоящее время является одной из наиболее быстро развивающихся областей технологии [1]. Исследования в этой области в настоящее время сосредоточены на двух основных направлениях: поиск совершенно новых материалов и методов изменения свойств уже известных материалов. Среди исследований, относящихся ко второй группе, исследование свойств и модификаций полимеров является особенно динамично развивающейся областью. Обычно в машиностроении и химической технологии наиболее часто используются следующие типы полимеров: конструкционные, покрытия и адгезивные полимеры. Последняя группа включает так называемые смолы, например эпоксидные, фенольные, полиэфирные, формальдегидные и смеси этих полимеров. Их использование ориентировано на комбинирование конструкционных материалов, то есть на усиление элементов конструкции [2].

Условия, в которых была приготовлена смола, имеют большое влияние на ее адгезию к основанию во время ее нанесения на склеиваемые поверхности (ранняя адгезия смолы). Этот параметр во многом зависит от двух важных факторов: химического состава смолы и ее вязкости. Изменения вязкости могут заметно повлиять на конечный эффект склеивания [3].

Поведение систем с добавлением технического углерода различного типа представляет значительный интерес для практического применения данной марки на производстве. В данной работе рассматривали технический углерод Alfa Aesar™.

В данной работе проводилось исследование технологических характеристик системы эпоксидная смола/технический углерод (ТУ) в

зависимости от концентрации наполнителя. Были проанализированы реологические характеристики системы эпоксидная смола DER-331/ТУ.

В качестве полимерной матрицы использовалась эпоксидная смола DER-331 на основе бисфенола А (DOW Chemical, Германия) (с содержанием эпоксидных групп 5200–5500 моль/кг и средней молекулярной массой 340 г/моль).

Технический углерод (Alfa Aesar™) использовался в качестве наполнителя. Использовали концентрации наполнителя в диапазоне от 0 до 0,5 phr. Можно отметить, что концентрация ТУ в композитах была относительно низкой, так как большинство композитов имеют содержание наполнителя более 10 phr. Поэтому ТУ в композиционном материале можно рассматривать в качестве добавки.

Технологические параметры смешения эпоксидной смолы с техническим углеродом измеряли с помощью устройства с механической мешалкой ИКА Eurostar Power Control-Visc P7 для обработки высоковязких сред. Тип мешалки – якорная эмалированная, число лопастей – 2. Тип внутреннего устройства мешалки – одиночный цилиндр. Соотношение размеров $h/d = 20/15$. Коэффициент сопротивления $z = 0,65$. Диапазон вращающего момента составляет 8-290 об/мин. Максимальная вязкость, допустимая для перемешивания – 150000 мПа·с.

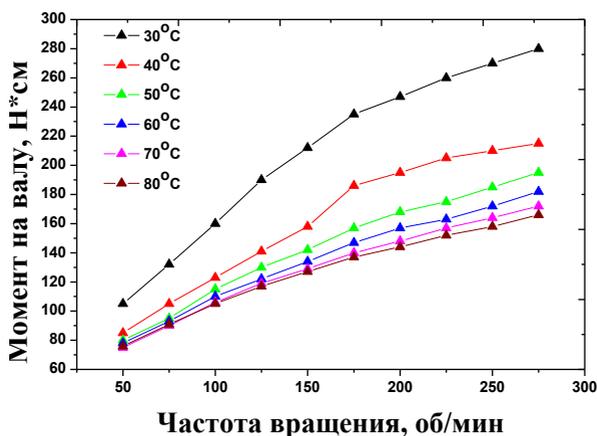


Рис. 1 – Реологические кривые чистого эпоксидного олигомера

На рисунке 1 представлена зависимость крутящего момента на валу от частоты вращения мешалки для смеси DER-331/ТУ. Видно, что крутящий момент на валу растет с увеличением частоты вращения. При 30-40°C наблюдается нелинейная зависимость, а дальнейшее

повышение температуры выше 50 °С сделало форму кривой более линейной. Для чистой смолы при 175 об/мин и 40 °С крутящий момент вала немного увеличивается.

Резкий максимум наблюдался также для композита ЭС/ТУ-0,5 phg при 200 об/мин и 30 °С. Как видно из полученных данных, повышенная вязкость смеси эпоксидная смола/технический углерод наблюдалась при относительно низких температурах (30-40 °С).

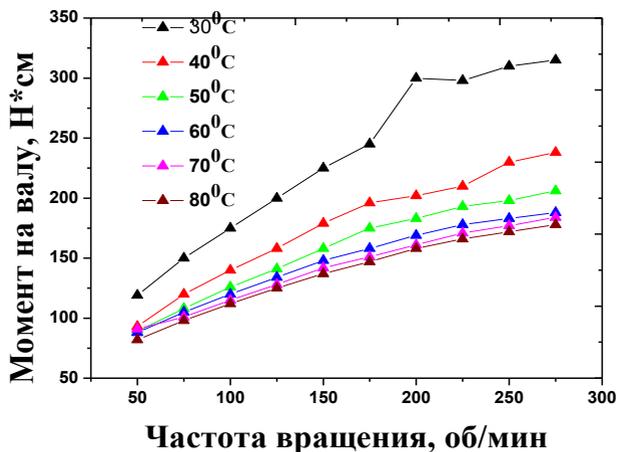


Рис. 2 – Реологические кривые смеси эпоксидного олигомера и 0,5 phg ТУ

На рисунке 2 представлены реологические кривые смеси эпоксидного олигомера и 0,5 phg ТУ. Загрузка 0,5 phg технического углерода привела к увеличению кажущейся вязкости композитной смеси только при 30 °С, где зафиксировано увеличение максимального крутящего момента на валу (при 275 об/мин) с 280 Н·см до 315 Н·см.

Данные реологические кривые были аппроксимированы для получения коэффициентов, чтобы можно было предсказать вязкость системы при любом количестве оборотов. В качестве аппроксимирующей функции была выбрана степенная функция $y = a \cdot x^b$. Полученные коэффициенты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты зависимости момента на валу от температуры

Содержание ТУ, phr	t, °C	a	b	Стандартная погрешность коэфф-та a, (±)	Стандартная погрешность коэфф-та b, (±)
0	30	12,12363	0,56497	1,62934	0,02568
	40	9,41184	0,56487	1,51799	0,03082
	50	10,00095	0,52973	0,53013	0,01015
	60	10,90682	0,50093	0,4363	0,00767
	70	11,24701	0,48635	0,34258	0,00585
	80	12,9096	0,45513	0,35558	0,0053
0,5	30	11,19335	0,60221	2,28218	0,03888
	40	12,16843	0,53106	1,09688	0,01726
	50	12,89737	0,49744	1,14081	0,01697
	60	14,97568	0,45438	0,88769	0,01141
	70	15,10166	0,44585	0,93788	0,01196
	80	13,40166	0,46292	0,52937	0,0076

При увеличении числа оборотов мешалки, более отчетливо видна зависимость момента на валу от температуры. Добавление ТУ в систему увеличивает значение момента на валу, соответственно, увеличивается и вязкость системы.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки (код FSUN-2020-0008).

Литература:

1. *Rabek J. F.* Modern knowledge about polymers // Wyd. Naukowe PWN. – 2013. – Т. 1. – С. 3-20.
2. *Szewczak A., Szelag M.* Modifications of Epoxy Resins and their Influence on their Viscosity // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2019. – Т. 471. – №. 2. – С. 38.
3. *Gnatowski A., Koszkuł J.* Investigations of the influence of filler on the properties of chosen polymer blends with compatibilizer addition // Proceedings of the 13th Scientific International Conference “Achievements in Mechanical and Materials Engineering”, AMME. – 2005. – С. 247-250.

ПАЛЛАДИЕВЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ АЭРОГЕЛЬНЫХ ОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ И МАГНИЯ ДЛЯ РЕАКЦИИ ДЕГИДРИРОВАНИЯ ПИПЕРИДИНА

Д.М. Шивцов¹, А.П. Коскин², А.Ф. Бедило²

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт катализа СО РАН им. Г.К. Борескова,

г. Новосибирск, gswfan@mail.ru

Научный руководитель: Ильина Е.В.², к.х.н., н.с.

Были синтезированы аэрогельные катализаторы 1% Pd/MgO и 1% Pd/Al₂O₃. Полученные катализаторы были исследованы в реакции дегидрирования пиперидина. Pd/MgO показал себя перспективным катализатором дегидрирования с селективностью по пиридину > 99%.

Aerogel catalysts of 1% Pd/MgO and 1% Pd/Al₂O₃ were synthesized. The obtained catalysts were studied in piperidine dehydrogenation. Pd/MgO appeared to be a promising dehydrogenation catalyst with pyridine selectivity > 99%.

Одним из направлений разработки экологически-чистых источников энергии является развитие водородной энергетики, подразумевающей использование водорода в качестве топлива. Важной задачей является разработка технологий его хранения и транспортировки. В последние десятилетия активно развивались технологии хранения водорода в сжатом или сжиженном состоянии, адсорбированном на поверхности сорбентов, в виде гидридов металлов, аммиака и боранов. Одним из перспективных методов запасаания и транспортировки водорода является использование жидких органических носителей водорода (Liquid organic hydrogen carrier; LOHC). Среди преимуществ данных систем следует отметить их многократное использование, а также возможность применения существующей инфраструктуры транспортировки жидких топлив [1]. Схема гидрирования-дегидрирования LOHC представлена на рисунке 1.

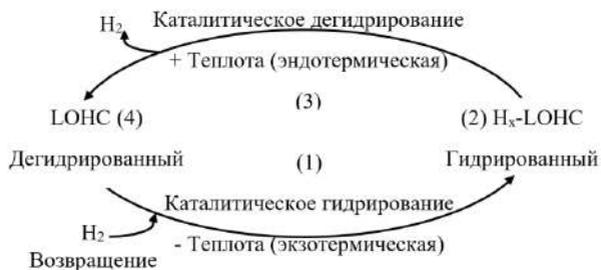


Рис. 1 – Процессы гидрирования-дегидрирования LOHC

Аэрогельный способ синтеза позволяет получать наноматериалы с развитой поверхностью, высокой пористостью и равномерным распределением активного компонента [2]. В данной работе были синтезированы и исследованы аэрогельные системы 1% Pd/MgO и 1% Pd/Al₂O₃. В обоих случаях методики включали в себя гидролиз металлоорганического предшественника (метоксида магния или изопророксида алюминия) с образованием геля соответствующего гидроксида. Для синтеза аэрогелевого оксида магния были использованы ранее оптимизированные параметры [3]. В ходе синтеза оксида алюминия варьировались концентрация изопророксида алюминия, соотношение изопророксида алюминия и воды, взятой для гидролиза, и оценивалось влияние растворителей на текстурные характеристики оксида алюминия. На следующем этапе синтеза в готовый гель, выдержанный около суток, добавлялся раствор [Pd(NH₃)₄](NO₃)₂, и полученная смесь помещалась в автоклав для удаления органических растворителей в сверхкритических условиях (270 °С, 80 атм). Далее все полученные образцы аэрогелей прокаливались в муфельной печи при 500 °С в течение 3 часов.

Изотермы адсорбции/десорбции и основные текстурные характеристики катализаторов 1% Pd/MgO и 1% Pd/Al₂O₃ полученные методом БЭТ представлены на рисунке 2.

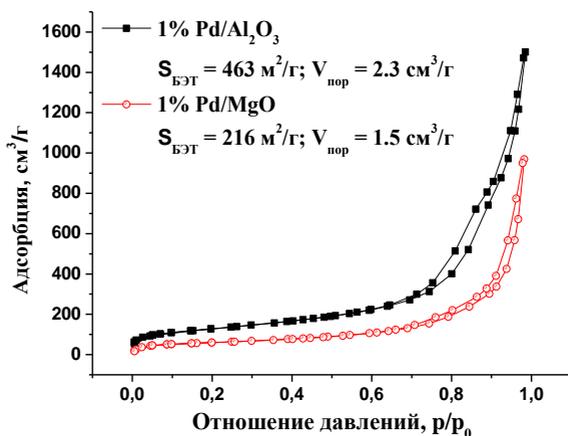


Рис. 2 – Изотермы адсорбции/десорбции 1% Pd/Al₂O₃ и 1% Pd/MgO

В ходе работы было показано, что при синтезе аэрогелевого гидроксида алюминия оптимальной концентрацией алкоксида является интервал 0.15±0.05 моль/л, количество взятой воды для гидролиза может варьироваться в диапазоне от 0.5 до 2 кратного избытка. Также

было показано, что частичная замена изопропанола на толуол мало влияла на текстурные характеристики получаемых аэрогелей.

Синтезированные образцы 1% Pd²⁺/Al₂O₃ и 1% Pd²⁺/MgO были исследованы в модельной реакции дегидрирования пиперидина. Перед реакцией оба образца восстанавливали в токе водорода (500 мл/мин, 0.5 ч нагрева до 250 °С, 1 ч при 250 °С). В ходе процесса наблюдали изменение цвета образцов (со светло-жёлтого до серо-чёрного), что свидетельствует о восстановлении палладия. После этого, образцы остужали в токе аргона, заливали декалином (11 мл) и переносили в реактор, оснащенный обратным холодильником, источником нагрева и перемешивания, а также системой измерения объема реакционной смеси. К образцам добавляли 100 мг пиперидина, герметизировали установку, включали нагрев (200 °С) и перемешивание. В ходе процесса наблюдали расширение объема реакционной смеси, превышающее расширение, фиксируемое для калибровочного эксперимента (нагрев реактора с 11 мл декалина и 100 мг пиперидина без катализатора). Дополнительное расширение объема связано с выделением водорода в ходе эксперимента. Анализ реакционной смеси проводился по результатам газовой хроматографии (ГХ; Agilent 7820a, Колонка ZB-5), полученные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Конверсия пиперидина и селективность за 3 ч реакции по данным газовой хроматографии

Катализатор	Конверсия пиперидина, %	Селективность по пиридину, %
1% Pd/MgO	14.89	>99
1% Pd/Al ₂ O ₃	18.71	~85

При использовании 1% Pd/Al₂O₃ в качестве катализатора наблюдалось изменение цвета смеси из-за разложения и осмоления субстрата, что приводило к снижению селективности по пиридину. В то же время, весьма перспективные результаты были получены при использовании 1% Pd/MgO в качестве катализатора. Селективность по пиридину превышала 99%. При этом не наблюдалось существенного закоксования катализатора.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что Pd/MgO, синтезированный по аэрогельной методике, является перспективным катализатором для дегидрирования пиперидина и других азогетероциклов для получения водорода.

Литература:

1. *Aakko-Saksa P.T., Cook C., Kiviaho J., Repo T.* Liquid organic hydrogen carriers for transportation and storing of renewable energy – Review and discussion // *Journal of Power Sources.* – 2018. – P.803–823.
2. *Ilyina E.V., Mishakov I.V., Vedyagin A.A., Bedilo A.F.* Aerogel Method for Preparation of Nanocrystalline $\text{CoO}_x\cdot\text{MgO}$ and $\text{VO}_x\cdot\text{MgO}$ Catalysts // *Journal of Sol-Gel Science and Technology.* – 2013. – V. 68. – N3. – P. 423-428.
3. *Vedyagin A.A., Bedilo A.F., Mishakov I.V., Shuvarakova E.I.* Study of MgO transformation into MgF_2 in the presence of CF_2Cl_2 . // *Journal of Serbian Chemical Society.* – 2017. – V. 82. – P. 523–538.

**Секция АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
СОВРЕМЕННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ:
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

**АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЯ
ПРИ ДЕФОРМАЦИИ ОБРАЗЦОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
С ДЕФЕКТАМИ**

А.В. Щепетков, Н.В. Абабков

Кузбасский государственный технический университет имени

Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, n.ababkov@gambler.ru

Научный руководитель: Смирнов А. Н., д.т.н., профессор

Оценка возможности и ресурса эксплуатации конструкций без разрушения является актуальной проблемой в наше время. С помощью теплового контроля сварных соединений при разрушении образцов с дефектами и без дефектов предполагается повысить эффективность оценки состояния металлоконструкций за счет определения параметров и зависимостей разрушающего и неразрушающего контроля.

Assessment of the possibility and service life of structures without destruction is an urgent problem in our time. With the help of thermal inspection of welded joints during the destruction of samples with and without defects, it is supposed to increase the efficiency of assessing the state of metal structures by determining the parameters and dependencies of destructive and non-destructive testing.

В настоящее время все большую популярность набирает риск-ориентированный подход к оценке состояния сварных металлоконструкций, в том числе с дефектами. Так оценивается возможность эксплуатации той или иной конструкции с дефектами и возможные последствия от ее разрушения. Однако отсутствуют четкие методики или зависимости по влиянию размера того или иного дефекта на способность конструкции выполнять свои функции. Таким образом целью работы является повышение эффективности оценки состояния ресурса и мест предразрушения сварных металлоконструкций с помощью теплового контроля путем определения зависимостей параметров и характеристик разрушающего и неразрушающего контроля [1].

Стандартные методы НК выявляют уже существующие дефекты в сварных соединениях – макродефекты. Однако широко применяемые методы НК имеют ряд существенных недостатков. Неразрушающие физические методы исследований в задачах оценки и прогнозирования работоспособности сварных соединений металлоконструкций ориентированы, главным образом, на выявление уже существующих и

развивающихся очагов разрушения. Проблема усугубляется отсутствием научно обоснованной концепции надежного прогнозирования работоспособности длительно работающего металла [4–8].

При проведении патентного анализа выявлено, что в настоящее время данный подход никем не разрабатывается, а существующие методы и подходы обладают недостатками, среди которых можно выделить сложность использования и дороговизну аппаратуры [2].

Вторым этапом, после проведения патентного поиска, были подготовлены контрольно-сварные соединения с дефектами из листов стали 09Г2С, размерами 12,0+12,0 (КСС №1) и 6,0+6,0 (КСС №2), выполненные с помощью ручной дуговой сварки, стыковым соединением в нижнем положении покрытыми электродами марки УОНИ 13/55. После сварки провели ВИК согласно ГОСТ 23055-78. Следующим этапом были вырезаны образцы продольной формой по ГОСТ 6996-66, тип XII в количестве 20 шт., зафиксировали их толщину и ширину, рассчитали площади поперечного сечения. После вырезки образцов были обнаружены внутренние дефекты, а именно: поры, шлаковые включения, непровары и прочее (рис. 1).



Рис. 1 - Образцы из стали 09Г2С, толщиной 6,0 мм

Были подготовлены и настроены разрывная машина РМ-50М, фиксирующий компьютер, навели тепловизор Flir E60 и на рабочую зону и зафиксировали его. (рис. 2, а)

Установили в разрывную машину РМ-50М образец, так чтобы сварной шов находился на равном расстоянии от захватов, зафиксировали в клиновых зажимах. Включили запись измерений на компьютере в программе регистрации данных «Регистратор СИ-02», на тепловизоре и запустили процесс растяжения на испытательной машине. По окончании испытания отключили разрывную машину, остановили запись на

тепловизоре и компьютере. Зафиксировали результаты испытаний. Данную процедуру повторили для всех остальных образцов.

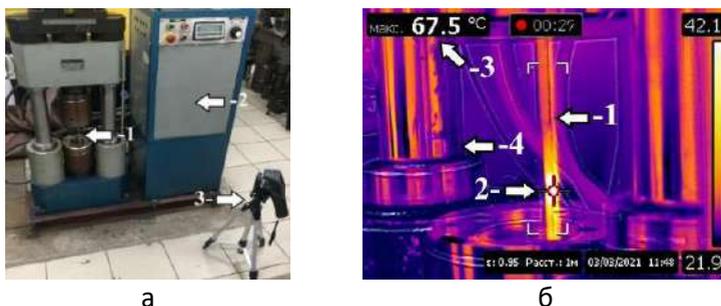


Рис. 2 - а) - Процесс эксперимента (1 – исследуемый образец, 2 – разрывная машина РМ-50М, 3 – тепловизор Flir E60); б) - Испытание образца из стали 09Г2С, толщиной 6,0 мм (1 – испытываемый образец, 2 – точка максимального нагрева, 3 – максимальная температура нагрева образца, 4 – разрывная машина РМ-50М)

При испытании КСС №2 из стали 09Г2С толщиной 6,0мм из которого было вырезано 20 образцов, согласно ГОСТ 19281-2014 временное сопротивление при испытании на растяжение данной стали должно быть не менее 430 МПа, прошли испытания 55% (11 шт.) образцов, из них разрушение произошло по сварному шву в 73% (8 шт.), у 27% (3 шт.) по основному металлу. У образцов, на которые максимальное нагружение было минимальным, максимальная температура нагрева во время разрушения была также минимальна, например образец №13 разрушился при нагрузке 21,133 кН, с временным сопротивлением 308,96 МПа, его максимальная температура нагрева в момент разрушения была 34,3 °С. Типичный пример изменения температуры образца сварного соединения с минимальным количеством дефектов в процессе растяжения представлен на рис. 3. Видно, что максимальная температура наблюдалась в месте разрушения металла, интенсивный нагрев начинался после площадки текучести, скачкообразное изменение температуры наблюдалось до наступления предела прочности. Всего по основному металлу разрушилось 20% (4 шт.), 80% (16 шт.) по сварному шву. В результате статической обработки полученных результатов [3] получены соотношение между максимальными температурами и временем испытания, максимальными напряжениями в момент разрушения образцов (рис. 4) и их относительными удлинениями. Температура также зависела от количества и размеров дефектов, где

дефектов не было обнаружено или их количество минимально, максимальная температура в момент разрушения образца была больше, чем у образцов с дефектами и их большим количеством.

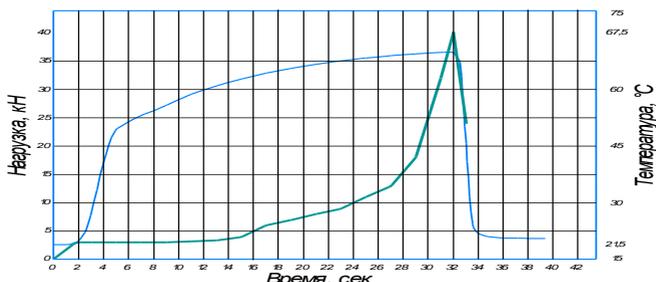


Рис. 3 - График изменения температуры в процессе растяжения

С возрастанием нагрузки и увеличением процента деформации увеличивается температура образца в одной локальной точке. Именно в этой точке максимального нагрева происходило разрушение всех исследованных образцов.

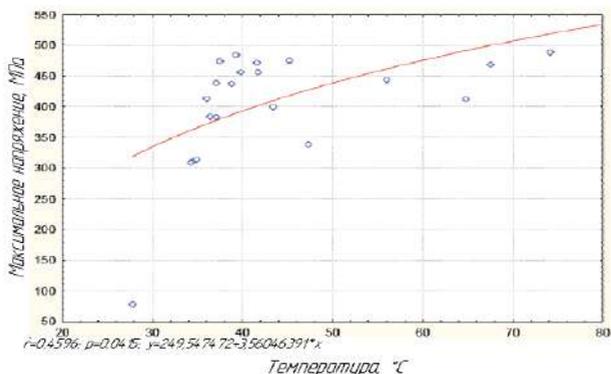


Рис. 4 - График зависимости температуры от напряжения

При проведении испытаний максимальная температура наблюдалась в месте разрушения металла, интенсивный нагрев начинался после площадки текучести, скачкообразное изменение температуры наблюдалось до наступления предела прочности.

Размер дефекта и их количество влияют на результат испытания, а именно: при отсутствии дефектов, либо при малом содержании их в сварном шве, максимальная температура образца в точке разрушения

выше, чем у образцов с недопустимым содержанием дефектов, а также максимальная сила нагружения на образец больше, и такие образцы, согласно нормативным документам, являются годными.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для поддержки молодых кандидатов наук МК-1084.2020.8.

Литература:

1. *Щепетков А. В., Абабков Н. В.* Подготовка образцов сварных соединений с дефектами и без дефектов для проведения теплового контроля // Сборник трудов IV Международной научно – практической конференции «Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте». 2020. - № 118. – 3 с.
2. *Щепетков А. В., Абабков Н. В.* Подходы к определению мест предразрушений металлических конструкций. // Сборник материалов XI всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая». 2019. – с. 6
3. *Щепетков А. В., Абабков Н. В.* Влияние дефектов сварки на параметры теплового контроля при деформации. // Сборник материалов XIII всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая». 2021. – с. 8
4. *Клюев В. В.* Неразрушающий контроль. Том 3.: Справочник. В 7-и книгах / Под ред. Клюева В. В. — М.: Машиностроение, 2004.
5. *Основы физики и механики разрушения: учебное пособие / А. Н. Смирнов; Н. В. Абабков; КузГТУ. – Кемерово, 2014. – 162 с.*
6. *Смирнов, А. Н.* Оценка ресурса длительно работающего металла оборудования топливно-энергетического комплекса на основе структурных критериев / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, Н.Ф. Ощепков, Р.З. Рахматуллин // Сварка и диагностика. 2015. № 5. С. 9-12.
7. *Смирнов, А. Н.* Влияние степени деформации сварных соединений углеродистых сталей на структурно-фазовое состояние и поля внутренних напряжений / А. Н. Смирнов, Э. В. Козлов, Е. А. Ожиганов и др. // Сварка и диагностика. 2016. - № 3. - С. 25-28.
8. *Абабков, Н. В.* Исследование структуры и свойств металла корпуса ступиц редуктор-мотор колеса БЕЛАЗа 7555 после ремонта / Н. В. Абабков, А. А. Баканов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. - № 1 (113). - С. 129-136.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВАРКИ ВЗРЫВОМ БИМЕТАЛЛОВ ТИТАН-АЛЮМИНИЙ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ

Н.С. Александрова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, aleksandrovanatalie99@gmail.com

Научный руководитель: Батаев И.А., д.т.н., доцент

Работа посвящена моделированию процесса сварки взрывом биметаллов системы Ti-Al при различных технологических режимах. Было построено окно свариваемости в координатах угол соударения – скорость точки контакта. Установлено, что применяемый для моделирования метод гидродинамики сглаженных частиц хорошо согласуется с расчетными границами окна свариваемости.

The work is devoted to modeling the process of explosion welding of Ti-Al system bimetal under various technological modes. A weldability window was constructed in the coordinates of the collision angle – the collision point velocity. It is established that the method of smoothed particle hydrodynamics used for modeling is in good agreement with the calculated boundaries of the weldability window.

Сварка взрывом представляет собой метод сварки давлением, при котором соединение материалов происходит за счет энергии взрыва. Для осуществления данного процесса производят установку исходных материалов (рис.1). Снизу располагают неподвижную пластину, а над ней параллельно или под некоторым углом метаемую пластину, на которой размещают взрывчатое вещество и детонатор. Инициирование порождает взрыв, который сообщает метаемой пластине большую скорость, в результате чего происходит соударение пластин, приводящее к формированию сварного шва [1]. Схватыванию материалов способствует их пластическое течение в зоне контакта, вызванное высокими давлениями [2].

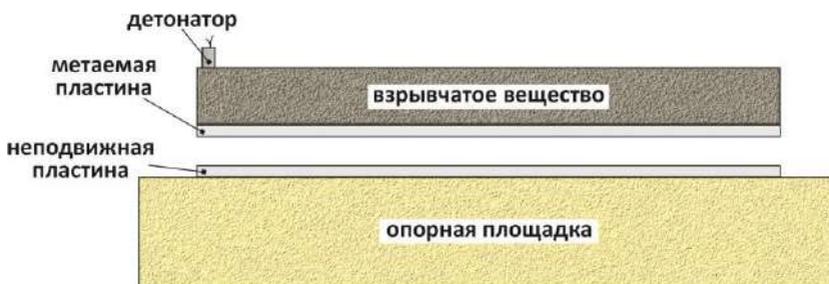


Рис.1 – Схема процесса сварки взрывом

Сварка взрывом является относительно новым и малоизученным процессом. Она позволяет соединять разнообразные материалы, которые трудно свариваются другими методами сварки [3]. Также стоит отметить, что данный процесс является быстротечным и оценить протекающие процессы при формировании соединения затруднительно, поэтому для оценки поведения свариваемых материалов используются методы моделирования.

В данной работе в качестве метода моделирования был выбран метод гидродинамики сглаженных частиц (smoothed-particle hydrodynamics / SPH), поскольку он значительно упрощает моделирование процессов, сопровождающихся высокими значениями деформаций [4]. Для оценки поведения свариваемых пластин была использована среда Ansys Autodyn, модель разрушения Джонсона-Кука и модифицированное уравнение состояния Ми-Грюнайзена. Моделирование производилось в диапазоне углов соударения (5...40) ° с шагом в 5 °, при скорости точки контакта (500...10100) м/с с шагом в 800 м/с. Размер частиц составлял 0,06 мм.

На основании полученных результатов моделирования было построено окно свариваемости для Ti-Al (рис.2), отражающее возможные исходы процесса сварки взрывом. Данный процесс может не приводить к формированию соединения в данной паре металлов или же сопровождаться получением соединений с прямой и волнообразной границей раздела. Следует отметить, что о наличии сварки между материалами свидетельствует образование кумулятивной струи.

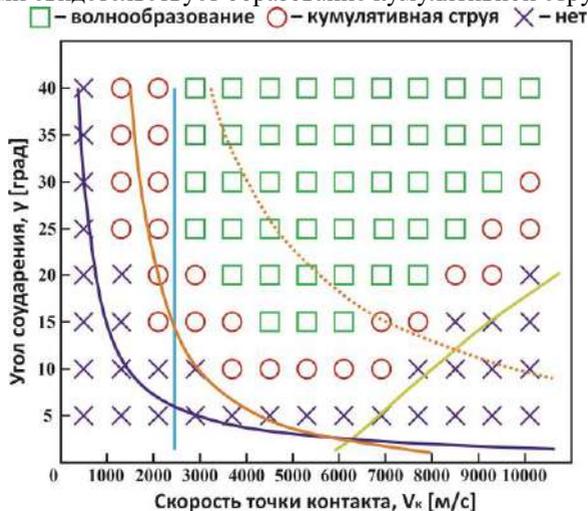


Рис.2 – Окно свариваемости системы Ti-Al

Границы области окна свариваемости были построены по известным закономерностям [5-9]. На рисунке 2 синим цветом изображена нижняя граница окна свариваемости, голубым – левый предел, обозначающий начало волнообразования, оранжевым изображены два верхних предела, полученные по различным закономерностям (сплошная линия – по Витману, пунктирная – по Захаренко и Ефремову), желтым цветом показана правая граница, связанная с критическим углом и скоростью соударения, при превышении которых струя перестает образовываться в точке контакта свариваемых пластин. Таким образом, оптимальные режимы получения соединений будут находиться между расчетными границами окна свариваемости. Однако следует отметить, что левый предел обозначает критическую скорость, при которой начинается образование волн и он не является указателем оптимальных режимов, т.е. правее данной границы возможно получить качественные соединения с прямолинейным профилем зоны соединения.

По результатам моделирования и проведенным расчетам можно заключить, что данные моделирования процесса сварки взрывом методом гидродинамики сглаженных частиц хорошо сопоставляются с расчетными значениями границ окна свариваемости. В совокупности это дает возможность определить оптимальные режимы сварки для системы Ti-Al.

Работа выполнена в соответствии с Федеральным заданием Министерства образования и науки Российской Федерации (проект FSUN-2020-0014 (2019-0931)): «Исследования метастабильных структур, формируемых на поверхностях и границах раздела материалов при экстремальном внешнем воздействии». Исследования проведены на оборудовании ЦКП Структура, механические и физические свойства материалов» НГТУ. (№ 13.ЦКП.21.0034, 075-15-2021-698).

Литература:

1. Blazynski T.Z. Explosive welding, forming and compaction. – Barking: Springer Science & Business Media, 2012. – 402 p.
2. Производство металлических слоистых композиционных материалов / А.Г. Кобелев, В.И. Лысак, В.Н. Чернышев, А.А. Быков, В.П. Востриков. – М.: Интернет Инжиниринг, 2002. – 496 с.
3. Akbari-Mousavi S.A.A., Barrett L.M., Al-Hassani S.T.S. Explosive welding of metal plates // Journal of materials processing technology. – 2008. – Vol. 202, N 1-3. – P. 224-239.
4. Метод гидродинамики сглаженных частиц / И.В. Абрамов, М.А. Алексеев, Д.О. Левченко, С.А. Моргунов // Известия Московского

государственного индустриального университета. – 2011. – Т. 24, № 4. – С. 2-11.

5. Zamani E., Liaghat G.H. Explosive welding of stainless steel-carbon steel coaxial pipes // Journal of materials science. – 2012. – Vol. 47, N 2. – P. 685-695.

6. Wittman R.H. The influence of collision parameters of the strength and microstructure of an explosion welded aluminium alloy // Proc. 2nd Int. Sym. on Use of an Explosive Energy in Manufacturing Metallic Materials. – 1973. – P. 153-168.

7. Efremov V.V., Zakharenko I.D. Determination of the upper limit to explosive welding // Combustion, Explosion and Shock Waves. – 1976. – Vol. 12, N 2. – P. 226-230.

8. Cowan G.R., Bergmann O.R., Holtzman A.H. Mechanism of bond zone wave formation in explosion-clad metals // Metallurgical and Materials Transactions. – 1971. – Vol. 2, N 11. – P. 3145-3155.

9. de Rosset W.S. Analysis of explosive bonding parameters // Materials and manufacturing processes. – 2006. – Vol. 21, N 6. – P. 634-638.

ИЗМЕНЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ СПЕКАНИЯ СТРУКТУРЫ АЛЮМОЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ, СОДЕРЖАЩЕЙ ГЕКСААЛЮМИНАТ СТРОНЦИЯ

К.А. Антропова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, antroпова.2017@corp.nstu.ru
Научный руководитель: Черкасова Н.Ю., к.т.н., м.н.с.**

В работе рассмотрено изменение структуры керамических материалов системы Al_2O_3 - ZrO_2 , содержащих $SrAl_{12}O_{19}$, спеченных при температурах 1300-1500 °С. Описаны изменения размеров зерен компонентов материала и причины, вызвавшие их. Зерна $SrAl_{12}O_{19}$ с увеличением температуры спекания увеличиваются в ширине в три раза, при повышенных температурах состоят из нескольких сросшихся блоков. Описаны причины их ориентированности радиально зернам Al_2O_3 вдоль плоскости (0001).

The paper considers the change in the structure of ceramic materials of the Al_2O_3 - ZrO_2 system containing $SrAl_{12}O_{19}$ after sintering at temperatures of 1300 - 1500 °C. Changes in the grain sizes of the material components and the causes of changes are described. Grains of $SrAl_{12}O_{19}$ are increased in width three times with an increase of temperature, and at elevated temperatures they consist of several fused blocks. The reasons for their orientation radially to Al_2O_3 grains, along the plane (0001), are described.

Изделия из алюмоциркониевой композиционной керамики распространены в различных отраслях промышленности. Несмотря на высокий уровень механических свойств материалов данной группы, повышение надежности, а именно уровня трещиностойкости, является актуальным. Особое внимание в этом вопросе уделено структурному подходу, который заключается в формировании гексаалюминатов щелочных и щелочноземельных металлов в структуре спеченных материалов [1]. Снижению температуры синтеза таких материалов посвящены многие исследования. Поэтому актуальным является детальное рассмотрение структурных изменений, происходящих при нагреве до различных температур, в алюмоциркониевой матрице, содержащей гексаалюминаты.

Исходные материалы представлены порошками Al_2O_3 (*Almatis CT 3000 SG*), $3Y-ZrO_2$ (*PSZ-5.5YS, Stanford Materials*) и $SrCO_3$. Формирование $SrAl_{12}O_{19}$ происходило *in situ*. Основные этапы подготовки экспериментальных образцов: диспергирование в водной среде, смешивание, гранулирование, сухое прессование. В процессе подготовки вводили специальные добавки. Спекание с изотермической выдержкой в течение часа проводили в камерной печи в среде кислорода при температурах 1300, 1400 и 1500 °С.

Структуру образцов, некоторые микрофотографии которых приведены на рисунке 1, изучали с использованием растрового электронного микроскопа *Carl Zeiss Sigma*. С увеличением температуры спекания наблюдается увеличение количества контактов между зернами матрицы, их размера и степени округлости. Увеличение содержания $SrAl_{12}O_{19}$ сопровождается уменьшением размеров зерен Al_2O_3 , т.к. он расходуется на построение пластин, и увеличением зерен ZrO_2 , т.к. жесткости $SrAl_{12}O_{19}$ недостаточно для сдерживания роста. Наличие ZrO_2 в количестве 50 вес. % позволяет сдерживать рост пластин, благодаря уменьшению их контактов с зернами Al_2O_3 . Наблюдается наличие внутриверенной и межзеренной пористости. Зерна $SrAl_{12}O_{19}$ незначительно увеличиваются в длину, в то время как ширина изменяется от 0,1 до 0,3 мкм. В материалах, спеченных при 1500 °С, они состоят из 2-3 сросшихся пластин, отчетливо видна слоистость.

Сформированные зерна гексаалюмината стронция можно видеть в структуре материалов, спеченных при 1300 °С и выше. Кристалл $SrAl_{12}O_{19}$ ориентирован радиально зерну Al_2O_3 и глубоко врастает в него. Явление согласуется с литературными данными и соответствует направлению роста зерен гексаалюминатов вдоль плоскости (0001) [2, 3]. В данном направлении при высоких температурах контакт исходных материалов (Al_2O_3 и SrO) приводит процессам массопереноса и, как

следствие, к быстрому росту кристалла $SrAl_{12}O_{19}$. Быстрое изменение решетки вдоль (0001) частично ограничивает ориентацию зерна. Также такое направление роста можно объяснить анизотропией и уровнем поверхностной/межфазной энергии. Рост других зерен ограничивается геометрически, если они не ориентированы для быстрого роста. Аномальный рост $SrAl_{12}O_{19}$ сдерживается последующим распределением зерен матрицы, имеющих устойчивые геометрические параметры.

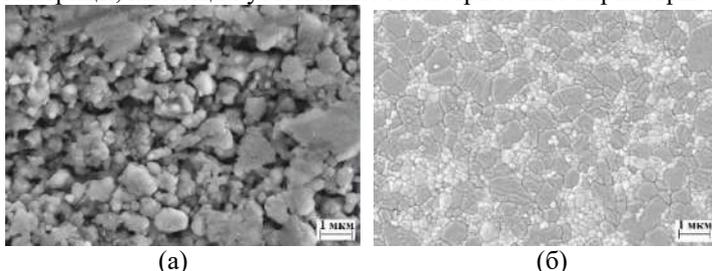


Рис.1 – Структура образцов (47 % Al_2O_3 , 3 % $SrAl_{12}O_{19}$, 50 % ZrO_2), спеченных при температуре 1300 °C (а) и 1500 °C (б)

Анализ дилатометрических кривых позволяет сделать обоснованный вывод, что при температурах 1300 и 1400 °C исследуемые материалы находятся на начальной и промежуточной стадиях спекания соответственно, а при 1500 °C – на конечной. Полное спекание характеризуется снижением пористости и ростом плотности материалов.

Таким образом, наблюдаемые структурные превращения согласуются с этапами спекания, установленными по результатам дилатометрических испытаний. Установлено, что $SrAl_{12}O_{19}$ можно наблюдать в структуре материала уже при температуре 1300 °C, что соответствует начальной стадии спекания. Длина пластин такого материала составляет 0,7-0,8 мкм, а ширина – 0,1 мкм. В материалах, спеченных при 1500 °C, длина кристаллов практически не изменяется, при этом ширина увеличивается до 0,3 мкм; они состоят из 2-3 сросшихся пластин. Рост зерен направлен вдоль плоскости (0001), что может быть объяснено анизотропией и уровнем поверхностной/межфазной энергии, а также особенностями кристаллической решетки гексаалюминатов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00306, <https://rscf.ru/project/21-79-00306/>. Исследования проведены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов» НГТУ.

Литература:

1. Керамические композиты системы диоксида циркония и оксида алюминия, включающие гексаалюминат стронция / Л.И. Подзорова, А.А.

Ильичева, В.П. Сиротинкин, О.С. Антонова, А.С. Баикин, В.Е. Кутузова, О.И. Пенькова // Стекло и керамика. – 2021. – №. 6. – С. 22-28.

2. Cinibulk M.K. Hexaluminates as a cleavable fiber–matrix interphase: synthesis, texture development, and phase compatibility // Journal of the European Ceramic Society. – 2000. – N 20. – P. 569-582.

3. Hexa-Aluminat Mischkristallphasen in spinellhaltigen Feuerbetonen - Mineralogische Untersuchungen im System CaO-Al₂O₃-MgO / A. Spies, M. Bauer, S. Klaus, A. Buhr, M. Göbbels // Keramische Zeitschrift – 2020. – Vol. 6, iss. 4-5. – P. 34-41.

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ПНЕВМОДРОБЕСТРУЙНОГО УПРОЧНЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА

Р.М. Ахтамьянов

**Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королева, г. Самара, arm102bash@yandex.ru
Научный руководитель: Букатый А.С., д.т.н.**

В настоящее время остро стоит вопрос повышения ресурса авиационных деталей. Одним из методов повышения ресурса является поверхностное пластическое деформирование. В статье проведен анализ процесса пневмодробеструйного упрочнения согласно международным стандартам. Описано оборудование для контроля качества процесса упрочнения, а также современные требования к инструменту и системе оснащения, обеспечивающей необходимый и достаточный уровень качества. Описаны возможные режимы обработки, методы контроля, технологическая оснастка и сделаны выводы.

Nowadays there is much concern about aircraft component life improvement. Surface plastic deformation is one of the methods of life improvement. This article deals with the analysis of the surface shot peening in accordance with international standards. It describes equipment used for quality control of peening process, and also current requirements to the tools and the system ensuring the necessary and sufficient quality level. The article describes possible processing modes, control methods and tooling, and draws conclusions.

Несмотря на широкое распространение пневмодробеструйного упрочнения, и наличие большого опыта результаты технологической операции могут быть нестабильны. Так как технология пневмодробеструйного упрочнения является спецпроцессом (процессом результаты которого нельзя оценить прямым методом), значительное влияние имеет квалификация специалиста, проводящего упрочнение

деталей, а также стабильность работы оборудования и его отдельных систем. Таких как система подготовки воздуха, системы регулирования расхода дробы, системы подачи дробы, жесткости оборудования, устойчивости к износу инструмента и системы рекуперации дробы. При подаче сжатого воздуха система должна обеспечить защиту от попадания масла воды и других загрязнений. Система должна иметь устройство обеспечения сортировки всего объема дробы по размеру и исключения попадания сломанной дробы и пыли. Возврат дробы надлежащего размера с гарантией качества не менее 80%. При обработке используется типоразмер дробы фракцией 0,5-0,85 мм, аналог S230 [1] по стандарту ASTM E11-04. Максимальная шероховатость упрочненной дробью поверхности должна быть не выше Ra=3,2 мкм [1]. Диапазоны возможных технологических режимов упрочнения приведены в таблице.

Таблица-Технологические режимы ПДУ

Давление воздуха атм.	Расход дробы, кг/сек	Расстояние от среза сопла до детали, мм	Положение сопла, °	Интенсивность упрочнения для титановых сплавов, мм
2-4	8-11	100-200	70°-90°	0,2-0,3

Качество выполненной операции процесса упрочнения выполняется в несколько этапов. Первый этап -визуальный контроль. При визуальном контроле проверяется отсутствие вкраплений дробы, отсутствие парезов, вызванных отломившимися частичками и отсутствие механического повреждения. На следующем этапе проводится контроль режимов обработки записанных в персональный компьютер. Режимы упрочнения должны соответствовать режимам, подобранным на этапе отладки и записанных в технологический процесс. Третьим этапом проверяются контрольные образцы - пластины Almen. Контроль осуществляется путем замера прогиба пластины специальным прибором, показанным на Рисунках 1-3. Прибор и пластины должны соответствовать стандарту SAE J442 [1]. Пластины изготавливаются из стали 30ХГСА с пределом прочности 120+/-10 кгс/мм², или 30ХГСНА с пределом прочности 170+/-10 кгс/мм².

Для обеспечения требований PCS-2300 по контролю интенсивности прогиба пластин Almen необходимо использовать прибор типа TSP-3 с обеспечением считывания до 0,0254 мм или 0,001 дюйма.

Основной особенностью деталей семейства «Кронштейн» является схема базирования по двум отверстиям и базовой плоскости. Для снижения подготовительно-заключительного времени, спроектирована оснастка, позволяющая обработать деталь за два установка. Предлагаемая

оснастка обеспечивает базирование и закрепление детали по двум отверстиям [2], обеспечивая доступность сопла ко всем обрабатываемым поверхностям под углом не менее 70° . При базировании детали за отверстия, используется специальное приспособление, показанное на Рисунке 4. Цанговый палец, спроектированный таким образом, что все резьбовые соединения защищены от дроби, обеспечивая возможность многократного использования оснастки. Цанговый палец увеличивает доступность поверхностей детали для рабочего инструмента при обработке и контроле, сокращает объем материала используемую на оснастку по сравнению с классическим закреплением детали. Конструкция устанавливается на плиту, имеет сверху винт с конусным сечением, установка идет на цилиндрическую натяжную втулку, при вращении винта по часовой стрелки, цанговый палец разжимается, закрепляя деталь.



Рис.1- Современные приборы TSP-3 по стандарту SAE J442



Рис. 2 - Позиция 1 индикатор на 0 мм



Рис. 3 - Позиция 2 индикатор на 2,5 мм

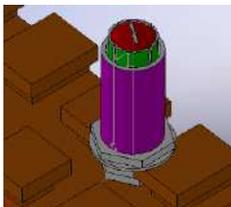


Рис. - 4 Система крепления деталей типа «Кронштейн».

В заключении можно сделать вывод, что качество процесса упрочнения зависит не только от правильно подобранных режимов, но и от применяемой оснастки и правильно подобранных систем для контроля технологических параметров. Недостатками ПДУ являются высокие локальные мгновенные температуры (600-750 0С), приводящие к созданию значительного подслоного максимума сжимающих остаточных напряжений, увеличение шероховатости поверхности деталей, ускоренный износ сопел, дроби и деталей камеры, наличие металлической пыли [3].

Литература:

1. PCS-230 с.2-17
2. Станочные приспособления в 2-х томах / под ред. Б.Н. Вардашкин, А.А. Шатилова. – 1984. – 592с.
3. Справочник технолога-машиностроителя Т.2/ Под ред. А.М. Дульского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой. – 5-е изд., перераб. И доп. – М.: Машиностроение-1. – 2001 г. – 944 с. 481-521

СОЗДАНИЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТА С ЛОКАЛЬНОЙ ДОСТАВКОЙ ЛЕКАРСТВ

В.Т. Бадретдинова, Т.А. Серых
Университет ИТМО, Санкт-Петербург,
badretdinova@infochemistry.ru

Научный руководитель: Уласевич С.А., к.х.н., доцент

В работе представлен способ получения гидроксиапатита с локальной доставкой антибиотиков и исследование бактерицидного действия антибиотиков на микроорганизмы. Данный метод эффективен при лечении заболеваний инфекций костной ткани и не оказывает системного токсического действия при высоких концентрациях лекарственных средств.

The paper presents a method for producing hydroxyapatite with local delivery of antibiotics and a study of the bactericidal action of antibiotics on microorganisms. This method is effective in the treatment of diseases of bone tissue infections and does not have a systemic toxic effect at high drug concentrations.

Ежегодно миллионы людей нуждаются в процедурах восстановления костных дефектов, вызванных болезнями, травмами и различными дефектами. В частности, остеомиелит, вызванный такими бактериями, как *S. aureus* и *E. coli*, остается одной из самых сложных проблем в

области регенерации костей, так как для систематического клинического лечения антибиотиками требуется 4–6 недель. Местная доставка лекарственных средств считается успешным подходом к лечению остеомиелита, и имплантаты, с загруженными лекарствами, являются весьма предпочтительными [1].

Биокерамические вещества, такие как кальций-фосфатный цемент, гидроксиапатит, трикальцийфосфат и биоактивное стекло используются для тканевой инженерии и доставки лекарств. В частности, биостекло, нанокристаллический гидроксиапатит и их композиты были разработаны за последнее десятилетие для биомедицинских приложений. Синтетический гидроксиапатит является одним из наиболее широко исследуемых материалов для биологических применений, таких как регенерация костей, тканевая инженерия, стоматология, местная доставка лекарств. Гидроксиапатит считается идеальным материалом для лечения костных тканей из-за его высокой поверхностной активности, хорошей биосовместимости, способности адсорбировать различные химические вещества и osteoconductive [2].

Гентамицин широко используется в качестве антибиотика для предотвращения инфекций, связанных с костным имплантатом, из-за его низкой стоимости, широкого спектра антибактериального действия и хорошей стабильности. Гентамицин является одним из термостойких антибиотиков, которые остаются активными даже после автоклавирования. Гентамицин используют во время ортопедических операций, когда требуются высокие температуры. Более 60% случаев хронического остеомиелита были вызваны *S. aureus*, чувствительным к гентамицину. Тетрациклин как антибиотик широкого спектра действия оказывает бактериостатическое действие за счет подавления синтеза белка возбудителей.

В данном исследовании мы создали новую кальций-фосфатную систему и оценили антибактериальную активность гидроксиапатита, загруженного гентамицином и тетрациклином.

В качестве исходных реагентов использовали агар, гидрофосфат натрия, хлорид кальция, а также антибиотики – тетрациклин и гентамицин. Антибиотики добавляли в диапазоне концентраций 0,1 – 0,00001 мг/мл. В результате реакции получили кольца Лизеганга. Далее на образцы был проведен посев на золотистый стафилококк (*Staphylococcus aureus*), для оценки антибактериальной активности системы. Через два дня образцы с бактериями были окрашены метиловым фиолетовым (метод Грама).

В результате было получено, что на образцах, на которых в прошлых исследованиях наблюдался рост клеток C2C12 более одной недели,

антибиотики оказывают бактерицидное действие в концентрациях: тетрацилин 0,01 мг/мл, гентамицин 0,001 мг/мл. Следовательно, данную систему можно в дальнейшем рекомендовать для использования в качестве покрытий на имплантаты в регенеративной медицине.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ номер 19-79-10244.

Литература:

1. Dorozhkin S. V. Biological and medical significance of calcium phosphates // *Angew. Chem. Int.* – 2002. – V. 41. – P. 3130–3146.

2. Habraken W. Calcium phosphates in biomedical applications: materials for the future // *Mater. Today.* – 2016. – V. 19. – P. 69–87.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ ШТАМПОВОК ИЗ СПЛАВА АК6

И.В. Кривопапов¹, Я.А. Ерисов², А.П. Батури^{1,2}

**¹АО «Арконик СМЗ» (Самарский металлургический завод),
г. Самара, Alexey.Baturin89@gmail.com**

**²Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королёва, г. Самара**

Научный руководитель: Ерисов Я.А., д.т.н., профессор

В статье приведены результаты проведенного исследования целью которого являлась оптимизация технологии изготовления крупногабаритных штамповок с высокими и тонкими продольными и поперечными ребрами из алюминиевого сплава АК6. Исследовались влияние параметров термообработки на геометрию штамповок методом моделирования в программном комплексе QForm VX.

The article presents the results of the study, the purpose of which was to optimize the technology of manufacturing large-sized forgings with high and thin longitudinal and transverse ribs from the AK6 aluminum alloy. The influence of heat treatment parameters on the geometry of forgings was investigated by modeling in the QForm VX software package.

Влияние напряжений на конечную геометрию штампованных полуфабрикатов и их коробление допустимо лишь в малых пределах. В некоторых случаях при превышении допустимых искажений формы штамповка бракуется в связи с невозможностью проведения правки из-за сложной геометрии. Поэтому исследование причин отклонений формы штамповок, является актуальной задачей, позволяющей

усовершенствовать технологию штамповки и исключить или минимизировать влияние напряжений на геометрию конечного продукта [1].

В работе приведен опыт моделирования охлаждения штамповок из алюминиевого сплава АК6 в программном комплексе QForm VX с целью определения влияния параметров термообработки на их геометрию.

Длина штамповок составляет порядка 1400 мм, ширина 320 мм, высота ребер 70 мм, а их толщина 15мм.

Сплав АК6 является ковочным и относится к системе Al-Mg-Si-Cu, обладает хорошей пластичностью и стойкостью к образованию трещин при горячей пластической деформации.

Базовая технология изготовления исследуемых штамповок включает 36 операций. В качестве заготовки используется прессованный пруток круглого сечения диаметром 160 мм. После резки на мерные длины заготовки нагреваются в газовой конвейерной печи, куют плоскими бойками на гидравлическом прессе, придавая форму досок заданного размера. Далее проводится повторный нагрев и в горячем состоянии производится первая объемная штамповка в специальных заготовительных штампах на вертикальном гидравлическом прессе. После остывания штамповок обрезается облой, травится поверхность и зачищаются дефекты, которые могли образоваться при штамповке. Процесс штамповки, обрезки облоя, травления и зачистки повторяются еще два раза с использованием предварительного и окончательного штампов. После придания штамповкам необходимой геометрии, и их визуального контроля, проводится закалка в воду. Штамповки нагреваются в специальной закалочной печи с вертикальным механизмом опускания садки в ванную. В базовой технологии температура воды 10 – 40°C и штамповки на закалку укладываются в специальные корзины в горизонтальном положении на продольное ребро.

Данный тип штамповок имеет склонность к различным видам коробления, таким как скрутка, неплоскостность, саблевидность и отклонение линейных размеров. Основной причиной коробления являются внутренние напряжения, образующиеся в процессе быстрого и неравномерного остывания в закалочной среде.

В работе выделены следующие основные параметры, теоретически влияющие на коробление штамповок: метод укладки штамповок на закалку, отсутствие – наличие ложных ребер, температура воды при закалке.

Для определения значимости каждого из перечисленных параметров было проведено моделирование процесса закалки (быстрого охлаждения)

в QForm VX с различными параметрами: горизонтальная/вертикальная укладка и подвеска, закалка с ложными ребрами и без, температура закалочной среды 40°C и 80°C. Вариации параметров закалки при моделировании указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Вариации параметров закалки штамповок при моделировании

№ штамповки	1	2	3	4
Ложные ребра	нет	нет	есть	нет
Температура воды, °С	40	40	40	80
Расположение штамповки	горизонтальное	вертикальное	горизонтальное	горизонтальное

По результатам работы установлена значимость выбранных параметров закалки на геометрию штамповки.

Теоретическим путем определены наилучшие параметры закалки данного типа штамповок – вертикальное погружение в воду с температурой 40°C без ложных ребер. В данном случае моделирование показало наименьшие значения изгиба штамповки (коробления) по разнице положительных и отрицательных перемещений объемов металла относительно заданной оси координат при остывании.

Работа является основанием для проведения эксперимента и дальнейшего исследования влияния заданных параметров закалки на геометрию штамповки. Полученные результаты моделирования позволяют лучше планировать экспериментальную часть исследования.

Литература:

1. Биргер И.А. Остаточные напряжения – М.: Машгиз, 1963. – 119с.
2. Абрамов В.В. Остаточные напряжения и деформации в металлах / М. : Машиностроение, 1963. – 355 с.
3. Бачурин А. С. Влияние закалки на остаточные деформации деталей летательных аппаратов из алюминиевых сплавов / А. С Бачурин. К. Н. Бобин, К. А. Матвеев, Н. В. Курлаев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. – 2013. – № 3 (49). – С. 119-123.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТОК НА МАРТЕНСИТНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИЮ МИКРОТРУБОК ИЗ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА Ti - 50,9 АТ. % Ni

С.М. Биттер^{1,2}, К.А. Жеронкина¹

¹ Томский государственный университет,

² Институт физики прочности и материаловедения,

г. Томск, s_bitter911996@mail.ru

Научный руководитель: Полетика Т.М., д.ф.-м.н., доцент

Проведено исследование влияния различных термообработок на температуры мартенситных превращений и механические характеристики образцов микротрубок из нанокристаллического сплава Ti- 50,9 ат.% Ni.

The study of the influence of various heat treatments on the temperatures of martensitic transformations and the mechanical characteristics of micropipe samples from the nanocrystalline Ti-50.9 at.% Ni alloy has been carried out.

Нанокристаллические (НК) сплавы на основе TiNi имеют повышенную функциональную стабильность, что позволяет их использовать в качестве материалов медицинского назначения [1]. Особенно привлекательными являются НК сплавы TiNi с избытком атомов Ni, подверженные старению с образованием когерентных частиц Ti₃Ni₄, присутствие которых существенно влияет на мартенситные превращения и механические свойства [1]. Основными требованиями при разработке технологии изготовления медицинских изделий и устройств из НК сплавов TiNi является предсказуемость механического поведения и сохранение «окна» сверхэластичности вблизи температуры человеческого тела. При этом «настройка» интервала мартенситных превращений и функциональных свойств осуществляется путем подбора режима старения НК сплава в процессе термических обработок.

В работе изучено влияние отжига в интервале температур 300°C÷500°C на изменение температур мартенситных превращений и механические характеристики стареющего НК сплава Ti–50,9 ат.% Ni. Использовали образцы, вырезанные из микротрубок (Vascotube GmbH) с внешним диаметром 2,34 мм и толщиной стенок 0,23 мм, предназначенных для изготовления внутрисосудистых стентов. В исходном состоянии сплав имел зеренно/субзеренную B2-аустенитную структуру, с остаточной плотностью дислокаций и средним размером структурных элементов 70 нм [2]. Образцы отжигали в соляной ванне при температурах 300°C, 400°C и 500°C с выдержкой 1ч. и последующей закалкой в воду. Температуры мартенситных превращений определяли по температурной зависимости электросопротивления. Диаграммы

«нагрузка-разгрузка» получали при растяжении трубчатых образцов со скоростью деформации $4 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ при комнатной температуре на испытательной машине LFM-125.

Критические температуры начала мартенситных превращений $B2 \rightarrow R$ (T_R), а также начало (M_S , A_S) и окончание (M_F , A_F) прямого (M_S , M_F) и обратного (A_S , A_F) мартенситного преобразования $R \rightarrow B19'$ приведены в таблице 1. Для всех исследованных образцов сплава наблюдается последовательность прямых и обратных мартенситных превращений $B2 \leftrightarrow R \leftrightarrow B19'$.

Таблица 1 - Критические температуры мартенситных превращений

Т отжига	$T_R, ^\circ\text{C}$	$M_S, ^\circ\text{C}$	$M_F, ^\circ\text{C}$	$A_S, ^\circ\text{C}$	$A_F, ^\circ\text{C}$
исходный	-6	-74	-140	-45	-26
300°C	22	-50	-134	-37	-14
400°C	33	-30	-115	-2	18
500°C	14	-25	-67	3	9

Установлено, что в исходном состоянии и после отжига при 300°C сплав демонстрирует сверхэластичное поведение (Рис. 1). После старения при 300°C критическое напряжение мартенситного сдвига составляет 230 МПа, общая неупругая деформация - 8,5%, а остаточная деформация менее 0,2%. Сверхэластичность сплава после низкотемпературного старения при 300°C обусловлена выделением в дислокационной структуре B2-матрицы когерентных частиц Ti_3Ni_4 размером менее 5 нм [2], способствующих блокировке дислокаций при деформировании и эффективному упрочнению B2-аустенита.

Отжиг при 400°C сопровождается интенсивным выделением в B2-матрице когерентных частиц Ti_3Ni_4 размером до 20 нм [2], что эффективно снижает концентрацию Ni в B2 аустените и увеличивает температуру $B2 \leftrightarrow R$ превращения T_R (Таблица 1). Деформация сплава при температуре вблизи A_F (Таблица 1) не обеспечивает формовосстановление образцов при разгрузке. Деформационная кривая (Рис. 1) демонстрирует эффект памяти формы и отличается низким уровнем критических напряжений мартенситного сдвига 150 МПа, величиной неупругой деформации 6,5% и остаточной деформацией 4,5%.

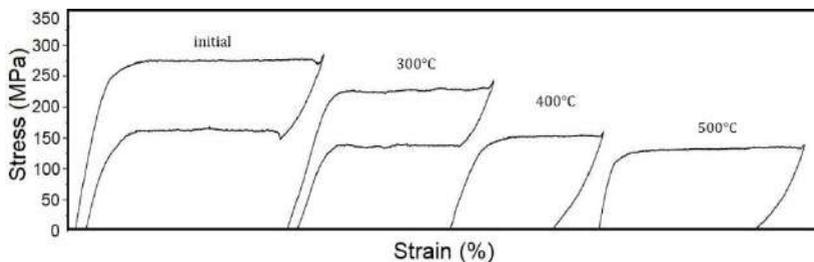


Рис.1 – Диаграммы «напряжение-разгрузка» для образцов в исходном состоянии и после отжига при 300,400 и 500°C

Отжиг при 500°C обеспечивает процесс рекристаллизации, при котором происходит рост среднего размера нанозерен, растворение фаз Ti_3Ni_4 или их коагуляция с образованием крупных частиц, что сопровождается разупрочнением В2-аустенита [2]. Диаграммы «напряжение-разгрузка» демонстрирует дальнейшее уменьшение степени формовосстановления материала, снижение уровня критических напряжений мартенситного сдвига до 135 МПа, рост суммарной неупругой деформации до 8,8% и остаточную деформацию 6,8% (Рис. 1).

Таким образом, с ростом температуры старения в интервале 300°C÷500°C происходит сдвиг температур мартенситных превращений и изменение механического поведения материала от сверхэластичности при низкотемпературном старении (300°C) к эффекту памяти формы при интенсивном выделении частиц при 400°C. Полученные результаты могут быть использованы при выборе режимов термообработок в технологии производства отечественных сосудистых стентов.

Литература:

1. K. Otsuka, X. Ren. Physical metallurgy of TiNi-based shape memory alloys // Prog. Mater. Sci. – 2005. – 50. – P. 511–678.
2. Poletika T.M., Girsova S.L., Lotkov A.I. Ti_3Ni_4 precipitation features in heat-treated grain/subgrain nanostructure in Ni-rich TiNi alloy//Intermetallics. – 2020. – V. 127. – P. 106966.

ПОДАВЛЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ АНТИФАЗНЫХ ГРАНИЦ В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ GaP/Si

Д.Б. Богомол^{1,2}, М.О. Петрушков², В.В. Преображенский²,
¹Новосибирский государственный технический университет,
²Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова
Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Новосибирск, diman.bogomolow@gmail.com
Научный руководитель: Петрушков М.О. м.н.с.

Был предложен новый подход для подавления формирования антифазных границ (АФГ) в структуре GaP/Si, заключающийся в росте промежуточного слоя GaAs/Si. Полученные структуры были исследованы методом просвечивающей электронной микроскопией. Анализ результатов показал полное подавление формирования АФГ в GaP/GaAs/Si структуре, что демонстрирует эффективность предложенного метода.

A new approach was proposed for suppressing the antiphase boundaries (APBs) formation in the GaP / Si structure, which consists in the growth of an intermediate GaAs / Si layer. The resulting structures were investigated by transmission electron microscopy. An analysis of the results showed the complete suppression of the formation of APBs in the GaP / GaAs / Si structure, that demonstrates the effectiveness of the proposed method.

Монолитная интеграция пленок $A^{III}-B^V$ и подложек Si позволяет сочетать преимущества оптоэлектронных устройств на базе соединений $A^{III}-B^V$ с кремниевой технологией, что позволит повысить эффективность работы вычислительных систем за счет передачи данных по оптическому каналу[1]. Одним из перспективных материалов для интеграции $A^{III}-B^V/Si$ является GaP в связи с небольшим рассогласованием постоянных решеток (около 0.35%). Однако, несмотря на хорошее согласование параметров решётки материалов GaP и Si, при росте буферных слоев GaP/Si выявляются проблемы, связанные с переходом от неполярного материала к полярному. Нарушение порядка следования атомов в GaP из-за наличия моноатомных ступеней на поверхности Si приводит к формированию протяжённых дефектов – так называемых антифазных границ (АФГ). Антифазные границы негативно влияют на работу устройств. С одной стороны, они действуют как центры безызлучательной рекомбинации для носителей заряда, с другой стороны они могут быть макроскопически заряженными, создавая нежелательные электрические поля.

Традиционным методом борьбы с формированием АФГ является использование подложек Si, отклоненных от кристаллографической плоскости (001) на $4-6^\circ$ в направлении $[-110]$ [2]. При отжиге таких

подложек на поверхности формируется система двухатомных ступеней, что позволяет снизить плотность антифазных границ в растущем GaP слое. Необходимо отметить, что реальные подложки кремния всегда имеют несовершенства, такие как: отклонение от плоскостности, всевозможные дефекты поверхности, отклонение направления разориентации от азимута [-110]. В силу этих причин процесс формирования двухатомных ступеней на реальной вицинальной подложке кремния не может быть доведен до полного завершения. То есть подложка после процедуры объединения одноатомных ступеней всегда содержит области с террасами высотой в один атомный слой. Кроме того, возможно образование трехмерных островков GaP на начальных стадиях роста GaP/Si. Все это приводит к образованию АФГ в слоях GaP/Si. Для более эффективного подавления формирования АФГ нами предложен новый подход, заключающийся в росте промежуточного слоя GaAs/Si и последующем росте GaP на GaAs/Si.

Более низкая энергия связи атомов в GaAs, по сравнению с GaP, способствует эффективному образованию сплошной плёнки на начальных стадиях осаждения на Si и аннигиляции образовавшихся антифазных границ при росте слоёв GaAs/Si. Для проверки сделанных предположений были выращены гетероструктуры GaP/Si и GaP/GaAs/Si, в которых слои GaP формировались в идентичных условиях.

С целью повышения кристаллического совершенства промежуточный слой GaAs толщиной 600 нм был сформирован в три стадии: первые 200 нм выращивались при температуре 200°C, следующие 200 нм выращивались при 350°C, последние 200 нм GaAs выращивались при 580°C. Слой GaP толщиной 1130 нм был выращен в два этапа: первые 30 нм выращивались при температуре 230°C модифицированным методом эпитаксии с повышенной миграцией[3,4], последующие 1100 нм выращивались методом МЛЭ при температуре 580°C.

Полученные структуры были исследованы методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Анализ темнопольных ПЭМ изображений показал наличие АФГ в GaP/Si структуре и полное подавление формирования АФГ в GaP/GaAs/Si структуре. Таким образом, предложенный нами подход показал свою эффективность. Стоит отметить, что релаксация упругих деформаций в GaP/GaAs/Si структуре привела к появлению высокой плотности прорастающих дислокаций в приповерхностных слоях GaP, составляющей около 10^9 см^{-2} . Что сопоставимо с плотностью прорастающих дислокаций в GaP/Si структуре без промежуточного слоя GaAs.

В соответствии с результатами[5], наличие АФД может затруднять движение дислокаций. Поэтому в процессе роста снижение плотности пронизывающих дислокаций в структурах с АФГ будет протекать менее эффективно. Чем больше протяженность антифазных границ, тем выше будет плотность пронизывающих дислокаций в выращенной пленке. Таким образом, можно ожидать, что дальнейшее использование технологических приёмов, направленных на снижение плотности дислокаций, будет более эффективно в структурах GaP/GaAs/Si, свободных от АФГ, по сравнению со структурой GaP/Si с наличием АФГ.

Литература:

1. Single-chip microprocessor that communicates directly using light / Chen Sun, Mark T. Wade, Yunsup Lee, Jason S. Orcutt, Luca Alloatti, Michael S. Georgas, Andrew S. Waterman, Jeffrey M. Shainline, Rimas R. Avizienis, Sen Lin, Benjamin R. Moss, Rajesh Kumar, Fabio Pavanello, Amir H. Atabaki, Henry M. Cook, Albert J. Ou, Jonathan C. Leu, Yu-Hsin Chen, Krste Asanović, Rajeev J. Ram, Miloš A. Popović Vladimir M. Stojanović // Nature. – 2015. – Vol. 528, iss. 7583.– P. 534-538. – doi:10.1038/nature16454
2. Болховитянов Ю. Б., Пчеляков О. П. Эпитаксия GaAs на кремниевых подложках: современное состояние исследований и разработок // Успехи физических наук. – 2008. – Т. 178, №. 5. – С. 459-480.
3. Гетероструктуры с GaAs/GaP-квантовыми ямами, выращенные на Si-подложках / Д.С. Абрамкин, М.О. Петрушков, М.А. Путято, Б.Р. Семягин, Е.А. Емельянов, В.В. Преображенский, А.К. Гутаковский, Т.С. Шамирзаев // Физика и техника полупроводников. – 2019. – Т. 53, №. 9. – С. 1167-1171.
4. МЛЭ слоев GaP на вичинальных подложках Si (001) в условиях обогащения по III группе / Д.Б. Богомолов, М.О. Петрушков, М.А. Путято, Е.А. Емельянов, Д.С. Абрамкин, М.Ю. Есин, В.В. Преображенский, // Актуальные проблемы полупроводниковых наносистем: материалы школы молодых ученых. – Новосибирск, 2019. – С. 58-59.
5. Generation and annihilation of antiphase domain boundaries in GaAs on Si grown by molecular beam epitaxy / A. Georgakilas, J. Stoemenos, K. Tsagaraki, Ph. Komninou, N. Flevaris, P. Panayotatos, A. Christou // Journal of materials research. – 1993. – Vol. 8, iss.8. – P. 1908-1921. – doi: 10.1557/JMR.1993.1908

ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ ТЕРАГЕРЦОВАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

С.А. Бычкова^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт автоматики и электрометрии СО РАН,

г. Новосибирск, sonya.bychkova@mail.ru

Научный руководитель: Николаев Н.А., к.т.н.

В данной работе представлены результаты по разработке поляризационного метода исследования кристаллов в терагерцовом (ТГц) диапазоне. Относительно оптической области трудность в его реализации связана с отсутствием высококонтрастных поляризаторов ($>10^5$). Метод апробирован на исследовании поворота диэлектрических осей кристаллов LBO, BIBO и GUNP в ТГц диапазоне.

This paper presents the results on the development of a polarization method for studying crystals in the terahertz (THz) range. With respect to the optical region, the difficulty in its implementation is associated with the absence of high-contrast polarizers ($> 10^5$). The method was tested on the study of the rotation of the dielectric axes of LBO, BIBO, and GUNP crystals in the THz range.

Работа посвящена разработке поляризационного кристаллооптического метода исследования в ТГц диапазоне. Относительно оптической области трудность в его реализации связана с отсутствием высококонтрастных поляризаторов ($>10^5$) и использованием детектора напряженности оптического поля, а не интенсивности. В связи с чем, целью работы является исследование свойств используемых «неидеальных» терагерцовых поляризаторов в составе системы поляризационной спектроскопии и поиск способа их точной настройки и установки. На рисунке 1 показана схема экспериментальной установки для исследования положения поляризаторов.

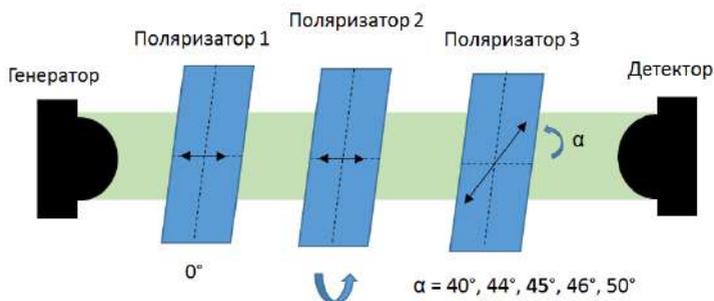


Рис.1 – Схема экспериментальной установки для исследования поворота поляризаторов

Генерация и регистрация перестраиваемого по частоте ТГц излучения осуществлялась с помощью узкополосного ТГц спектрометра, генерирующий и детектирующий горизонтально-поляризованное излучение. Изначально поляризаторы настроены по дифракции лазерного излучения на пропускание горизонтальной поляризации. Затем, поляризатор 3, устанавливался на углы $\alpha = 40^\circ, 44^\circ, 45^\circ, 46^\circ, 50^\circ$. И для каждого угла α проводились измерения по изменению амплитуды сигнала при вращении поляризатора 2. По полученной зависимости терагерцового сигнала от угла поворота поляризатора 2, установлено, что юстировка поляризаторов 2 и 3 в схеме спектрометра может быть осуществлена с субградусной точностью.

Для апробации предложенного метода выполнены исследования частотной зависимости поворота оптических осей кристаллов, имеющих разный тип сингонии (LBO, VBO и GUNP). С использованием ранее экспериментально измеренных свойств поляризаторов (коэффициенты пропускания для собственных поляризаций) и исследуемых кристаллов (показатели преломления и коэффициенты поглощения), с помощью формализм Мюллера [1], промоделировано изменение сигнала в зависимости от поворота скрещенных поляризаторов. Результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными измерениями.

В ходе исследования частотная дисперсия угла поворота главных оптических осей в кристаллах LBO и VBO не наблюдается с точностью до погрешности. Для кристалла GUNP в диапазоне от 300 до 850 ГГц обнаружена линейная дисперсия $2,3^\circ$ на 100 ГГц.

Литература:

1. Ищенко Е. Ф., Соколов А. Л. Поляризационная оптика. – М.: «Физматлит», 2012. – 456 с.

ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫЙ ЭФФЕКТ В КОМПОЗИТАХ НА ОСНОВЕ БИОСОВМЕСТИМОГО ХИТОЗАНА С МАЛОСЛОЙНЫМ ГРАФЕНОМ

Д.И. Гапич^{1,2}, А.С. Буинов³, Б.Ч. Холхоев³

¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск,

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
г. Новосибирск

³Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Удэ,
gapich.dmitry@mail.ru

Научный руководитель: Кузнецов В.А., к.т.н.

Бурное развитие гибкой электроники стимулирует создание новых функциональных электропроводящих материалов, удовлетворяющих новым требованиям. В работе сообщаются результаты исследования биосовместимого полимера хитозана с электропроводящей фазой. В качестве электропроводящей фазы был использован малослойный графен.

The rapid development of flexible electronics stimulates the creation of new materials that meet new requirements. The paper reports on studies of a biocompatible polymer of chitosan with an electrically conductive phase. Few-layered graphene was used as the conducting phase.

Полимеры в качестве сенсоров деформации привлекают все больше внимания со стороны исследователей и инженеров. Это связано с возможностью их использования в таких условиях, где классические материалы неприменимы.

В частности – в области развитых и повышенных деформаций, а также биомедицинских применений.

Одна из активно развивающихся областей – биомеханические исследования, к требованиям данной области можно отнести: биосовместимость, высокую прочность, а также отсутствие токсичности.

В настоящей работе представлено исследование тензорезистивных свойств композитов на основе хитозана с использованием стабилизирующих поверхностно-активных веществ (ПАВ) – поливинилпирролидона (ПВП) и PluronicF108 (ПЛУ) – с малослойным графеном (МСГ) в качестве электропроводящего наполнителя.

Использование поверхностно-активных веществ обусловлено особенностями синтеза, а именно: хитозан является гидрофильным веществом, и для введения в его матрицу гидрофобных частиц МСГ требуется использование веществ, способных вызвать снижение поверхностного натяжения.

Хитозан был использован коммерческий («Биопрогресс», Россия). Малослойный графен (МСГ) был получен в режиме термоудара интеркалированных соединений фторированного графита (лаборатория синтеза кластерных соединений и материалов Института неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, г. Новосибирск, Россия), как описано в [1,2]. Синтез полимерных пленок осуществлялся по методике, описанной в [3,4] (лаборатория химии полимеров, Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия).

Концентрация МСГ в композитах составляла от 2 до 5% (масс.).

Равномерность распределения наполнителя МСГ в матрице хитозана определяли путем измерения удельного электросопротивления в нескольких точках синтезированной пленки. Результаты показали, что удельное сопротивление в пределах погрешности одинаково.

В рамках работы был определен один из важнейших параметров тензорезистивного эффекта – коэффициент тензочувствительности, представляющий собой отношение относительного изменения электросопротивления образца ($\Delta R/R_{\epsilon(\min)}$, где $\Delta R_{\epsilon(\min)}$ – электросопротивление при минимальной деформации) к деформации ϵ , вызвавшей это изменение ΔR .

$$K = \frac{\Delta R}{R_{\epsilon(\min)} \epsilon} \quad (1)$$

Были исследованы образцы с различным содержанием проводящей фазы и двумя видами ПАВ.

Для изучения тензорезистивного эффекта была использована установка с упругим элементом в виде балки равного сопротивления изгибу.

Особенностью данной установки является то, что в рамках одного эксперимента можно проводить исследования как в области положительных значений деформации, так и в области отрицательных значений в рамках одного эксперимента. В ходе экспериментов деформация образцов составляла от $-0,14\%$ до $+0,14\%$.

Образцы композитов представляли собой тонкие пленки следующей геометрии: толщина около 70 мкм, ширина 1 мм и длина 7 мм.

Размеры образцов выбирались из соображений как можно большего соотношения длины образца к ширине для равномерного распределения деформации по образцу, а также с учетом распределения деформации поверхности балки, а также величины измеряемого электросопротивления.

Для электрической изоляции балка равного сопротивления изгиба покрывалась слоем клея ВС10-Т, используемого в тензометрии. Температурная обработка лака осуществлялась по стандартной методике.

Полоски полимера крепились на балке с помощью клея на основе цианакрилата по стандартной методике, применяемой для металлических приклеиваемых тензорезисторов.

Измерения электросопротивления производились с помощью четырехконтактного метода. Электрические контакты были выполнены с помощью серебряной пасты.

В ходе измерений балка с образцом нагружалась так, что в течении 10 мин образец попеременно подвергался сжатию и растяжению. Результаты представлены на рис. 1 для композитов с использованием ПЛУ и рис. 2 для композитов с ПВП.

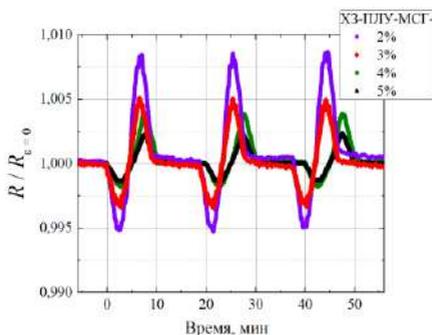


Рис.1 – Относительное изменение электросопротивления композитов на основе хитозана с ПЛУ и частицами МСГ в течение трех циклов измерений

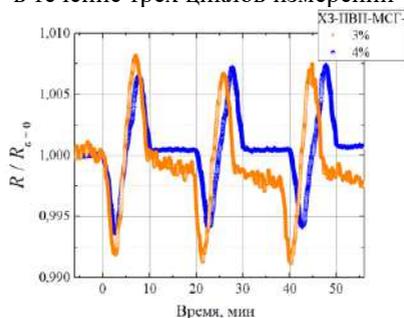


Рис.2 – Относительное изменение электросопротивления композитов на основе хитозана с ПВП и частицами МСГ в течение трех циклов измерений

Из полученных зависимостей видно, что амплитуда изменения электросопротивления тем выше, чем ниже содержание МСГ.

Удельное электросопротивление и коэффициент тензочувствительности для всех исследованных композитов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики композитов на основе хитозана

Содержание МСГ % (масс.)	ПАВ	Удельное электросопротивление, Ом·см	Коэффициент тензочувствительности
4	ПВП	2000	4,7
3	ПВП	130 000	5,7
5	ПЛУ	1,6	1,3
4	ПЛУ	6	2,0
3	ПЛУ	20	2,8
2	ПЛУ	550	4,7

Природа изменения электрического сопротивления при деформации, скорее всего, связана с изменением электрического сопротивления зазоров между частицами МСГ. Чем выше концентрация частиц МСГ, тем больше площадь контакта между частицами МСГ в путях протекания тока через образец. Деформация приводит к изменению площади зазоров, и, поскольку частицы МСГ плоские, следует ожидать, что относительное изменение площади при одной и той же деформации образцов будет меньше при более высокой концентрации МСГ.

Литература:

1. Makotchenko V. G. The synthesis and properties of highly exfoliated graphites from fluorinated graphite intercalation compounds / V. G. Makotchenko, E. D. Grayfer, A. S. Nazarov, S.-J. Kim, V. E. Fedorov // Carbon. – V. 49, №. 10. – P. 3233-3241. – 2011.

2. Kholkhoev B. Ch. Electrically Conductive Composites Based on Chitosan and Graphene Stabilized by Pluronic F-108 / B. Ch. Kholkhoev, A. S. Buinov, S. A. Bal'zhinov, V. G. Makotchenko, V. E. Fedorov, N. A. Aksenova, M. N. Kozlova, A. B. Solov'eva, P. S. Timashev, V. F. Burdukovskii // Polymer Science, Series A. – V. 60, №. 5. – P. 678-682. – 2018.

3. Kholkhoev B. Ch. Conductive composites based on chitosan and polyvinylpyrrolidone-stabilized graphene / B. Ch. Kholkhoev, A. S. Buinov, S. A. Bal'zhinov, I. A. Farion, V. G. Makotchenko, V. E. Fedorov, M. N. Kozlova, P. S. Timashev, V. F. Burdukovskii, and R. K. Chailakhyan // Polymer Science, Series A. – V. 59, №. 2. – P. 223-227. – 2017.

РОЛЬ НИЗКОМОДУЛЬНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ *h*-НИТРИДА БОРА МАТРИЦЕ ZrC ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ

А.Н. Грушковская¹, Ю.А. Мировой^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, ang18@tpu.ru

Научный руководитель: Буюкова^{1,2} С.П., д.т.н., профессор

Изучено влияние нитрида бора на структуру и свойства керамических гетеромодульных композитов ZrC/h-BN. Было показано, что при введении в ZrC нитрида бора менее 3 об. % сопровождается уменьшением пористости. Трещиностойкость для керамики из карбида циркония составила $K_{IC}=3,91 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, для композитов ZrC/h-BN с содержанием нитрида бора 10 объемных % $K_{IC}=4,62 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. Наименьшей вязкостью разрушения обладал композиционный материал ZrC/h-BN с содержанием нитрида бора 15 об.%, $K_{IC}=2,76 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

The effect of hexagonal boron nitride on the fine crystal structure parameters and mechanical properties of heteromodulus composites has been studied. It was shown that with a small content of boron nitride, the residual porosity in the heteromodulus composite is reduced, while the addition of more than 3 vol.% boron nitride, increases the residual porosity. In addition, increasing the carbon content of ZrC/h-BN composites increases the crack resistance of the sintered material. The fracture toughness for pure zirconia carbide was $K_{IC}=3.91 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, for the composition with 10 vol.% boron nitride $K_{IC}=4.62 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. The lowest fracture toughness had the composition with a content of boron nitride 15 vol.%, $K_{IC}= 2.76 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Модуль Юнга был рассчитан по правилу смеси. Значение коэффициента K_{IC} определяли по формуле «Ниихара-Морена» [1]. В таблице 1, отражены полученные значения коэффициента интенсивности напряжений для всей серии композитов с включениями гексагонального нитрида бора от 0 до 15 об. %.

Рентгеноструктурный анализ порошков проведен на дифрактометре с использованием монохроматического Cu-K α излучения при величине катодного напряжения 20 кВ; с интервалом измерений 30 - 120°, с шагом гониометра – 0,05° и временем экспозиции – 3 сек.

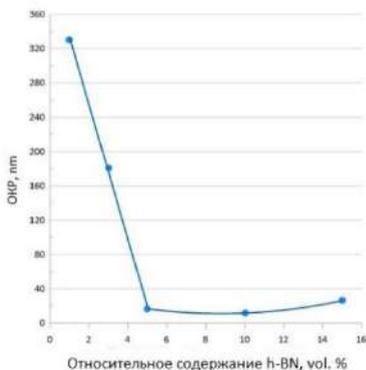
Расчет областей когерентного рассеяния (ОКР) производился по формуле Дебая-Шеррера по самому интенсивному пику (D – величина ОКР, λ – длина волны рентгеновского излучения, θ – угол Вульфа-Брэгга, β_s – интегральная ширина линии, если считать, что всё уширение

пика обусловлено размерами ОКР, k – коэффициент, зависящий от формы кристаллита. Коэффициент k в зависимости от формы частиц может принимать различные значения. Например, для сферических частиц k обычно принимают равным 0,9 [2].

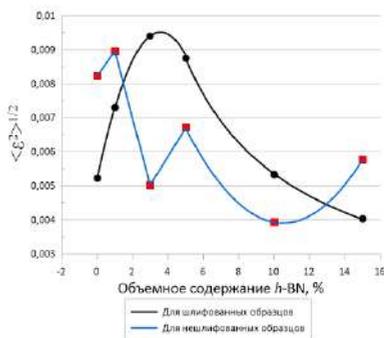
Таблица 1 – Коэффициент интенсивности напряжений с различным содержанием h -BN

Содержание BN в исходной смеси, %	Значения коэффициента K_{IC} , $МПа \cdot м^{1/2}$
0	3,910884
1	3,761083
3	3,076245
10	4,621628
15	2,763361

Основываясь на полученных таким образом результатах (рисунок 1а), можно отметить, что увеличение объемного содержания нитрида бора от 0 до 5% привело к резкому снижению значения размеров областей когерентного рассеяния рентгеновских лучей, однако дальнейшее увеличение содержания от 5% до 15% привело к незначительному росту ОКР. Можно предположить, что падение на первом участке может быть связано не с изменением размеров ОКР, а с появлением концентрационной неоднородности порошков.



а)



б)

Рис.1 – а) Зависимость ОКР образца от содержания h -BN, б) Зависимость микродисторсии в образцах от содержания h -BN

На рисунке 1б приведены величины микродисторсии в шлифованных и нешлифованных образцах в зависимости от объемного содержания h-BN. Установлено, что при увеличении доли нитрида бора от 0 до 3% в шлифованных образцах происходит увеличение величины микродисторсии, при следующем за ним плавном уменьшении на участке от 3% до 15%. В обоих случаях, до и после шлифования образцов, наблюдается снижение показателей микроискажений, что обусловлено фактором восстановления решетки матрицы карбида циркония с увеличением содержания нитрида бора в композите ZrC-h-BN.

Сравнивая рентгенограммы всех образцов (рисунок 2) с содержанием нитрида бора от 0 до 15% с эталонами ZrC и BN из базы «International Centre for Diffraction Data», можно отметить появление различных пиков BN начиная с 3% с постепенным усилением последних, также стоит отметить относительно интенсивный пик примерно на $2\Theta = 25$ град., возникающий в композите начиная с 5% содержания нитрида бора, но не относящийся ни к фазе ZrC, ни к фазе BN.

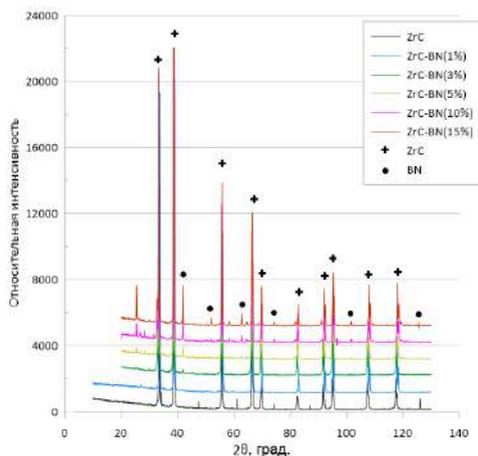


Рис.2 – Зависимость микродисторсии в образцах от содержания h-BN

Заключение

В рамках выполненной работы продемонстрированы параметры тонкой кристаллической структуры и механические характеристики гетеромодульных керамических материалов ZrC/h-BN. Методом горячего прессования получены композиты с содержанием гексагонального нитрида бора в диапазоне 0-15 об.%. Установлено, что увеличение содержания нитрида бора в составе композита приводит к

снижению значений областей когерентного рассеяния рентгеновских лучей. Увеличивается значение коэффициента интенсивности упругих напряжений до 4,62 МПа*м^{1/2} при содержании гексагонального нитрида бора 10 об.%, что говорит об увеличении вязкости разрушения в результате формирования границы раздела ZrC — h-BN.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0009.

Литература:

1. Niihara K., Morena R., Hasselman D.P.H. Evaluation of K_{Ic} of brittle solids by the indentation method with low crack-to-indent ratios // Journal of Materials Science Letters 1. – 1982. – P. 13–16.
2. Scherrer P. Bestimmung der Größe und der inneren Struktur von Kolloidteilchen mittels Röntgenstrahlen // Nachr. Ges. Wiss. Göttingen – 1918. – P. 98 – 100.

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОШАРОВ ОКСИКАРБИДА ТИТАНА В АТМОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА

А.А. Гумовская

Томский политехнический университет, г. Томск, aag109@tpu.ru

Научный руководитель: Пак А.Я., к.т.н.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований, посвященных исследованию микроразмерной фракции порошка на основе оксикарида титана. Материал был получен в атмосферной плазме дугового разряда постоянного тока. В качестве прекурсоров были взяты порошки диоксида титана и рентгеноаморфного углерода. В ходе проведения анализа на растровом электронном микроскопе, была определена морфология частиц: сферическая, их размер (порядка 10-100 мкм), также был проведен энергодисперсионный анализ, по которому было выявлено, что материал состоит из титана, кислорода и углерода. Данные рентгеновской дифрактометрии подтверждают наличие фазы оксикарида титана.

This work presents the results of experimental studies devoted to the study of the microsized fraction of a powder based on titanium oxycarbide. The material was obtained in atmospheric DC arc discharge plasma. Powders of titanium dioxide and X-ray amorphous carbon were taken as precursors. During the analysis on a scanning electron microscope, the morphology of the particles was determined: spherical, their size (about 10-100 microns), energy dispersive analysis was also carried out, according to which it was revealed that the material consists of titanium, oxygen and carbon. X-ray diffractometry data confirm the presence of the titanium oxycarbide phase.

Оксикарбид титана известен благодаря своим свойствам, он обладает высокой механической прочностью, отличной каталитической способностью, а также высокой электропроводимостью. Оксикарбид титана (TiC_xO_{1-x}) с гранецентрированной кубической (ГЦК) структурой считается является твердым раствором между карбидом и оксидом титана. Данный материал может быть получен различными методами, такими как карботермическое восстановление [1], реакционное искровое плазменное спекание (SPS), спекание без давления при высоких температурах, горячее прессование, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, механосинтез, магнетронное распыление. Также одним из известных методов является электродуговой синтез в атмосферной плазме дугового разряда постоянного тока. В настоящее время развивается безвакуумный электродуговой метод, отличающийся от аналогов повышенной энергоэффективностью и улучшенными массово-габаритными показателями используемых плазменных реакторов.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований, в ходе которых показана возможность синтеза оксикарбида титана в плазме дугового разряда тока, инициированного в открытой воздушной среде.

Исследования проведены на лабораторном электродуговом стенде, принцип работы которого изложен в статье, опубликованной ранее [2]. Основными элементами стенда являются графитовые электроды. На дно графитового катода, выполненного в форме тигля, засыпается смесь исходных порошков и затем на анод, выполненный в форме стержня, подается разность потенциала, в результате чего поджигается дуговой разряд постоянного тока. Сила тока разрядного контура ограничена мощностью используемого выпрямительно-инверторного преобразователя (до 200 А). Плазма дугового разряда нагревает исходное сырье, и происходит синтез в системе химических элементов «титан-углерод-кислород».

Микроразмерная фракция продукта синтеза была проанализирована на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 SBU с энергодисперсионным анализатором. На рисунке 1 представлены типичные снимки микроразмерных частиц шаровидной формы диспергированные по поверхности полимерного держателя материала на столике микроскопа.

Рассматриваемые шары характеризуются размерами от порядка от единиц микрометров до порядка 100 мкм. Некоторые сферы имеют сколы, в сколах видны трещины преимущественно в радиальном направлении. По данным энергодисперсионного анализа сферы состоят из титана, углерода и кислорода, соответственно, могут быть частицами

оксикарбида титана. По данным рентгеновской дифрактометрии можно идентифицировать кубическую структуру по характерному расположению дифракционных максимумов. Кроме того, в продуктах синтеза присутствует фаза графита и фаза оксида титана, являющегося исходным сырьем для синтеза.

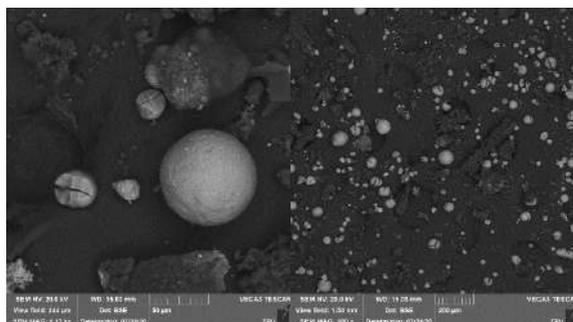


Рис.1 – Типичные результаты растровой электронной микроскопии продукта электродугового синтеза в системе с титаном, углеродом и кислородом

В настоящей работе представлены первые результаты в области получения оксикарбида титана в атмосферной плазме дугового разряда постоянного тока на оригинальном атмосферном плазменном электродуговом реакторе постоянного тока. Фаза оксикарбида титана характеризуется морфологией типа микросфер. При этом продукт синтеза загрязнен фазой графита и фазой оксида титана, являющегося исходным сырьем. В дальнейшем потребуются проведение оптимизационных мероприятий для управления фазовым составом, морфологией частиц, их средним размером.

Работа выполнена при поддержке программы Государственного задания ВУЗам (проект № FSWW-2020-0022).

Литература:

1. Jiang B. Experimental and first-principles study of Ti–C–O system: Interplay of thermodynamic and structural properties / B. Jiang, J. Xiao, K. Huang, J. Hou, S. Jiao, H. Zhu //Journal of the American Ceramic Society. – 2017. – V. 100. – №. 5. – P. 2253-2265.
2. Pak A. Y. Production of HfTaTiNbZrC5 High-Entropy Carbide Micropowder in the Plasma of an Atmospheric Pressure Arc Discharge / A. Y. Pak, P. S. Grinchuk, G. Y. Mamontov, T. Y. Yakich, A. A. Gumovskaya, //Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2021. – Т. 94. – №. 1. – С. 88-94.

ВЛИЯНИЕ ЕВРОПИЯ НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ИТРИЙ-АЛЮМИНИЕВОГО ГРАНАТА

Д.Е. Деулина, В.Д. Пайгин, А. Э. Илела

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, ded5@tpu.ru

Научный руководитель: Хасанов О.Л., д.т.н., профессор

Порошки иттрий алюминиевого граната, допированный европием ($Y_3Al_5O_{12}:Eu$) в различных концентрациях синтезирован методом обратного осаждения из водных растворов. Исследованы люминесцентные свойства полученных порошков. Влияние концентрации активатора на фотолюминесценцию обсуждается в работе.

Powders of Yttrium Aluminum Garnet doped with europium ($Y_3Al_5O_{12}:Eu$) were synthesized in various concentrations by reverse precipitation from aqueous solutions. The luminescent properties of the obtained powders are investigated. The effect of activator concentration on photoluminescence is discussed in the work.

В настоящее время иттрий-алюминиевый гранат ($Y_3Al_5O_{12}$, YAG) является одним из наиболее распространенных оптических материалов. Он применяется в лазерной технике и оптическом приборостроении. Материалы на основе YAG обладают высокими физико-механическими характеристиками, химической стабильностью, термостойкостью и оптическими свойствами.

Введение добавок (активаторов) – оксидов редкоземельных элементов в иттрий-алюминиевый гранат позволяет улучшить его оптико-люминесцентные характеристики [1]. Одним из наиболее эффективных активаторов является европий (Eu^{3+}) [2].

Порошки YAG: Eu^{3+} могут быть использованы для изготовления оптической керамики со свечением в инфракрасном диапазоне длин волн. Люминофоры YAG: Eu^{3+} широко используются в оптических дисплеях и системах освещения [1, 2], а также в флуоресцентной термометрии [3].

Целью данной работы является исследование влияния концентрации активатора (Eu) на люминесцентные свойства иттрий-алюминиевого граната.

Синтез порошков осуществляли методом обратного осаждения из водных растворов $Al(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$, $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ и $Eu(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ концентрацией 1 моль/л. Исходные компоненты смешивали в соотношении: $Al(NO_3)_3$ 62,5 мас.%, $Y(NO_3)_3$ 35,5-37,3 мас.%, $Eu(NO_3)_3$ 0,01-2 мас.%. Осаждение проводили в избытке аммиака, в результате чего

была получена водная суспензия, состоящая из смеси гидроксидов иттрия, алюминия и европия. Суспензию промывали дистиллированной водой, после чего способом фильтрации выделяли порошки, которые затем прокаливали на воздухе при температурах 1000 °С в течение 3 часов. В результате были получены порошки с содержанием активатора 0,01 до 2 мас. %.

Интегральную спектральную эффективность измеряли с использованием интегрирующей сферы и калиброванного спектрофотометра AvaSpec-ULS3648. Источником возбуждения служило излучение чипа с длиной волны 395,278 нм. Возбуждение образца осуществлялось на просвет.

На рисунке 1 представлены спектры возбуждения и пропускания порошков с концентрацией ионов Eu^{3+} от 0,01 до 2 мас. %. Из рисунка видно, что интенсивность излучения, в диапазоне длин волн 550-650 нм увеличивается, и достигает максимального значения 0,46 мкДж/см² при длине волны 590 нм.

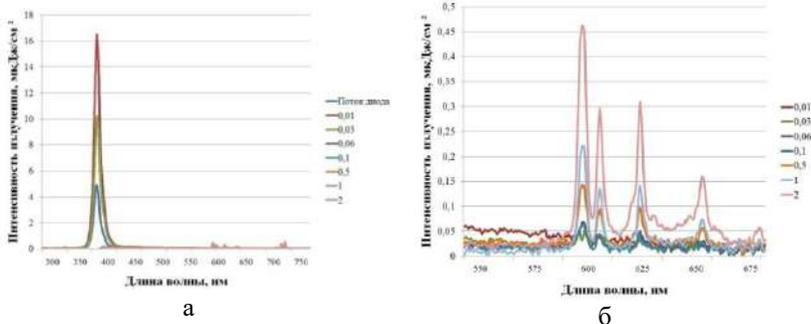


Рис.1 – Спектры а) возбуждения; б) пропускания для порошка иттрий-алюминиевого граната активированного ионами Eu^{3+}

Увеличение эффективности излучения наблюдается с увеличением концентрации редкоземельного элемента (от 0,88 % для концентрации 0,01 мас. % Eu^{3+} до 2,5 % для концентрации 2 мас. % Eu^{3+}). Однако, несмотря на положительную динамику изменения люминесценции, ее значения остаются сравнительно низкими (эффективность люминесценции 2,5 %), поэтому требуется проведение дополнительных оптимизационных экспериментов.

В данной работе проведен синтез порошка иттрий-алюминиевого граната, активированного ионами Eu^{3+} , исследовано влияние добавки редкоземельных элементов на люминесцентные свойства порошка. Экспериментальные данные показывают, что эффективность излучения растет с увеличением концентрации добавки.

Исследование выполнено на базе ЦКП Научно-образовательный инновационный центр «Наноматериалы и нанотехнологии» Национального исследовательского Томского политехнического университета. Авторы выражают благодарность к.ф.-м.н. Степанову С. А. за помощь в измерении и интерпретации спектров оптического излучения и их обработке.

Литература:

1. Mamontova D. V. Modified Pechini method for the synthesis of weakly-agglomerated nanocrystalline yttrium aluminum garnet (YAG) powders//Materials Chemistry and Physics. – 2016. – Vol. 10, N 12.
2. Tamuri A. R. Structural and optical properties of dysprosium and europium co-doped with yttrium aluminium garnet nanocrystalline powders prepared by combustion synthesis // Malaysian Journal of Analytical Sciences. – 2020. – Vol. 24, N 5. – P. 783–790.
3. Girish H. N. Synthesis of cubic yttrium aluminum garnet (YAG) powders by co-precipitation and twostep calcinations// Advances in Energy Science and Environment Engineering. – 2017. – Vol. 10, N 6.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ

С.В. Долгова

**Новосибирский государственный технический университет,
Институт теоретической и прикладной механики СО РАН,
г. Новосибирск, svetlanadolgova99@gmail.com**

Научный руководитель: Никулина А.А., д.т.н., Голышев А.А., к.т.н.

В работе анализировались единичные треки коррозионностойкой стали 316L, изготовленные технологией прямого лазерного выращивания, для определения возможности использования аналитического метода вычисления массы наплавленного слоя порошка. Для анализа использовали методику световой микроскопии. Полученные результаты сравнивали с массой порошка, полученной в ходе взвешивания подложки до и после нанесения.

To determine the effectiveness of the additive technology, it is necessary to define the mass of the deposited layer. However, this characteristic requires a lot of time and special equipment. As an alternative technology, in this paper the analytical method of the mass determination has been described by analyzing macrophotographs of cross-sections of samples obtained with an optical microscope. To determine the correctness of the calculation, the obtained values were compared with weighted samples.

На сегодняшний день методы аддитивных технологий широко используются для прямой послойной печати металлических деталей из металлического порошка. Это обусловлено тем, что данная технология позволяет производить изделия сложной формы без предварительной процедуры формообразования и использования дополнительной оснастки, что позволяет сократить затраты на производстве [0,0], а также повысить механические характеристики полученной детали, за счет уменьшения размера зерна и влияния тепловых потоков на поверхность выращивания [0-0].

За последние два десятилетия аустенитная коррозионностойкая сталь *316L* является одним из самых многообещающих материалов, которые обрабатывались с помощью процесса *Direct energy deposition (DED)* [0-0]. В процессе выращивания она продемонстрировала хорошие механические свойства, высокую стойкость к коррозии и технологичность, что делает данный сплав многообещающим для широкого использования в различных отраслях промышленности, от автомобильной до нефтехимической [0-0].

Огромное количество исследований в области аддитивных технологий посвящено оптимизации параметров наплавки и влияния аддитивных технологий на различные свойства материалов [0,0-0]. Но для использования данной технологии в многосерийном производстве необходимо оценить ее эффективность.

В основном, данная характеристика определяется с практической точки зрения – по оценке массы наплавленного порошка на предварительно взвешенную подложку. Однако такая технология требует более точного оборудования (т.е. высокоточных весов) и постоянных манипуляций – фиксирование значения наплавленного единичного трека, взвешивание и повторение процедуры. Поэтому целью данной работы будет сравнение аналитического метода определения массы порошка с основной технологией оценки эффективности, а также определение производительности технологии наплавки.

Для оценки эффективности аналитического способа измерения в качестве материала исследования использовали сферический металлический порошок стали *316L*, в качестве подложки пластину из стали *12X18H10T* с размерами *50x50x5* мм. Формирование единичных треков проводилось методом прямого лазерного осаждения (*Direct Metal Deposition - DMD*) на созданном в ИТПМ СО РАН оборудовании с использованием мощного волоконного лазера (3 кВт). Аргон использовался в качестве газа-носителя, а также в качестве защитной среды в процессе выращивания.

Для выполнения исследования образцы были подготовлены по стандартной процедуре: изготовление микрошлифа, шлифование и полирование поверхности. Фиксация размеров проводилась с использованием оптического микроскопа *Olympus LEXT OLS 3000*. Для сравнения полученных значений треки были также взвешены на весах *Pioneer PA64*.

Технология аналитической оценки массы единичного трека заключалась в определении объема наплавленного порошка по фотографиям поперечных сечений треков. Последовательность определения описана ниже:

- 1) по фотографиям поперечных сечений в графических редакторах необходимо точно описать поверхности единичного трека;
- 2) определить площадь поперечного сечения трека без учета глубины проплавления, так как в подложке в процессе взаимодействия тепла происходит диффузия элементов, которая не влияет на массу изделия – S ;
- 3) с учетом масштаба изображения в пересчете площади (S) учесть коэффициент;
- 4) при вычислении объема (V) наплавленного слоя измерить длину единичного трека – в нашем случае длина (l) составляла 35 мм. Вычисление объема производилось по формуле 1:

$$V = S * l; \quad (1)$$

- 5) вычислить массу наплавленного слоя вычисляется по формуле 2:

$$m = V * \rho, \quad (2)$$

где ρ – плотность стали *316L*, равная 7900 кг/м^3 [0].

В таблице 1 представлены аналитические значения масс единичных треков в зависимости от изменения различных параметров лазерной наплавки.

Анализируя полученные данные, можно прийти к выводу, что с повышением скорости сканирования и уменьшением частоты вращения диска масса наплавленного трека в процессе наращивания уменьшается. Повышение мощности сканирования и выноса фокуса увеличивает массу полученного слоя.

Как можно заметить, наибольшее влияние на изменение массы наплавленного порошка осуществляет расход порошка, поэтому в качестве подтверждения полученных данных было взвешено три трека с разными частотами вращения диска подачи порошка ($m_{\text{пр}}$). В таблице 2 представлены результаты сравнения двух методик расчета.

**Таблица 1 – Влияние изменения параметров наплавки
на массу единичного трека**

Р, Вт	ν ,	Частота	Вынос	S, мм ²	V, мм ³	m, г
1000	15	8 %	2,5	0,840	29,420	0,232
1000	25	8 %	2,5	0,500	17,505	0,138
1000	35	8 %	2,5	0,326	11,429	0,090
1250	15	8 %	2,5	0,989	34,637	0,273
1250	25	8 %	2,5	0,625	21,894	0,172
1250	35	8 %	2,5	0,402	14,080	0,111
1500	15	8 %	2,5	0,967	33,843	0,267
1500	25	8 %	2,5	0,557	19,527	0,154
1500	35	8 %	2,5	0,359	12,567	0,099
1250	25	4 %	2,5	0,247	8,667	0,068
1250	25	12 %	2,5	0,854	29,916	0,236
1250	25	4 %	4	0,321	11,269	0,089
1250	25	4 %	6	0,433	15,189	0,119

Таблица 2 – Сравнение методик расчета масс единичных треков

Р, Вт	ν , мм/с	Частота вращения диска	Вынос фокуса, мм	m_a , г	$m_{пр}$, г
1250	25	4 %	2,5	0,0684	0,0645
1250	25	8 %	2,5	0,1729	0,1516
1250	25	12 %	2,5	0,2363	0,2069

Исходя из полученных данных ошибка в аналитических расчетах составила около 6-14 % при меньшем и большем расходах соответственно, что говорит о том, что трек был неоднороден по всей своей длине, а значит, требуется более детальное рассмотрение влияния параметров оптимизации для получения качественной продукции. Для более точного определения массы трека разумнее использовать технологию взвешивания трека.

Литература:

1. Gadagi B. A review on advances in 3D metal printing / B. Gadagi, R. Lekurwale //Materials Today: Proceedings. – 2021. – V. 45. – P. 277-283.
2. Directed energy deposition (DED) additive manufacturing: Physical characteristics, defects, challenges and applications / Svetlizky D., Das M., Zheng B., Vyatskikh A. L., Bose S., Bandyopadhyay A., Eliaz N. //Materials Today. – 2021.

3. Hardened austenite steel with columnar sub-grain structure formed by laser melting / Saeidi K., Gao X., Zhong Y., Shen Z. J. //Materials Science and Engineering: A. – 2015. – V. 625. – P. 221-229.
4. 316L stainless steel mechanical and tribological behavior—A comparison between selective laser melting, hot pressing and conventional casting / Bartolomeu F., Buciumeanu M., Pinto E., Alves N., Carvalho O., Silva F. S., Miranda G. //Additive Manufacturing. – 2017. – V. 16. – P. 81-89.
5. Analysis of the process parameter influence in laser cladding of 316L stainless steel / Alvarez, P., Montealegre, M., Pulido-Jiménez, J. F., & Arrizubieta, J. I. //Journal of Manufacturing and Materials Processing. – 2018. – V. 2. – №. 3. – P. 55.
6. An investigation on the effect of deposition pattern on the microstructure, mechanical properties and residual stress of 316L produced by Directed Energy Deposition / Saboori, A., Piscopo, G., Lai, M., Salmi, A., & Biamino, S. //Materials Science and Engineering: A. – 2020. – V. 780. – P. 139179.
7. Pang J. H. L. Characterisation of porosity, density, and microstructure of directed energy deposited stainless steel AISI 316L / J. H. L. Pang, J. Kaminski, H. Pepin //Additive Manufacturing. – 2019. – V. 25. – P. 286-296.
8. Marbury F. H. Characterization of SLM printed 316L stainless steel and investigation of microlattice geometry. – 2017.
9. Fracture analysis in directed energy deposition (DED) manufactured 316L stainless steel using a phase-field approach / Azinpour, E., Darabi, R., de Sa, J. C., Santos, A., Hodek, J., Dzugan, J. //Finite Elements in Analysis and Design. – 2020. – V. 177. – P. 103417.
10. Wang J. Metal 3D printing via selective laser melting and direct metal deposition: materials, properties and applications / Wang, J., Liu, E., Tor, S. B., & Chua, C. K. //Pro. of the 2nd Intl. Conf. on Progress in Additive Manufacturing (Pro-AM 2016). – 2016. – P. 270-275.
11. Microstructure and wear properties of selective laser melting 316L / Huang, Y., Yang, S., Gu, J., Xiong, Q., Duan, C., Meng, X., & Fang, Y. //Materials Chemistry and Physics. – 2020. – V. 254. – P. 123487.
12. Analysis and prediction of single laser tracks geometrical characteristics in coaxial laser cladding process / El Cheikh, H., Courant, B., Branchu, S., Hascoët, J. Y., & Guillén, R. // Optics and Laser in Engineering. – 2012. V. 50. – № 3. – P. 413-422.
13. Effect of process parameters on the cladding track geometry fabricated by laser cladding/ Zhao, Y., Guan, C., Chen, L., Sun, J., & Yu, T. // Optik. – 2020. V. 223. – P. 165447.

14. Goodarzi D. M. Analysis of laser cladding process parameter influence on the clad bead geometry/ Goodarzi D. M., Pekkarinen J., Salminen A. //Welding in the World. – 2017. – V. 61. – №. 5. – P. 883-891.

15. AISI 316L / SS 316L сталь [Электронный ресурс] Европейская металлургическая компания URL: https://emk24.ru/wiki/astm_steels/stal_aisi_316l_4370993/ (дата обращения 10.09.21)

СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ NI-AL, ПОЛУЧЕННЫХ ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО- ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКОЙ

К.Д. Егошин, К.Ю. Мозгачева

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, babaun05@gmail.com**

Научный руководитель: Огнева Т.С., к.т.н., доцент

В данной работе были исследованы образцы покрытий алюминидов никеля. Методом рентгенофазового анализа было установлено их двухфазное строение: NiAl + α -Fe и Ni₃Al + α -Fe. Уровень микротвердости покрытия с интерметаллидом NiAl составил 350 HV, а с Ni₃Al – 500 HV. Установлено, что уровень износостойкости покрытия NiAl относительно исходного материала выше в 2 раза, а покрытия Ni₃Al – в 1,3 раза.

In this work, samples of nickel aluminide coatings were investigated. Their two-phase structure was established by X-ray phase analysis: NiAl + α -Fe and Ni₃Al + α -Fe. The microhardness level of the NiAl coating was 350 HV, and that of Ni₃Al was 500 HV. The level of wear resistance of the NiAl coating relative to the initial material was 2 times greater, and that for Ni₃Al coating was 1.3 times.

Одной из важных проблем в машиностроительной отрасли является выход из строя деталей в результате их изнашивания. В связи с этим материаловедение пытается решить этот вопрос разработкой новых износостойких материалов, которые защитят важные элементы конструкций.

Применение алюминидов никеля может быть оправданным в качестве материала покрытия, так как они характеризуются низкой плотностью, повышенным уровнем твердости и износостойкости [1]. За счет низкой плотности не будет сильно увеличиваться масса обрабатываемых деталей.

Объектом данного исследования являлись покрытия Ni-Al, нанесенные методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки.

Преимущества технологии покрытий заключается в уменьшении расхода обычно дорогих коррозионностойких материалов и возможности продления срока службы уже изготовленных и эксплуатирующихся деталей [2]. Метод вневакуумной электронно-лучевой наплавки обеспечивает толщину покрытий до 5 мм и характеризуется высокой производительностью [3]. Он заключается в воздействии мощного электронного пучка на наносимый материал и материал подложки, с последующим их расплавлением. Полученный расплав кристаллизуется и образует покрытие [4]. Схема данного процесса приведена на рисунке 1.

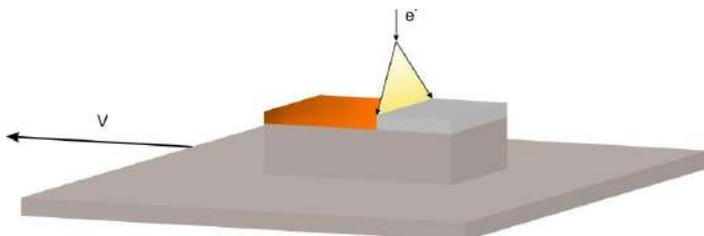


Рис.1 – Схема электронно-лучевой наплавки

Для данного исследования на базе ИЯФ СО РАН было подготовлено 2 образца: NiAl с исходным содержанием порошков металлов 50/50 ат. % и Ni₃Al с 75 ат. % Ni и 25 ат. % Al. Параметры наплавки приведены в таблице 1. Материалом основы являлась сталь 20.

Таблица 1 – Параметры наплавки

Образец	Плотность насыпки, г/см ²	Ток, мА	Скорость движения образца, мм/с	Плотность энергии, кДж/см ²
NiAl	0,8	32	15	5,97
Ni ₃ Al	0,45	31	20	4,34

С помощью метода рентгенофазового анализа было установлено, что покрытие образца NiAl состоит из NiAl и α -Fe фаз (рис. 2 а), а образца Ni₃Al состоит из Ni₃Al и α -Fe фазы (рис. 2 б).

Используя метод Виккерса, удалось получить распределение уровня микротвердости в поперечном сечении образцов. Значение микротвердости, зафиксированное в покрытии NiAl – 500 HV 0,1 (рис. 2 а), в покрытии Ni₃Al – 350 HV 0,1 (рис. 2 б). Можно сделать вывод, что наличие более твердой кристаллической фазы NiAl оказывает влияние на уровень твердости покрытия в целом.

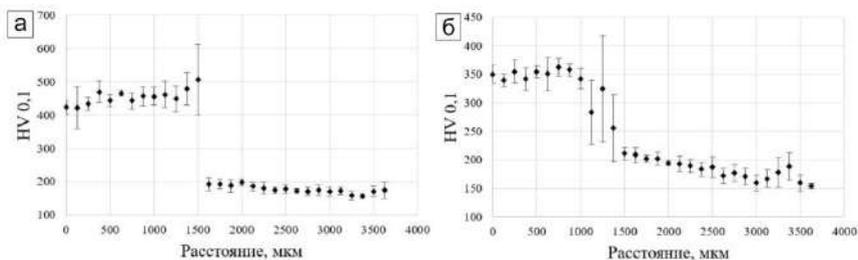


Рис 2 – Данные микротвердости: а – NiAl; б – Ni₃Al

Уровень износостойкости определялся в условиях трения о закрепленные абразивные частицы. В качестве эталона использовался материал основы сталь 20. Полученные результаты характеризовались следующими значениями: для NiAl относительная износостойкость составляла 2,1, для Ni₃Al – 1,3. Более высокий уровень износостойкости покрытия NiAl может быть обусловлен большим значением твердости входящей в его состав интерметаллидной фазы.

В результате выполнения данной работы можно сделать вывод, что для формирования более износостойкого покрытия целесообразнее использовать такой состав порошков, который дает образование фазы NiAl. Ее более высокая твердость способствует повышению износостойкости покрытия.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Грант Президента МК-2226.2020.8, соглашение № 075-15-2020-110). Исследования проведены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов» НГТУ. (№ 13.ЦКП.21.0034, 075-15-2021-698).

Литература:

1. Talaş Ş. Nickel aluminides // *Intermetallic Matrix Composites*. – Woodhead Publishing, 2018. – P. 37–69.
2. On Coating Techniques for Surface Protection: A Review / B. Fotovvati, N. Namdari, A. Dehghanghadikolaei // *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. – 2019. – Vol.3, iss. 1. – P. 22.
3. Non-Vacuum Electron Beam Cladding of Ti-Ni-Al Intermetallics on Titanium Alloy / T. S. Ogneva, A. A. Ruktuev, A. V. Girsh // *Materials Today: Proceedings*. – 2019. – Vol. 11. – P. 191–196.
4. Electron beam welding–techniques and trends–review / M. S. Węglowski, S. Błacha, A. Phillips // *Vacuum*. – 2016. – Vol. 130. – P. 72–92.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРРОМАГНИТНОГО СПЛАВА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ

Д.П. Ерутин, В.Ш. Суфияров

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого, г. Санкт-Петербург, erutin@inbox.ru
Научный руководитель: Зотов О.Г., к.т.н., доцент

Данное исследование было проведено с целью определения параметров процесса селективного лазерного плавления ферромагнитного сплава марки ISR, соответствующих наибольшей плотности синтезируемых образцов. Для сплава ISR впервые получены данные о пористости, растрескивании и наличии кристаллических фаз при разных скоростях сканирования и толщинах порошкового слоя. Результаты исследования могут быть использованы для дальнейших исследований процесса селективного лазерного плавления сплава ISR.

This study was carried out to determine the parameters of selective laser melting process with ISR ferromagnetic alloy corresponding to the highest metal density. For ISR alloy the data on porosity, cracking and presence of crystalline phases at different scanning speeds and thicknesses of the powder layer were obtained for the first time. The results of the study can be used for further investigation of selective laser melting process with ISR alloy.

Металлические стекла на основе ферромагнитных элементов демонстрируют лучшие по сравнению с кристаллическими ферромагнетиками магнитомягкие свойства: меньшие значения коэрцитивной силы H_c , большие значения намагниченности насыщения M_s , более высокую магнитную проницаемость μ и электрическое сопротивление ρ . За счет более высокого уровня свойств металлических ферромагнитных стекол их использование в качестве материала магнитопровода электромагнитного устройства позволяет увеличить его КПД благодаря существенному снижению потерь энергии магнитного поля на перемагничивание и вихревые токи [1].

Получение объемных металлических стекол возможно с помощью технологии селективного лазерного плавления (SLM – selective laser melting). В SLM–процессе на металлическую подложку или заранее изготовленную часть изделия наносится слой порошка толщиной 20–60 мкм, проплавляемый затем лазером, после чего новый слой порошка наносится на уже затвердевший слой материала [2].

Для того, чтобы изделие из ферромагнитного сплава заданного состава, полученное в процессе SLM, обладало наилучшим уровнем магнитных свойств, необходимо, чтобы его структура полностью

состояла из аморфной фазы. Поры и трещины, образующиеся в структуре в процессе производства, негативно сказываются на магнитных свойствах, поскольку их наличие обеспечивает наличие магнитной анизотропии, поэтому необходимо, чтобы изделие обладало максимально возможной относительной плотностью.

Целью данной работы являлось определение оптимальных параметров процесса селективного лазерного плавления, соответствующих максимумам относительной плотности и степени аморфности получаемых образцов. В рамках данной работы было произведено 40 цилиндрических образцов (высота 6 мм, диаметр 2 мм) из порошка сплава 1СР (В, Si, Р, С, Со, Ва, Fe – основа) методом селективного лазерного плавления. Было произведено дифрактометрическое исследование образцов с целью выявления наличия в их объеме кристаллических фаз. Макроструктура образцов была исследована на оптическом микроскопе с целью получения информации о наличии в образцах пор и трещин.

Фотография платформы с образцами представлена на рис.1. Значительная часть образцов была полностью разрушена на конечных этапах SLM-процесса, некоторые из образцов разрушились при их отделении от платформы. В связи с этим исследованию были подвергнуты лишь те образцы, которые после отделения сохранили свою целостность (образцы 18, 8 и 7). Параметры SLM-процесса, использованные при производстве сохранившихся образцов, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры SLM-процесса исследуемых образцов

Номер образца	Мощность лазера, кВт	Скорость сканирования, мм/с	Толщина слоя, мкм
18	370	1100	25
8	370	1100	50
7	370	1300	50



Рис.1 – Платформа с образцами (50 x 50 мм)

Рентгенограммы образцов 18, 8 и 7 представлены на рис.2.

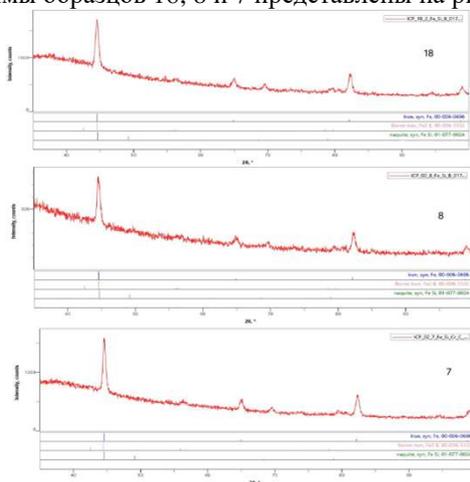


Рис.2 – Рентгенограммы полученных образцов

Полученные рентгенограммы свидетельствуют о том, что в каждом из трех образцов присутствуют кристаллические фазы: Fe₂B, FeSi и железо.

Снимки макроструктуры образцов 18, 8 и 7 представлены на рис.5 (а, б и в) соответственно.

Полученные изображения свидетельствуют о том, что наибольшей плотностью обладает образец 8, а наименьшей – образец 7. Следовательно, мощность лазера 370 кВт, скорость сканирования 1100 мм/с и толщина порошкового слоя 50 мкм являются наиболее оптимальными параметрами SLM-процесса для сплава 1CP в исследованных диапазонах значений данных параметров с точки зрения плотности получаемых образцов. Увеличение скорости сканирования при неизменной толщине приводит к снижению плотности получаемого изделия из-за увеличения скорости охлаждения, приводящему к образованию трещин вследствие повышенных термических напряжений и образованию пор вследствие затрудненной диффузии содержащихся в металле газов. Снижение толщины порошкового слоя при неизменной скорости сканирования приводит к снижению плотности получаемого изделия, поскольку в таком случае уже затвердевшие слои поглощают больше тепла и сильнее нагреваются, что приводит к увеличению их пластичности, приводящему к увеличению вероятности образования в них трещин вследствие пониженной прочности и больших величин термических напряжений.

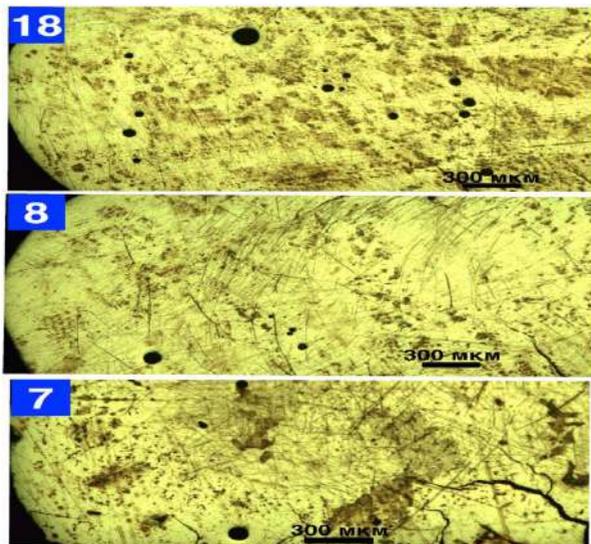


Рис.3 – Изображения макроструктуры полученных образцов

В данной работе было исследовано параметров процесса селективного лазерного плавления на плотность получаемых образцов из ферромагнитного сплава 1СР и наличие в их структуре кристаллических фаз. Поскольку большая часть образцов после получения оказалась непригодной для дальнейшего исследования, влияние мощности лазера на исследуемые характеристики установить не удалось, так как для всех пригодных образцов мощность лазера была 370 кВт. Влияние скорости сканирования и толщины порошкового слоя на наличие кристаллических фаз также не удалось установить, поскольку в результате дифрактометрического исследования образцов было обнаружено присутствие в структуре каждого из образцов кристаллических фаз: Fe₂B, FeSi и железа. Оптимальными оказались скорость сканирования 1100 мм/с и толщина слоя порошка 50 мкм. Уменьшение толщины порошкового слоя при неизменной скорости сканирования приводит к образованию трещин вследствие повышения пластичности уже затвердевших слоев металла. Увеличение скорости сканирования при неизменной толщине порошкового слоя приводит к образованию трещин и пор в металле за счет увеличения скорости охлаждения металла рабочего слоя.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10008, <https://rscf.ru/project/21-73-10008>.

Литература:

1. Selective laser melting vitrification of amorphous soft magnetic alloys with help of double-scanning-induced compositional homogeneity / Yeong Gyun Nam, Bonuk Koo, Mi Se Chang, Sangsun Yang, Jihun Yu, Yong Ho Park, Jae Won Jeong // *Materials Letters*. – 2020. – № 261. – P. 1–4. – doi: 10.1016/j.matlet.2019.127068.

2. *Safia Alleg, Rima Drablia, Nouredine Fenineche*. Effect of the Laser Scan Rate on the Microstructure, Magnetic Properties, and Microhardness of Selective Laser-Melted FeSiB // *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*. – 2018. – № 31. – P.3565–3567. – doi: 10.1007/s10948–018–4621–z.

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИАМИДА 66

М.В. Дюльдина, Д.С. Калиновский

Самарский государственный технический университет, 443100,

Россия, г. Самара, kalinovskii.dima127@mail.ru

Научный руководитель: Дюльдина М.В., доцент

Исследовано влияние содержания наполнителя на физико-механические свойства полиамида 66. В качестве наполнителя использовалось углеродное волокно. Установлено, что применение углеволокна позволяет существенно повысить физико-механические свойства ПА 66, а именно: прочность, твердость, модуль упругости.

The effect of the filler content on the physical and mechanical properties of polyamide 66 was investigated. Chopped carbon fiber was used as a filler. It was found that the addition of this filler to PA-66 makes it possible to obtain composite materials with high strength, hardness, and modulus of elasticity.

В настоящее время полимеры и материалы на их основе проникли практически во все отрасли народного хозяйства, они серьезно потеснили такие основные конструкционные материалы, как железобетон, металл, дерево. Широкие возможности полимерных материалов достигнуты благодаря многообразию полимеров и наполнителей, безграничной вариативности составов композитов на их основе и методов их модификации. Композиционные материалы на основе полимеров очень прочно закрепились в самых различных сферах промышленности: строительстве, машиностроении, транспорте и т.д., так, что степень их

использования стала критерием уровня научно-технического прогресса страны ^[1].

К полимерным конструкционным материалам обычно относят полимеры, которые могут обеспечить работоспособность изделий при повышенных термических, механических, электрических нагрузках, а также имеют высокие физико-механические свойства ^[2]. Разработка новых конструкций нуждается в применении материалов с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами, также необходимо создание новых конструкционных материалов, которые превосходили бы по своим физико-механическим свойствам традиционные материалы ^[3]. В отраслях народного хозяйства самыми распространенными композиционными материалами являются: полиамиды, поликарбонат, полиформальдегид, полиэтилентерефталат, АБС-пластики, полисульфон, полиэфирэфиркетон. Среди них самыми востребованными являются полиамиды. Полиамиды относятся к синтетическим термопластичным полимерам. В составе макромолекул полиамида присутствует амидная связь и метиленовые группы, которые повторяются от 2 до 10 раз ^[4].

Одним из наиболее эффективным методом улучшения свойств ПА является наполнение их химическими волокнами. Хотя использование волокон имеет ряд недостатков: ограничение в выборе метода армирования, трудности в изготовлении изделий сложной формы. Однако комплекс ценных свойств и возможность их вариаций, обеспечивающих перспективы использования, компенсируют эти недостатки. Одними из наиболее перспективных химических волокон являются углеродные волокна ^[5].

Целью настоящей работы является исследование влияния содержания наполнителя на физико-механические свойства полиамида 66, посредством физико-механических испытаний.

В качестве полимерной матрицы использовался ПА-66 (ТУ 6-06-16-88), наполнителем выступало рубленое углеволокно размером 2 мм. С целью повышения эластичности и уменьшения вязкости в полиамид добавляли пластификатор – капролактан. В качестве технологической добавки использовали стеариновую кислоту.

Было изготовлено 4 образца с разным содержанием углеволокна. Рецептуры композиций представлены в таблице 1.

Изготовление композиционного материала на основе полиамида проводилось с помощью лабораторного двухшнекового экструдера ЧП-60 с последующим гранулированием. Углеволокно вводили непосредственно в зону материального цилиндра, в котором происходило последующее смешение компонентов. Перед переработкой

ПА-66 сушили в термощкафу ТЛ-60 при температуре 80°C в течение 4 часов, углеволокно сушили при температуре 77°C в течение 16 часов.

Технологические параметры получения гранул ПКМ представлены в таблице 2.

Таблица 1- Составы различных рецептур ПКМ

№ Образца	ПА-66, %	Углеволокно, %	Капролактан, %	Стеариновая Кислота, %
1	47	40	10	3
2	57	30	10	3
3	67	20	10	3
4	72	15	10	3

Таблица 2 – Технологические параметры приготовления гранул ПКМ

Температура материального цилиндра по зонам, °С				Температура головки по зонам, °С		Число оборотов в шнека, об/мин	Производительность, кг/ч
1 зона	2 зона	3 зона	4 зона	1 зона	2 зона		
250±5	275±5	27 ±5	285±5	280±5	275±5	30	150

Для физико-механических испытаний были изготовлены образцы на минитермопластавтомате с объемом впрыска до 100 см³. Полученные образцы можно увидеть на рисунке 1. Испытания на растяжение проводились в соответствии с ГОСТ 34370. Прочность и модуль упругости при изгибе определяли в соответствии с ГОСТ 4648-71. Для каждого вида испытаний изготавливалось не менее 5 образцов.



Рис.1 – Образцы для физико-механических испытаний на растяжение

Результаты физико-механических испытаний представлены в таблице 3.

Представленные в таблице данные показывают, что введение рубленного углеволокна повышает прочностные показатели материалов. Введение в полимерную матрицу наполнителя значительно увеличивает жесткость и прочность.

Таблица 3 – Результаты физико-механических испытаний

Материал	Плотность, кг/м ³	Прочность при растяжении, МПа	Модуль Юнга, ГПа
Полиамид 66	1140	82,6	28
Полиамид 66+40 масс. % углеродного волокна	1340	280	238
Полиамид 66+30 масс. % углеродного волокна	1300	160	112
Полиамид 66+20 масс. % углеродного волокна	1200	120	100
Полиамид 66+15 масс. % углеродного волокна	1180	100	120

Относительно полученных результатов можно сказать, что при введении рубленого углеволокна повышаются физико-механические свойства полиамидов. При повышении содержания углеволокна в композиции увеличиваются прочностные характеристики материала, лучшие физико-механические свойства получены при содержании углеволокна 40%. Благодаря высоким показателям физико-механических свойств полимерных материалов на основе ПА-66 наиболее целесообразно применять в качестве конструкционных в различных отраслях народного хозяйства: авиа- и самолетостроении, автомобильной промышленности, строительстве и др.

Литература:

1. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие // Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.
2. Маркин Р. В., Леонтьева Н. В., Восторгов Б. Е. Полиамиды конструкционного назначения // Химическая промышленность за рубежом. – 1980. – № 10. – С. 13–35.

3. Песецкий С. С., Судьева С. Г. Мышкин Н. К., Полимерные материалы: исследование, производство, применение / // Наука и инновации. – 2008. – № 3 (61). – С. 50–55.

4. Morgan A.B., Gilman J.W. An overview of flame retardancy of Polymeric materials: Application, Technology, and future directions. Fire Mater. – 2013. – V. 37, № 4. – P. 259–279.

5. Ткаченко Э. В., Буря А. И., Толстенко Ю. В. Свойства композитов на основе полиамидов // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского, 2018. – 14 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А.А. Снежко^{1,2}, Е.В. Щербина¹, Е.А. Карелина¹

**¹Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, ²ФГБОУ ВО
Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
г. Железногорск, golenkova.aleksa@mail.ru**

Разработана усовершенствованная методика металлографического контроля на примере сварных соединений. Выбор средств измерений и контроля позволяет снизить трудоемкость и повысить точность метода.

An improved method of metallographic control on the example of welded joints has been developed. The choice of measuring and control means allows to reduce the labor intensity and increase the accuracy of the method.

Сварной шов – участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или в результате пластической деформации при сварке давлением или сочетания кристаллизации и деформации [1].

Металлографическое исследование – это комплекс испытаний и аналитических мероприятий, направленный на изучение макроструктуры и микроструктуры металлов, исследование закономерности образования структуры и зависимостей влияния структуры на механические, физико-механические, электрические и другие свойства металла.

В соответствии с ГОСТ Р 57180-2016 металлографические исследования проводят визуальным способом или с использованием систем анализа изображений.

Требования к контролю качества сварных соединений устанавливаются в следующих нормативных документах: ГОСТ 34347-2017, РД 24.200.04-90 [1, 2].

В соответствии с РД 24.200.04-90 для проведения металлографического исследования применяются микроскопы МБС, МИМ-7 и МИМ-8.

Совершенствование методики контроля сварных швов основывается на применении современного оборудования, снижающего трудоемкость процесса и повышающих точность.

Усовершенствованная методика контроля сварных швов представлена ниже (рис. 1).

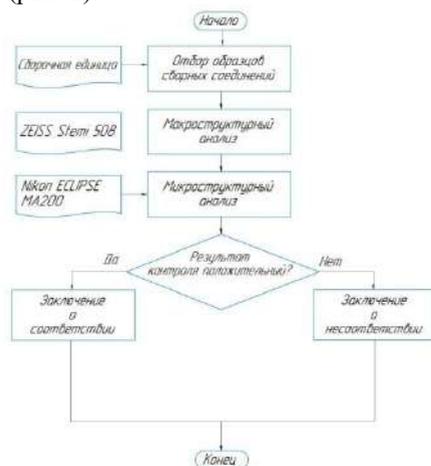


Рис.1 – блок-схема контроля сварных швов

По усовершенствованной методике контроля макроструктурный анализ сварных соединений можно произвести с помощью стереомикроскопа ZEISS Stemi 508. Технические характеристики: максимальный диапазон общего увеличения 2х...250х; максимальное рабочее расстояние 286 мм; система регистрации изображения– цветная или монохромная цифровая камера, фотоаппарат [3].

Для микроструктурного анализа сварных соединений рекомендуется использовать инвертированный металлографический микроскоп Nikon ECLIPSE MA200. Увеличение 50X÷2000X; энергопотребление 1,2А 50/60 Гц; вес 26кг; оптика CFI60; встроенный, 8,4-дюймовый ЖК–экран XGA позволяет просматривать образец без необходимости смотреть в окуляры. Простое сохранение /печать данных [4].

Применение предложенного оборудования при контроле сварных швов снижает трудоемкость и временные затраты на процесс контроля, повышает точность и качество работ.

Литература:

1. ГОСТ 34347-2017. СОСУДЫ И АППАРАТЫ СТАЛЬНЫЕ СВАРНЫЕ. Общие технические условия. [Текст]. – Введ. 2018-08-01. - Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 декабря 2017 г. N 2002.
2. РД 24.200.04-90. РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ. Швы сварных соединений. Металлографический метод контроля основного металла и сварных соединений химнефтеаппаратуры. [Текст].- Введ.- 1991-07-01. - Указанием Минтяжмаша СССР от 21.11.90 N ВА-002-1-11125.
3. ZEISS Russia & CIS (ООО «Карл Цейсс») [Электронный ресурс]. URL: <https://zeiss-solutions.ru/> (дата обращения: 15.09.2021).
4. Nikon Metrology Europe NV [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nikonmetrology.com/> (дата обращения: 15.09.2021).

ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫЕ ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ Ti-AL-NI

А.Д. Ковалева

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nasyakovaleva0606@gmail.com**

Научный руководитель: Корниенко Е. Е., к.т.н., доцент

На сегодняшний день большой популярностью пользуются покрытия из интерметаллидных сплавов на основе алюминия, титана и никеля. Однако, нанесение таких покрытий методом холодного газодинамического напыления (ХГН) мало изучено. В данной работе сформулирована цель, приведен литературный обзор по изучаемой теме, а также методы получения и исследования ХГН покрытий системы Ti-Al-Ni.

Today, coatings from intermetallic alloys based on aluminum, titanium and nickel are very popular. However, the application of this intermetallic coating by cold gas-dynamic spraying (CGS) has been little studied. Based on this, in this article, the goals and objectives for the study of the structural features of the Ti-Al-Ni coating by the CGN method are formulated.

Интерметаллидные соединения обладают рядом отличительных химических, физических и механических свойств. Интерметаллиды системы Ti-Al-Ni характеризуется высокой жаропрочностью, низкой плотностью и значительной стойкостью к окислению при высоких

температурах [1]. Благодаря этому покрытия из данных соединений широко используются в машиностроении, авиационной и химической промышленности, например, для покрытий фильтров в воздушных камерах низкого давления, лопаток компрессоров и турбин в двигателях самолета, деталей турбокомпрессоров и других элементов, длительное время работающих в условиях высоких температур. Это позволяет увеличить срок службы и надежность деталей [2].

В литературе подробно рассмотрены структура и свойства интерметаллидных покрытий на основе алюминидов и никелидов титана, полученных различными способами (химическое осаждение из паровой фазы, плазменное напыление, термическое напыление, детонационный синтез и другие). Работ, посвященных исследованию покрытий тройной системы Ti-Al-Ni, сформированных методом ХГН, практически не встречается. В работе [3] авторы рассматривают структуру и свойства покрытий системы Ti-Al-Ni, нанесенных на стальную подложку методом электронно-лучевой наплавки. В качестве исходных материалов выбраны порошки никеля, титана и алюминия в соотношении 1:7:3 соответственно. Полученное покрытие состояло из нескольких зон: ближе к поверхности покрытие характеризовалось более высокой пористостью. Ближе к основному металлу наблюдалась дендритная структура. Кроме того, наблюдается легирование основного металла элементами покрытия на глубину около 400 мкм от границы раздела. Микротвердость покрытия: 7,2...7,6 ГПа на поверхности и 1,9...1,3 ГПа у основного металла.

Целью работы является получение покрытий системы Ti-Al-Ni методом ХГН и исследование их структурных особенностей.

Для формирования покрытий системы Ti-Al-Ni использовали порошковую смесь, состоящую из порошков никеля, алюминия и титана в соотношении 1:1:1. Размеры частиц порошков: 20...40 мкм. Порошковую смесь наносили на подложку из титанового сплава ВТ6. Напыление проводили в Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН на ХГН-стенде, оснащенный шестиосевым роботом KUKA KR 16-2 (KUKA, Германия) для управления соплом. Ускорение частиц порошка осуществлялось в сопле Лаваля диаметром критического сечения 2,8 мм и диаметром выходного сечения 6,5 мм.

Структурные и фазовые исследования планируется проводить при помощи оптического микроскопа «CarlZeissAxioObserverAlm», растрового электронного микроскопа «Carl Zeiss EVO50 XVP» с микроанализатором «EDS X-Act» и рентгеновского дифрактометра ARL X'TRA с CuK α излучением.

Литература:

1. О.С. Сироткин. Основы современного материаловедения. Учебник. – М.: Инфра-М, 2015. – 368 с.
2. Е. Н. Каблов, С. А. Мубояджян, С. А. Будиновский, А. Г. Галоян // Сб. Литейные жаропрочные сплавы. Эффект С. Т. Кишкина. М.: Наука, 2006, - 272 с.
3. И. В. Мурашова, И. Л. Поболь, Ю. В. Соколов. Структура и свойства покрытия системы Ti-Al-Ni, нанесенного на стальную основу с использованием электронно-лучевого нагрева // Литье и металлургия. – 2011. – № 1(59). – С. 162 – 165.

ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИИ И СВОЙСТВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В ПЛЕНКАХ И НАНОКРИСТАЛЛАХ VO₂ СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ CVD

Н.Д. Манцуров^{1,2}, К.Е. Капогузов^{2,4}, Л.В. Яковкина³

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт физики полупроводников СО РАН,

³Институт неорганической химии СО РАН,

⁴Новосибирский государственный университет г. Новосибирск,
zimos.sr@gmail.com

Научный руководитель: Мутилин С.В., н.с., ИФП СО РАН

Диоксид ванадия (VO₂) является перспективным материалом для пост-кремниевой электроники. Одной из актуальных задач последних лет является формирование и изучение наноразмерных кристаллов VO₂. В данной работе решались следующие задачи: определение оптимальных условий синтеза высококачественных пленок VO₂ на подложках SiO₂/Si, Al₂O₃; формирование и определение морфологии одиночных нанокристаллов VO₂, полученных при помощи травления пленок в жидкостном травителе.

Vanadium dioxide (VO₂) is a promising material for post-silicon electronics. One of the urgent tasks of recent years is the formation and study of nanosized VO₂ crystals. Problems that were described in this article: determination of the optimal conditions for the synthesis of high-quality VO₂ films on SiO₂/Si, Al₂O₃ substrates; formation and determination of the morphology of single VO₂ nanocrystals obtained by etching films in a liquid etchant.

Диоксид ванадия (VO₂) – это материал с сильно коррелированными электронами, обладающий новыми функциональными свойствами, перспективными для пост-кремниевой электроники. Под действием внешних факторов, таких как воздействие температуры (~ 68°C),

давления, электрического тока или напряжения, оптической накачки, VO_2 испытывает резкий обратимый фазовый переход полупроводник-металл [1]. В диоксиде ванадия, при фазовом переходе полупроводник-металл, происходит резкое изменение электрических, магнитных и оптических свойств. Такой ярко выраженный фазовый переход открывает перспективы для применения VO_2 в ряде новых устройств микро/нано электроники, например, в резистивных элементах памяти, нейроморфных системах, тепловых переключателях, оптических ограничителях, перестраиваемых метаматериалах, сверхбыстрых оптических переключателях. Температурный фазовый переход может быть описан с помощью двух подходов: электрон-электронного взаимодействия (теория Мотта-Хаббарда) и электрон-фононного взаимодействия (теория Пайерлса).

Несмотря на успехи последних лет в изучении структур на основе VO_2 , синтез высококачественных пленок по-прежнему представляет собой серьезную проблему из-за наличия в системе V-O многих оксидных форм и различных полиморфов. В системе, V-O кроме VO_2 , могут присутствовать пятнадцать других оксидных фаз. Более того, существует около десяти кристаллических форм VO_2 . Среди этих форм только оксид ванадия с моноклинной структурой (VO_2 (M)) демонстрирует фазовый переход. Температура фазового перехода, ширина и амплитуда гистерезиса зависят от микроструктуры пленки, отклонения стехиометрии, наличия и концентрации примесей и собственных дефектов, а также от типа подложки. На сегодняшний день опубликовано огромное количество исследований по синтезу пленок VO_2 на плоских подложках и несколько работ по синтезу на наноструктурированных подложках [2, 3]. Тем не менее, данные о структурных и фазовых особенностях таких пленок, и влиянии их на физические характеристики, пока остаются противоречивыми и требуют дальнейшего изучения.

Целью данного исследования является изучение свойств пленок и кристаллов VO_2 , для формирования на их основе приборов посткремниевой электроники. Поликристаллические пленки были синтезированы методом химического осаждения из газовой фазы (CVD) (рисунок 1). Одиночные нанокристаллы VO_2 были получены с помощью химического травления высококачественных поликристаллических пленок. Морфология одиночных кристаллов после травления была определена с помощью методов атомно-силовой микроскопии. Для исследования морфологии использовались стандартные кремниевые зонды.

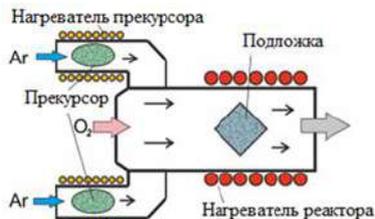


Рис.1 – схема реактора химического осаждения из паровой фазы, использованной для роста кристаллов VO_2

В результате синтеза пленок методом CVD при разных условиях, был получен ряд поликристаллических пленок VO_2 . Для определения параметров фазового перехода в них проводились измерения зависимости сопротивления от температуры. Использовалась стандартная двухконтактная схема измерений, в качестве контактов выступали прижимные вольфрамовые иглы. В качестве нагревательного элемента использовалась ячейка Пельтье. Температурная зависимость сопротивления определялась в диапазоне от 20 до 100 °С. По полученным результатам были построены графики зависимости температуры фазового перехода и отношения сопротивлений от температуры синтеза (рисунок 2). Исходя из полученной зависимости, можно заметить сильное отличие в отношении R_1/R_2 (сопротивление полупроводниковой фазы до перехода к сопротивлению металлической фазы после перехода) между образцами. Это обуславливается описанной выше проблемой синтеза необходимой фазы (M) VO_2 . Из представленных образцов лучший результат отношения сопротивлений - $1.6 \cdot 10^3$ и худший результат - 2.3, что свидетельствует об отличии в фазе выросших в процессе CVD кристаллов. Лучшие результаты отношения сопротивлений были получены на образцах с температурой синтеза 490–510 °С, худшие результаты получены при температуре синтеза, выходящей за этот диапазон. Установлено, что именно в диапазоне 490–510 °С на пленке наблюдаются преимущественно кристаллы $\text{VO}_2(\text{M})$, демонстрирующие резкий фазовый переход полупроводник-металл. Полученное значение $R_1/R_2 = 1.6 \cdot 10^3$ сравнимо с аналогичным значением для монокристаллических пленок VO_2 , что позволяет говорить о высоком качестве синтезированных в данной работе образцов.

Для получения одиночных нанокристаллов VO_2 были выбраны высококачественные поликристаллические пленки VO_2 , т.е. обладающие наибольшим отношением R_1/R_2 . Травление таких пленок производилось при комнатной температуре с использованием раствора 0,5 М HCl в H_2O . Результаты травления изображены на рисунке 3.

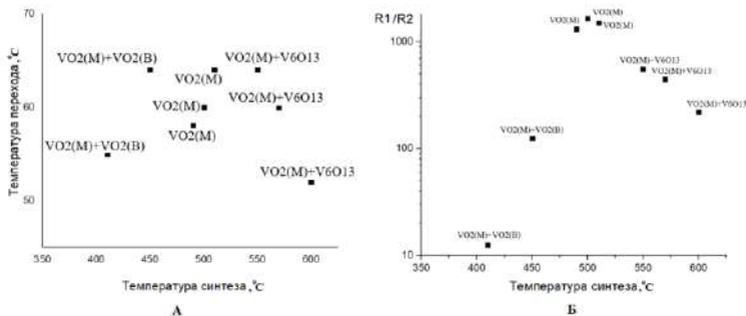


Рис.2 – А- Зависимость температуры перехода от температуры синтеза образцов; Б- зависимость отношения R_1/R_2 от температуры синтеза

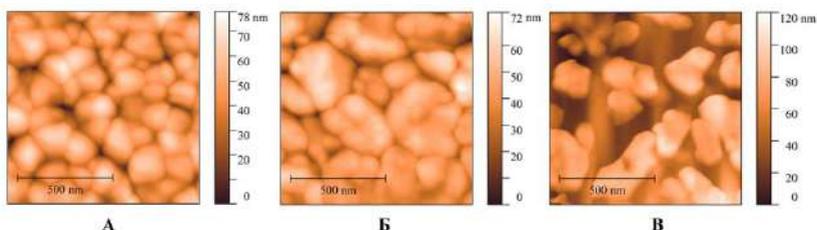


Рис.3 – А- Изначальная поверхность образца; Б- поверхность образца после травления 120 минут; В- поверхность образца после травления 240 минут

На рисунке 3А показана исходная пленка с высотой кристаллов 80 нм и плотной структурой. Поскольку скорость травления VO_2 в HCl зависит от механических напряжений, на межзеренных границах скорость травления примерно в 10 раз больше [4]. При небольших временах травления, исходная поликристаллическая пленка разбивается на массивы кристаллов. При увеличении времени травления, массивы кристаллов распадаются на отдельные кристаллы со средним расстоянием 15 нм друг от друга. В результате травления получены отдельные кристаллы (рисунок 3В), средней высотой 60 нм, длиной 170 нм и шириной 140 нм. За счет изменения структуры, выросла и средняя шероховатость поверхности (средняя шероховатость до травления- 7 нм, после травления- 20 нм). Предложенный в данной работе подход может быть использован для изучения одиночных кристаллов VO_2 .

В результате работы была продемонстрирована зависимость получаемой фазы диоксида ванадия от температуры синтеза методом

CVD. Установлена оптимальная температура синтеза пленок VO₂ для получения необходимой фазы VO₂(M), она располагается в диапазоне 490–510 °С. Предложен метод, с помощью которого можно получать отдельные кристаллы диоксида ванадия и изучать их свойства.

Литература:

1. Ke Y. et al. Vanadium dioxide: The multistimuli responsive material and its applications //Small. – 2018. – Т. 14. – №. 39. – С. 1802025.
2. Prinz V. Y. et al. A new approach to the fabrication of VO₂ nanoswitches with ultra-low energy consumption //Nanoscale. – 2020. – Т. 12. – №. 5. – P. 3443-3454.
3. Mutilin S. V. et al. Growth of ordered arrays of vertical free-standing VO₂ nanowires on nanoimprinted Si //Applied Physics Letters. – 2018. – Т. 113. – №. 4. – С. 043101.
4. Han S. T. et al. Surface engineering of reduced graphene oxide for controllable ambipolar flash memories // ACS applied materials & interfaces. – 2015. – Т. 7. – №. 3. – P. 1699-1708

МИКРОСТРУКТУРА НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА ЖС6У ПОСЛЕ ОТЖИГА, ПОЛУЧЕННОГО НАПЛАВКОЙ ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ

А.В. Масс, Р.Р. Хабиров, А.В. Фелофьянова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, anpmass@mail.ru**

Научный руководитель: Огнева Т.С., к.т.н., доцент

В данной работе была изучена структура никелевого сплава ЖС6У, полученного послойной электроннолучевой наплавкой, после отжига при 1210 °С с выдержкой 1, 2, 4 и 6 часов. Структура сплава после наплавки состоит из дендритных осей с включениями карбидов разной морфологии, а также дисперсных упрочняющих частиц. После отжига формируются частицы γ' -фазы высокой дисперсности. Выдержка в печи в течение 4 и 6 часов приводит к растворению дендритных осей и формированию однородной структуры.

In this study the structure of the nickel alloy ZhS6U obtained by electron-beam surfacing after annealing at 1210 °C with dwell times of 1, 2, 4, and 6 hours was studied. The alloy structure after cladding consists of dendritic axes with inclusions of carbides of different morphology as well as dispersed strengthening particles. After annealing fine particles of γ' -phase are formed. The furnace aging for 4 and 6 hours leads to the dissolution of dendritic axes and the formation of a homogeneous structure.

Один из наиболее эффективных способов получения более высокого комплекса свойств газотурбинных реактивных двигателей – это увеличение температуры газов в камере сгорания. С ростом давления и температуры реактивных газов увеличивается коэффициент полезного действия двигателя, его топливная эффективность и мощностные характеристики. Одни из самых нагруженных деталей ТРД – турбинные лопатки. Эти детали подвергаются интенсивному воздействию газового потока с высокой скоростью и давлением в условиях нагрева до температуры более 1000 °С. Материал, из которого изготовлены лопатки, должен обладать таким комплексом свойств, как высокая длительная прочность, устойчивость к окислению при нагреве, сопротивление ползучести [1].

Одними из наиболее перспективных материалов для применения в высокотемпературной технике являются жаропрочные никелевые сплавы. Благодаря реализации механизма дисперсионного твёрдорастворного упрочнения интерметаллидной γ' -фазой никелевые сплавы отличаются высоким пределом длительной прочности, устойчивы к высокотемпературной ползучести. Кроме того, сплавы на никелевой основе эффективно сопротивляются окислению при нагреве. Жаропрочный сплав ЖС6У известен как широко распространённый материал для лопаток газовых турбин. Этот материал относится к литейным сплавам с равноосной структурой, имеет плотность 8,4 г/см³ [2]. Структура отливок из ЖС6У представляет собой матрицу γ -твёрдого раствора легирующих элементов в никеле, с включениями высокодисперсной γ' -фазы на базе интерметаллида Ni₃Al, а также карбидов различного химического состава и стехиометрии.

Анализ современной научной литературы показал недостаток информации о способах получения изделий из никелевого сплава ЖС6У методами, отличными от технологии литья из расплава. В то же время, технология наплавки позволяет получать детали сложной конфигурации, уменьшить объём работ по финишной механической обработке, снизить количество используемой дорогостоящей оснастки [3]. Анализ литературы [4] показал, что к основным методам получения наплавки из жаропрочных никелевых сплавов относятся лазерная, плазменная и электроннолучевая наплавка. Среди этих технологий особое внимание уделяется использованию электронного луча, которая позволяет осуществлять точный контроль за ходом процесса, благодаря высокой скорости наплавки. Известно, что в структуре литого сплава ЖС6У возможно формирование эвтектических областей и хрупких карбидов неблагоприятной стехиометрии, присутствие которых негативно сказывается на механических свойствах материала. С целью

формирования благоприятной микроструктуры с равномерно распределёнными карбидными включениями и высокодисперсными частицами γ' -фазы проводят термическую обработку сплава.

Таким образом, целью данной работы является изучение эволюции микроструктуры жаропрочного никелевого сплава ЖС6У, полученного наплавкой электронным лучом, после отжига с различным временем выдержки.

Настоящее исследование включало в себя изготовление образцов методом электронно-лучевой послойной наплавки на подложку. Материал подложки – стальная пластина из AISI 321, основной материал – проволока из порошка с легирующими элементами в оболочке из никеля. Далее образцы помещались в разогретую до 1210 °С камерную печь для отжига с выдержкой 1, 2, 4, 6 часов. Охлаждение – в печи. Для изучения микроструктуры образцов в отожженном состоянии и без термической обработки были использованы световой оптический и растровый электронный микроскопы.

Структура материала после наплавки состоит из крупных столбчатых кристаллов, в которых наблюдается развитая дендритная структура (рис. 1, а). Слоистое строение образца связано с послойной наплавкой. В матрице γ -фазы распределены высокодисперсные частицы интерметаллидной γ' -фазы (рис. 1, б). Включения карбидов наблюдаются как на границах кристаллитов, так и в междендритном пространстве. Для сплава ЖС6У характерно выделение карбидов со стехиометрией $M_{23}C_6$ и M_6C по границам зёрен. Эти фазы отличаются повышенной хрупкостью, поэтому их присутствие негативно сказывается на пластичности материала. В междендритных областях кристаллизуются первичные карбиды со стехиометрической формулой MC , которые способствуют дисперсионному упрочнению сплава.

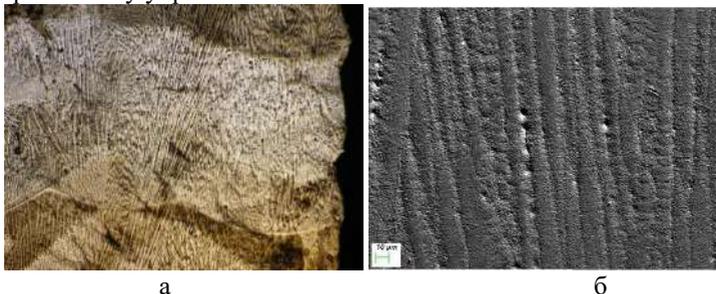


Рис. 1 – Структура сплава ЖС6У после наплавки: а – изображение со светового микроскопа, б – изображение с РЭМ

В результате отжига с временем выдержки 1 и 2 часа в микроструктуре сплава сохранились дендритные оси, при этом промежутки между ними увеличились, что свидетельствует о протекании процессов диффузии и выравнивании химического состава разных участков образца. Изменение характера распределения карбидных включений не наблюдается. В то же время, не удаётся зафиксировать присутствие включений γ' -фазы при использованном увеличении электронного микроскопа. Это может свидетельствовать о формировании наноразмерных интерметаллидных упрочняющих частиц в процессе охлаждения после отжига.

На рисунке 2 изображена микроструктура образца после отжига с выдержкой 6 часов. Отсутствие осей дендритов говорит о полной гомогенизации состава сплава, что должно оказать положительное влияние на структуру и распределение γ' -фазы и карбидных частиц.



Рис. 2 – Структура сплава ЖС6У после отжига, выдержка 6 часов

По результатам работы было показано, что в результате наплавки жаропрочного сплава ЖС6У формируется дендритная структура с частицами γ' -фазы и карбидными включениями различной стехиометрии по границам кристаллитов и в междендритных промежутках. Отжиг с выдержкой 1 и 2 часа приводит к образованию высокодисперсных интерметаллидных частиц, не наблюдаемых при использованном увеличении электронного микроскопа. В результате отжига в течение 4 и 6 часов дендритные оси растворяются, структура сплава становится однородной.

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

Литература:

1. Морозова Г.И. Компенсация дисбаланса легирования жаропрочных никелевых сплавов // МиТОМ. – 2012. – № 12. – С. 52-56.

2. Оценка кратковременных механических свойств соединения трудносвариваемых никелевых жаропрочных сплавов типа ЖС6 / К.А. Ющенко, А.В. Яровицын, Н.О. Червяков, А.В. Звягинцева, И.Р. Волосатов, Г.Д. Хрущов // Автоматическая сварка. – 2019. – № 7. – С. 38–45.

3. Влияние термической обработки на структуру и свойства жаропрочного никелевого сплава ЖС6У / Е. Е. Корниенко, М. В. Рашковец, Д. В. Лазуренко // Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа: 8 Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 50-летию основания Ин-та химии нефти – Томск: Изд. Дом ТГУ, 2019. – С. 443-444.

4. Сварка и наплавка жаропрочных никелевых сплавов с монокристаллической структурой / К.А. Ющенко, Б.А. Задерий, В.С. Савченко, А.В. Звягинцева, И.С. Гах, О.П. Карасевская // Автоматическая сварка. – 2008. – № 11 (667). – С. 217-223.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭНЕРГИЮ АКТИВАЦИИ ПРИМЕСИ MN-ZN ФЕРРИТОВ МАРКИ NM700

Ю.А. Миллер, В.В. Каранский

**Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники, г. Томск, miller-ua@mail.ru**

Научный руководитель: Смирнов С.В., д-р техн. наук, профессор

Представлены результаты исследования влияния электронно-лучевой обработки на энергию активации примеси Mn-Zn ферритов, на примере феррита марки NM700.

The results of studying the effect of electron beam treatment on the activation energy of an impurity of Mn-Zn ferrites are presented, using the example of ferrite grade NM700.

В настоящее время в устройствах микроэлектроники радиочастотного и СВЧ диапазона широко используются различные поликристаллические ферритовые материалы со структурой шпинели. Значительный интерес из большого многообразия ферритов представляют марганец-цинковые ферриты структуры шпинели, имеющие высокое значение магнитной проницаемости. Известно, что электрофизические параметры ферритов зависят от их микро- и наноструктуры. Одним из эффективных способов управления микроструктурой является электронное воздействие [1].

Целью работы является исследование влияния электронно-лучевой обработки на энергию активации примеси Mn-Zn ферритов марки НМ700.

В качестве объекта исследований был выбран марганец-цинковый феррит марки НМ700, структуры шпинель. Паспортные данные образца представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Паспортные данные

Марка	μ_n	$\rho, \text{Ом}\cdot\text{м}$	$\sigma, (\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$	$f_{зр}, \text{МГц}$	$T_K, ^\circ\text{C}$
НМ700	700	20	0,05	5	240

Электронно-лучевая обработка Mn-Zn ферритов проводилась с использованием форвакуумного плазменного электронного источника устанавливаемого на верхней части вакуумной камеры [2]. Непрерывная генерация сфокусированного электронного пучка, с силой тока до 150 мА, энергией электронов от 2 до 20 кэВ и плотностью мощности до 10^3 Вт/см², проводилась в диапазоне давлений от 5 до 20 Па. Обработка поверхности Mn-Zn феррита электронным пучком проводилась в течение минут при двух режимах: 1 – $T_{\text{обp}}=1000^\circ\text{C}$, 2 – $T_{\text{обp}}=1200^\circ\text{C}$.

На рисунке 1 представлена температурная зависимость натурального логарифма электропроводности исходного и обработанных образцов.

Электропроводность ферритов имеет примесный характер и обусловлена переносом электронов между ионами Fe^{2+} и Fe^{3+} [3]. Увеличение электропроводности обусловлено увеличением концентрации ионов Fe^{2+} , которое происходит из-за восстановления трехвалентного железа в результате электронно-лучевой обработки.

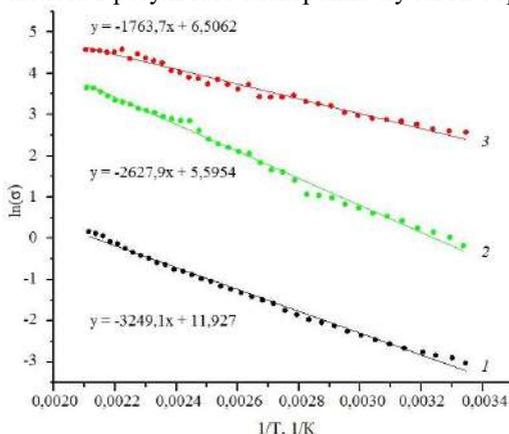


Рис.1 – Температурная зависимость натурального логарифма электропроводности: 1) – исходный образец; 2) – $T=1000^\circ\text{C}$; 3) – 1200°C

Используя зависимости на рисунке 1, рассчитаем энергию активации по формуле:

$$E_a = -2 \cdot k \cdot \text{tg}(\alpha) \quad (1)$$

В таблице 2 представлены значения энергии активации и концентрации ионов Fe^{2+} .

Таблица 2 – Энергии активации и концентрации ионов Fe^{2+} до и после обработки электронным пучком

<i>Образец</i>	<i>E_a, эВ</i>	<i>N, см⁻³</i>
Исходный	0,55	$1,13 \cdot 10^{20}$
1 – $T=1000^\circ\text{C}$	0,46	$2,32 \cdot 10^{20}$
2 – $T=1200^\circ\text{C}$	0,42	$3,55 \cdot 10^{20}$

Из таблицы видно, что с увеличением температуры электронно-лучевой обработки уменьшается энергия активации ионов Fe^{2+} . Значение энергии активации соответствует примесному механизму проводимости [4].

Работа выполнена коллективом научной лаборатории интегральной оптики и радиофотоники при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках соглашения №075-03-2020-237/1 от 05 марта 2020г. (внутренний номер проекта FEWM-2020-0040). Экспериментальные результаты получены с использованием оборудования ЦПК «Импульс» (регистрационный номер 200568).

Литература:

1. Саврук Е.В., Смирнов С.В., Климов А.С. Модификация поверхности Mn-Zn феррита пучком низкоэнергетических электронов // Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 2-2. – С. 172–174.
2. Особенности фокусировки электронного пучка плазменного источника в форвакуумном диапазоне давлений / А.А. Зенин, И.Ю. Бакеев, Ю.А. Бурачевский, А.С. Климов, Е.М. Окс // Письма в ЖТФ. – 2016. – № 13. – С. 104.
3. Смит Я., Вейн Х. Ферриты: учебник для вузов. – М.: Иностранная литература, 1962. – 504 с.
4. Зятков И.И., Мирошкин В.П., Панова Я.И. Исследование механизма электропроводности марганец-цинковых ферритов // Физика твердого тела – 1988. – № 5. – С. 1289–1292.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ НА МАГНИТНУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ Mn-Zn ФЕРРИТОВ МАРКИ HM700

Ю.А. Миллер, В.В. Каранский

Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники, г. Томск, miller-ua@mail.ru

Научный руководитель: Смирнов С.В., д-р техн. наук, профессор

Представлены результаты исследования влияния электронно-лучевой обработки на магнитную проницаемость Mn-Zn ферритов, на примере феррита марки HM700.

The results of studying the effect of electron beam treatment on the magnetic permeability of Mn-Zn ferrites are presented, using the example of ferrite grade HM700.

В настоящее время ферриты, благодаря сочетанию высокой магнитной проницаемости и низкой электропроводности применяются в устройствах микроэлектроники, как радиочастотного, так и СВЧ диапазона [1].

Развитие материаловедения сложно представить без использования материалов с улучшенными свойствами и характеристиками. Значительный интерес представляют Mn-Zn ферриты структуры шпинели, имеющие высокое значение магнитной проницаемости. Решающее влияние на магнитные и электрические свойства Mn-Zn ферритов оказывает их микроструктура. Одним из эффективных способов управления микроструктурой является электронно-лучевая обработка.

Целью работы является исследование влияния электронно-лучевой обработки на магнитные свойства Mn-Zn ферритов марки HM700.

Объектом исследования является Mn-Zn феррит марки HM700, это уникальный термостабильный материал, обладающий высокой добротностью и предназначен для работы в слабых магнитных полях на частотах до 5 МГц. Паспортные данные образца представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Паспортные данные

Марка	μ_n	ρ , Ом·м	σ , (Ом·м) ⁻¹	$f_{зр}$, МГц	T_K , °C
HM700	700	20	0,05	5	240

Электронно-лучевая обработка Mn-Zn ферритов проводилась с использованием форвакуумного плазменного электронного источника, устанавливаемого на верхней части вакуумной камеры [2]. Специально

разработанная конструкция плазменного электронного источника формировала пучок электронов в форвакуумных условиях. Непрерывная генерация сфокусированного электронного пучка, с силой тока до 150 мА, энергией электронов от 2 до 20 кэВ и плотностью мощности до 10^3 Вт/см², проводилась в диапазоне давлений от 5 до 20 Па. Фокусировка электронного луча была осуществлена специальным магнитным полем фокусирующей катушки. Обработка Mn-Zn феррита электронным пучком выполнялась в течение $t_{обр}=15$ мин при двух режимах: 1 – $T_{обр}=1000^{\circ}\text{C}$, 2 – $T_{обр}=1200^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 1 представлена гистограмма изменения химического состава Mn-Zn феррита в результате электронно-лучевой обработки. Анализ состава поверхности проводился с помощью оптического анализатора спектра излучения Bruker.

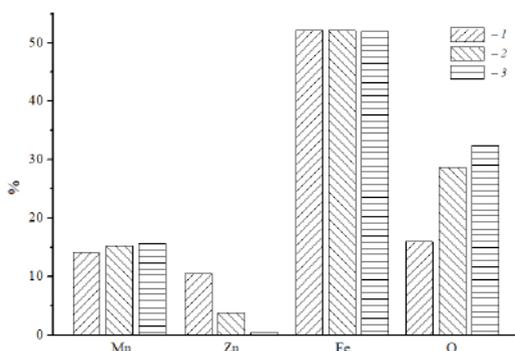


Рис.1 – Гистограмма изменения химического состава Mn-Zn феррита в результате обработки:
1 – исходный образец; 2 – $T=1000^{\circ}\text{C}$; 3 – $T=1200^{\circ}\text{C}$

На рисунке 1 видно, что с ростом температуры обработки наблюдается уменьшение доли цинка в приповерхностном слое, что обусловлено его низкой температурой испарения $T_{исп} = 907^{\circ}\text{C}$.

Для исследования влияния электронно-лучевой обработки на магнитные свойства феррита была изготовлена катушка индуктивности, где в качестве сердечника использовался исследуемый образец, а для обмотки использовался четырехжильный эмалированный медный провод. При измерении индуктивности использовалась катушка с числом витков $n=17$.

Образец помещался на плоский нагреватель, с помощью которого производился нагрев. Значение температуры фиксировалось на цифровом термометре с термопарой. Измерение индуктивности и

добротность проводились с помощью цифрового LCR-метра при частоте 100 кГц. Нагрев производился до температуры (~275°C), при которой наблюдалось падение индуктивности до значения близкого к 0.

Магнитная проницаемость была рассчитана по формуле:

$$\mu = \frac{L \cdot 4 \cdot \pi}{\omega^2 \cdot d \cdot \Phi} \quad (1)$$

На рисунке 2 представлена зависимость магнитной проницаемости от температуры при частоте 100 кГц.

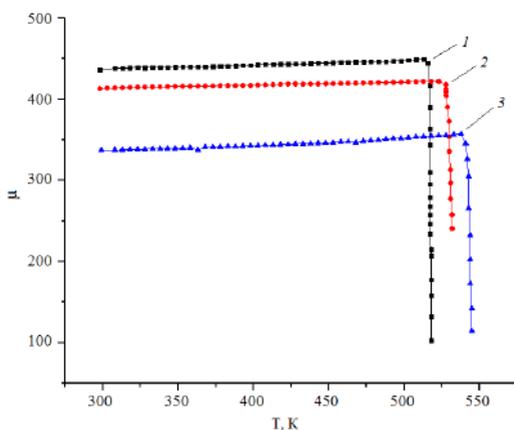


Рис.2 – Зависимость магнитной проницаемости феррита НМ700 от температуры при $f=100$ кГц:
1 – исходный образец; 2 – $T=1000^\circ\text{C}$; 3 – $T=1200^\circ\text{C}$

В результате нагрева происходит рост магнитной проницаемости феррита, а при достижении температуры Кюри наблюдается резкое падение магнитной проницаемости, обусловленное переходом феррита из ферромагнетика в парамагнетик.

На представленной зависимости наблюдается увеличение температуры Кюри, обусловленное изменением химического состава Мп-Zn феррита в ходе электронно-лучевой обработки.

На рисунке 4 представлена зависимость магнитной проницаемости от температуры электронно-лучевой обработки при частоте 100 кГц.

Уменьшение магнитной проницаемости с ростом температуры электронно-лучевой обработки происходит из-за испарения цинка из приповерхностного слоя образца.

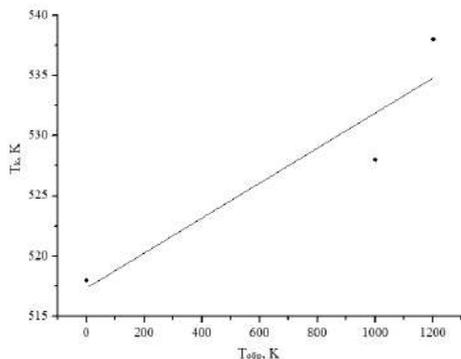


Рис.3 – Зависимость температуры Кюри от температуры электронно-лучевой обработки

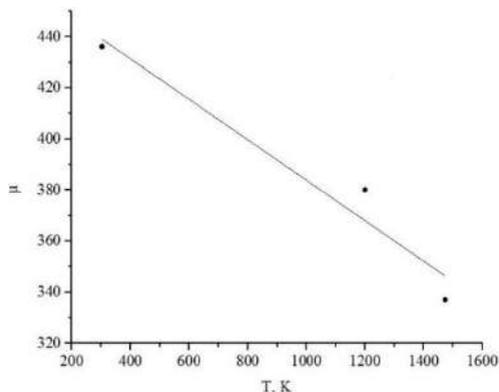


Рис.4 – Зависимость магнитной проницаемости феррита NM700 от температуры электронно-лучевой обработки при $f=100$ кГц

Работа выполнена коллективом научной лаборатории интегральной оптики и радиофотоники при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках соглашения №075-03-2020-237/1 от 05 марта 2020г. (внутренний номер проекта FEWM-2020-0040). Экспериментальные результаты получены с использованием оборудования ЦПК «Импульс» (регистрационный номер 200568).

Литература:

1. Кристаллы ферритов и их свойства / А.Ю. Стариков, И.И. Сулейманова, Ю.Д. Савина, Д.А. Винник // Журнал – Вестник Совета

молодых учёных и специалистов Челябинской области. – 2018. – № 2. – С. 65.

2. Особенности фокусировки электронного пучка плазменного источника в форвакуумном диапазоне давлений / А.А. Зенин, И.Ю. Бакеев, Ю.А. Бурачевский, А.С. Климов, Е.М. Окс // Письма в ЖТФ. – 2016. – № 13. – С. 104.

3. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей. Справочная книга. – Ленинград.: Энергоатомиздат, 1986. – 488 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕГИРОВАННЫХ МАРГАНЦЕМ КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК ДЛЯ РЕЗИСТИВНЫХ ДАТЧИКОВ ГАЗОВ

Т.С. Михайлова

Южный Федеральный университет,
г. Таганрог, tmihaylova@sfnu.ru

Научный руководитель: Мясоедова Т.Н., к.т.н., в.н.с.

Легированные марганцем кремний-углеродные пленки осаждали электрохимическим методом из раствора метанола, гексаметилдисилазана (ГМДС) и сульфата марганца. Кремний-углеродные пленки наносились на диэлектрическую подложку с группой тонкослойных электродов Cr/Cu. Зависимости поверхностного сопротивления от температуры показали, что сенсор на основе кремний-углеродных пленок обладает полупроводниковыми свойствами. Исследование газочувствительных свойств показало, что сенсор обладает селективной чувствительностью к 1 ppm CO при рабочей температуре 150°C

Mn-doped silicon-carbon films were deposited by using the electrochemical route from the methanol, hexamethyldisilazane, and manganese sulfate solution. Silicon-carbon films were deposited on a dielectric substrate with a group of thin layer Cr/Cu electrodes. The dependences of the surface resistance on the temperature showed that the sensor based on the silicon-carbon films exhibits semiconductor properties. The study on gas-sensitive properties showed that the sensor exhibits selective gas sensitivity to 1 ppm CO at an operating temperature of 150°C

Микроэлектроника и электронные технологии активно используются во всех сферах жизни и влияют на уровень ее развития, что позволяет говорить о высокой значимости этой области науки и техники. Параметры и характеристики изделий микроэлектроники напрямую зависят от используемых материалов и технологий. Это указывает на необходимость и важность исследований в области новых материалов и

разработки технологий их производства. К таким материалам относятся кремний-углеродные пленки. В частности, выбор кремний-углеродных пленок в качестве чувствительного слоя для сенсора обусловлен их температурной стабильностью, устойчивостью к агрессивным средам, широким диапазоном удельного сопротивления, хорошей теплопроводностью, наличием большой площади поверхности, а для некоторых образцов также возможностью получения металлосодержащих нанокompозитов на их основе [1-3].

В настоящее время широко используются химические газовые датчики на основе твердотельных полупроводников. Их основным преимуществом является относительная простота конструкции, низкая стоимость изготовления, высокая надежность [4]. Среди различных химических датчиков наиболее коммерчески доступными являются резистивные полупроводниковые газовые датчики, поскольку сочетание тонкопленочных и толстопленочных технологий позволяет создать очень дешевое и массовое производство этих датчиков [5]. В общем случае резистивный датчик представляет собой небольшую диэлектрическую подложку, на которую нанесен газочувствительный слой и металлизация. Резистивные датчики обладают высокой чувствительностью (до 1 ppm для водорода и некоторых других газов), коротким временем отклика (несколько десятков секунд), миниатюрными размерами и низкой стоимостью в массовом производстве [6]. Однако для достижения такой скорости отклика и чувствительности датчики нагреваются до высоких температур, что приводит к деградации газочувствительного слоя и выходу из строя устройства, а потому для повышения стабильности более целесообразно использовать металлосодержащие композиционные материалы.

Таким образом, разработка резистивных структур для газовых датчиков на основе металлосодержащих кремний-углеродных пленок представляется актуальной.

В данной работе кремний-углеродные пленки были получены простым в реализации электрохимическим методом. Система электролитического осаждения была обоснована и показана в работе [7]. Электрохимическое осаждение может осуществляться только на электропроводящих поверхностях. Однако в будущем полученные материалы планируется использовать в качестве резистивных газовых датчиков. В связи с этим была разработана специальная структура подложки. Это поликор с группой тонкослойных электродов Cr/Cu [8]. Процесс осаждения пленки был следующим. Подложка устанавливалась на отрицательном электроде, а графит - на положительном электроде. Расстояние между электродами было установлено равным 10 мм [7].

Осаждение проводили в два этапа. На первом этапе кремний-углеродную пленку осаждали из раствора метанола с ГМДС (соотношение 9:1) в течение примерно 8 часов. Это время, необходимое для того, чтобы электроды заросли с образованием контакта между ними. Затем в раствор был добавлен сульфат марганца (0,05 % по массе), и пленка, легированная Mn, осаждалась в течение 10 минут. Двухэтапный процесс осаждения был обусловлен низкой адгезией пленки, легированной марганцем, к подложке. Время осаждения на второй стадии было сокращено за счет более высокой проводимости металлсодержащего раствора. Структура полученных пленок, включающих различные фазы карбида кремния, а также соединения марганца с кремнием и углеродом, была показана в работе [9].

Исследование электрофизических характеристик кремний-углеродных пленок (зависимость сопротивления пленки от рабочей температуры) проводилось с использованием калибратора-измерителя напряжения и тока Keithley 2450. Также использовалась испытательная камера, оснащенная керамическим нагревателем с возможностью нагрева до 300°C, на которой располагается исследуемый сенсорный элемент. Температурные зависимости измерялись в диапазоне 30-250°C.

На рисунке 1 показаны зависимости сопротивления от температуры и $\ln R$ от $1/T$ для сенсорных элементов на основе кремний-углеродных пленок, легированных марганцем. Из рисунка 1 (а) видно, что сенсорный элемент проявляет полупроводниковые свойства, поскольку с увеличением температуры нагрева поверхностное сопротивление уменьшается экспоненциально, о чем свидетельствует выпрямление кривой в координатах Аррениуса $\ln R-1/T$ (рисунок 1 (б)). Этот факт свидетельствует о структурной неупорядоченности (аморфности) материала и отсутствии существенного влияния на его проводимость подслоя меди [10].

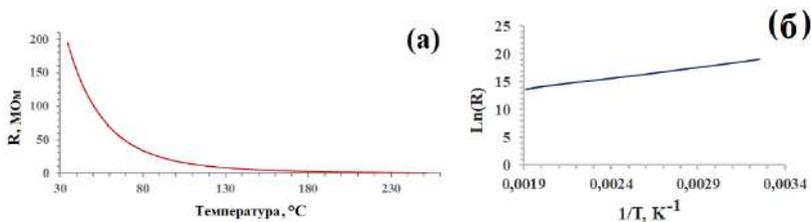


Рис.1 – (а) Зависимость поверхностного сопротивления сенсорного элемента от температуры, (б) линейная зависимость $\ln R$ от $1/T$ для сенсорного элемента

Калибратор-измеритель Keithley 2450 и испытательная камера также использовались для изучения газочувствительных характеристик сенсорного элемента. В качестве обнаруживаемого токсичного газа был выбран оксид углерода II (CO). Реакция сенсорного элемента определялась разницей в поверхностном сопротивлении пленок до и после воздействия газа [8]. Было показано, что сенсорный элемент проявляет наибольшую чувствительность при рабочей температуре в 150°C к 1 ppm CO. Средняя чувствительность достигает величины около 5 %. На рисунке 2 показана типичная динамика отклика сенсорного элемента на газ (рисунок 2 (а)) и зависимость реакции сенсорного элемента на газ от рабочей температуры (рисунок 2 (б)).

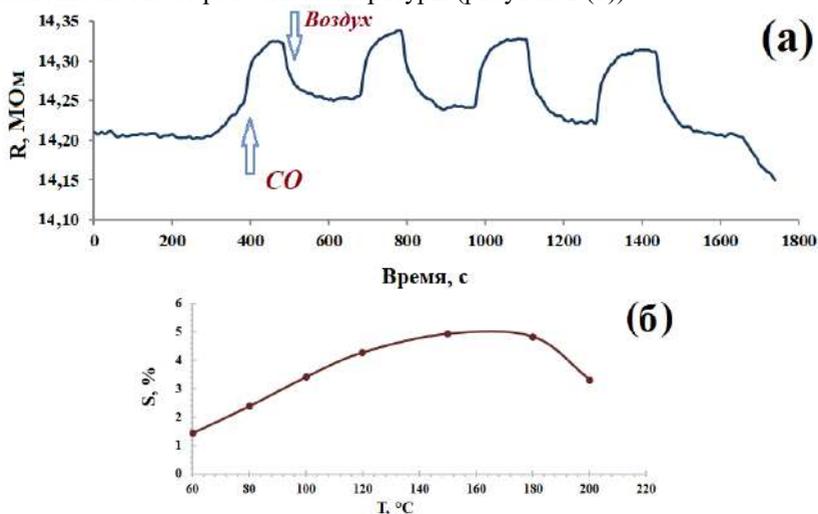


Рис.2 – (а) Типичная динамика отклика сенсорного элемента на 1 ppm CO (рабочая температура 150°C), (б) Зависимость отклика сенсорного элемента от рабочей температуры

Таким образом, в работе показано, что сенсорные элементы на основе кремний-углеродных пленок, легированных марганцем, обладают полупроводниковыми свойствами. Кроме того, сенсорный элемент на основе кремний-углеродных пленок, легированных марганцем, обладает селективной чувствительностью к 1 ppm CO при рабочей температуре 150°C. Полученные результаты позволяют говорить о возможности использования разработанных сенсорных элементов для мониторинга токсичных газов.

Литература:

1. Liu A.Y., Cohen M.L. Prediction of new low compressibility solids // *Science*. – 1989. – Vol. 245. – P. 841-842.
2. Kouakou P., Brien V., Assouar B. Preliminary synthesis of carbon nitride thin films by N_2/CH_4 microwave plasma assisted chemical vapour deposition: characterisation of the discharge and the obtained films // *Plasma Processes and Polymers* – 2007. – Vol. 4. – P. S210-S214.
3. Ding X.Z. Structural and mechanical properties of Ti-containing diamond-like carbon films deposited by filtered cathodic vacuum arc // *Thin Solid Films*. – 2002. – Vol. 408, N 1-2. – P. 183-187.
4. Lundstrom I. Approaches and mechanisms to solid state based sensing // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 1996. – Vol. 35, N 1-3. – P. 11-19.
5. Петров В.В., Королев А.Н. Наноразмерные оксидные материалы для сенсоров газов. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2008. – 152 с.
6. Обвинцева Л.А. Полупроводниковые металлооксидные сенсоры для определения химически активных газовых примесей в воздушной среде // *Российский химический журнал*. – 2008. – № 2. – С. 113-121.
7. Grigoryev M.N., Myasoedova T.N., Mikhailova T.S. The electrochemical deposition of silicon-carbon thin films from organic solution [Electronic resource]. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1124/8/081043> (accessed: 27.10.2021).
8. Myasoedova T.N., Grigoryev M.N., Plugotarenko N.K., Mikhailova T.S. Fabrication of gas-sensor chips based on silicon-carbon films obtained by electrochemical deposition [Electronic resource]. – URL: <https://www.mdpi.com/2227-9040/7/4/52> (accessed: 27.10.2021).
9. Mikhailova T.S., Grigoryev M.N., Myasoedova T.N. The two-stage electrochemical deposition of a manganese-doped silicon-carbon film onto the silicon (100) substrate [Electronic resource]. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1410/1/012027> (accessed: 27.10.2021).
10. Zav'yalov S.A., Kupriyanov L.Yu., Pivkina A.N. The microstructure of and charge transfer in thin films based on metal-polymer nanocomposites // *Russian Journal of Physical Chemistry*. – 2006. – Vol. 80, N 9. – P. 1461-1466.

ВЛИЯНИЕ МАРГАНЦА И МЕДИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО ЧУГУНА

Р.И. Михалев, К.А. Скороход

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, mixalev.2017@stud.nstu.ru

Научный руководитель: Степанова Н.В., к.т.н., доцент

В работе исследовалось влияние марганца и меди на структуру и механические свойства алюминиевого чугуна. Комплексное легирование марганцем и медью способствует образованию в структуре образца сложных карбидов, уменьшению перлитной составляющей матрицы, образованию выделению частиц меди внутри зерен и на их границах и увеличению твердости материала с 368 HV до 543 HV.

The effect of manganese on the structure and mechanical properties of aluminum cast iron were investigated. Complex alloying with manganese and copper contributes to the formation of complex carbides in the sample structure, a decrease in the pearlite component of the matrix, the formation of copper particles inside the grains and at their boundaries, and an increase in the hardness of the material from 368 HV to 543 HV.

На сегодняшний день основным материалом для изготовления деталей узлов трения используются сплавы на медной основе – бронзы и латуни. Однако использование этих материалов при изготовлении крупногабаритных изделий и изделий, работающих в условиях высоких нагрузок, запыленности и в присутствии абразивной среды весьма затруднительно в связи с высокой стоимостью изготовления и низкими показателями износостойкости. В связи с этим для материаловедов поиск новых, менее дорогостоящих материалов, не уступающих медным сплавам по антифрикционным и механическим свойствам, является актуальной задачей.

Для решения поставленной задачи могут подойти сплавы на основе железа – антифрикционные чугуны [1], дополнительно легированные элементами, улучшающими их антифрикционные свойства, коррозионную стойкость и повышающие износостойкость – алюминием, марганцем и медью.

Для проведения исследований были получены два образца методом литья в холодную металлическую форму – кокиль. В качестве основного материала для изготовления образцов использовался переклещенный чугун марки ПЛ-2, легированный 2 % Al с последующим добавлением в сплав 5 % Cu и 3 % Mn. Химический состав полученных образцов представлены в таблице 1. Химический анализ проводился на оптическом эмиссионном спектрометре ARL 3460 Quantis.

Таблица 1 – Химический состав полученных образцов

№, п/п	C, %	Al, %	Cu, %	Si, %	Mn, %
1	2,74	1,66	0,014	0,66	0,37
2	2,41	2,01	4,9	1,03	2,93

Исследование микроструктуры образцов были выполнены с использованием оптического светового микроскопа *Carl Zeiss Axio Observer Alm* и растрового электронного микроскопа *Carl Zeiss EVO 50 XVP*, для определения твердости материалов использовался микротвердомер для проведения испытаний по Виккерсу *Wolpert Group 402 MVD*, нагрузка на алмазный индентор составляла 100 Н.

Алюминий является хорошим графитизатором в чугунах, уже при введении в сплав десятых долей позволяет получить полностью серую структуру [2]. Это объясняется тем, что алюминий имеет большее сродство с углеродом, чем железо, и при добавлении в жидкий расплав алюминия происходит перераспределение сил меж атомных связей в пользу наиболее устойчивых связей Fe-Al и связей C-C. Во время кристаллизации избыточный углерод, оставшийся в расплаве, выделяется в виде пластинчатого графита на границах зерен основного материала (рис. 1 а), представляющего собой мелкодисперсный перлит (рисунок 1 б).

Последующее добавление марганца в сплав тормозит графитизацию чугуна [3] и способствует образованию сложных карбидов $(Fe, Mn)_3C$ и увеличению содержания метастабильного аустенита в металлической основе [4-6]. Также марганец частично растворяется в самом растворе.

Для частичного подавления влияния марганца сплав дополнительно легируется медью. Введение меди в сплав способствует снижению количества первичного цементита в структуре образца и увеличению перлитной составляющей матрицы [7, 8] (рисунок 2 а). Высокое содержание меди и марганца в алюминиевом чугуне значительно снижает точку начала мартенситного превращения мартенсита, что обуславливает образование в структуре иголок мартенсита (рисунок 2 б). Также во всем объеме материала на границах и внутри зерен наблюдаются включения меди дисперсностью от 0,5 до 2 мкм (рисунок 2 а). Выделение частиц меди в матрице материала объясняется низкой растворимостью меди в железе.

ДюрOMETрические исследования показали, что комплексное легирование алюминиевого чугуна марганцем и медью способствует увеличению средней твердости сплава с 368 HV до 543 HV, в результате чего повышается износостойкость материала. Такое резкое увеличение твердости обусловлено образованием в структуре карбидных фаз и мартенсита, а также уменьшением перлитной составляющей матрицы.

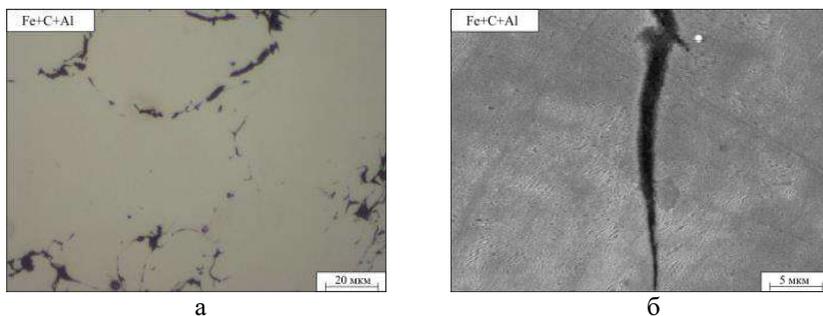


Рис.1 – Структура исходного алюминиевого чугуна:
 а – оптическая микроскопия (нетравленный образец);
 б – растровая электронная микроскопия

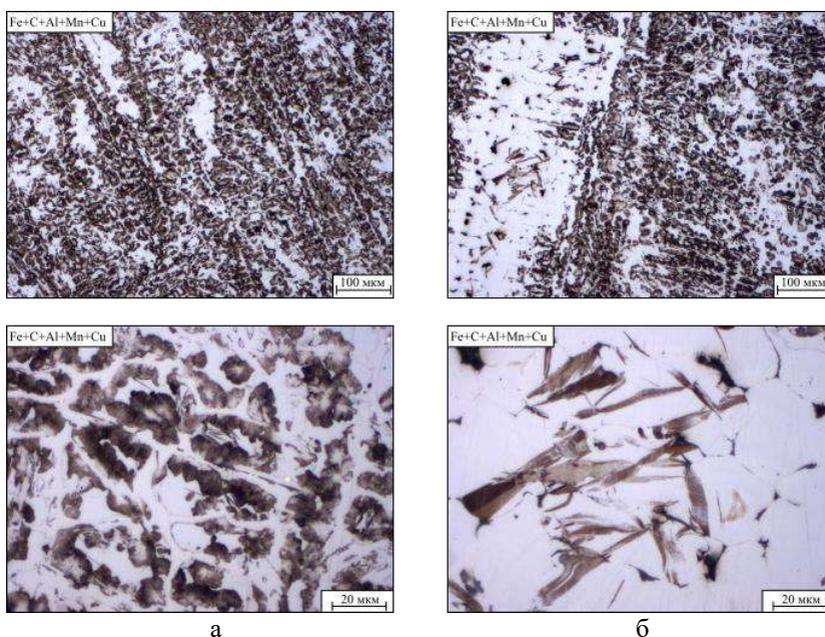


Рис.2 – Структура алюминиевого чугуна,
 легированного марганцем и медью

Выводы:

1. В результате комплексного легирования алюминиевого чугуна марганцем и медью способствует формированию перлитно-аустенитной структуры в материале и карбидной фазы в виде сложных карбидов

(Fe, Mn)₃C с включениями меди на границах и внутри зерен матрицы. Также высокая концентрация легирующих элементов в сплаве приводит к значительному снижению точки начала мартенситного превращения, что обуславливает образование в структуре иголок мартенсита.

2. Согласно результатом дюрOMETрических исследований комплексное легирование алюминиевого чугуна марганцем и медью способствует увеличению твердости материала с 368 HV до 543 HV, в результате чего повышается износостойкость материала.

В рамках дальнейших исследований планируется проведение исследования влияния марганца и меди на структуру и механические свойства алюминиевого чугуна после термообработки при различных режимах нагрева и охлаждения образцов и проведение дополнительных исследований на износостойкость.

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

Литература:

1. Петриченко В. К. Антифрикционные материалы и подшипники скольжения – М: Государственное научнотехническое издательство машиностроительной литературы, 1954. – 377 с..
2. Бобро Ю. Г. Легированные чугуны – М: Metallurgy, 1976. – 288 с.
3. Roula A. Manganese distribution and effect on graphite shape in advanced cast irons / A. Roula, G.A. Kosnikov // Materials Letters 62, – 2008, – P. 3796-3799
4. Бубликов В. Б. Влияние содержания марганца и скорости охлаждения на кристаллизацию, структурообразование и механические свойства высокопрочного чугуна // Процессы литья. – 2009, – № 6. – С. 28-34.
5. Чейлях А. П. И. М. Олейник Экономолегированные износостойкие марганцевые чугуны // Литейное производство. – 1995. – № 1. – С. 30-35.
6. Yaer X. Erosive wear characteristics of spheroidal carbides cast iron / X. Yaer, K. Shimizu, T. Matsumodo, T. Momono // Wear. – Vol. 264. – 2008. – P. 947-957.
7. Медь в черных металлах / Под ред. И. Ле. Мэя, Л. М. –Д. Шётки: Пер. с англ. Под ред. О. А. Банных. Москва : Metallurgy, 1988. – 311 с.
8. Tsujikawa M. Pearlite Stabilisation by Copper on Ductile Cast Iron / M. Tsujikawa, N. Matsumoto, K. Nakamoto, Y. Michiura // Key Engineering Materials. – Vol. – 457. – 2011. – P. 151-156.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ НАПЛАВКА ПОКРЫТИЙ СОСТАВА AlCoCuFeNi

К.Ю. Мозгачева, К.Д. Егошин
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, mozgagova11@gmail.com
Научный руководитель: Руктуев А.А., к.т.н., с.н.с.

В работе представлены результаты исследования покрытий состава AlCoCuFeNi полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки на поверхности стали 20. Установлено, что структура покрытий имеет дендритное строение. Твердость полученных покрытий в 3 раза выше твердости материала основы.

The AlCoCuFeNi coatings, obtained by the non-vacuum electron-beam cladding, have been studied. It is shown that the coatings have a dendritic structure. The hardness of the obtained coatings is 3 times higher than the hardness of the base material.

Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) – новый класс многокомпонентных сплавов, который был впервые предложен Yeh и др. в 2004 г [1]. Высокоэнтропийные сплавы это сплавы, состоящие как минимум из 5 компонентов, концентрация каждого из которых находится в диапазоне от 5 до 35 %. Благодаря высокой энтропии смешения в таких сплавах, как правило, не происходит образование сложных интерметаллидов, и их структура представлена ГЦК и/или ОЦК фазами [2]. Ряд недавних исследований показал, что ВЭСы могут обладать высоким уровнем различных свойств, таких как твердость [3], прочность [4], термическая стабильность [5], высокая износостойкость и коррозионная стойкость [6]. Таким образом, в последние годы, ВЭС являются перспективными конструкционными материалами и привлекают большой интерес ученых.

Обычно высокоэнтропийные сплавы получают методами дуговой плавки и литья. Следует отметить, что получение слитков больших размеров или сложных форм является затруднительным, при применении традиционных технологий. Перспективным, для решения отмеченной проблемы, может являться получение покрытий из ВЭС на поверхности конструкционных материалов. Высокие скорости плавления и кристаллизации, достигаемые при реализации лазерной или электронно-лучевой наплавки, позволяют получить более дисперсные структуры и более высокий уровень механических свойств, по сравнению с традиционными технологиями. Кроме того, одновременное плавление покрытия и материала основы обеспечивает прочную металлургическую связь на границе покрытие-основа.

Таким образом, целью данной работы являлось получить покрытие из высокоэнтропийного сплава состава AlCoCuFeNi на поверхности углеродистой стали, а также исследовать его структуру и микротвердость.

В качестве метода получения покрытия была выбрана технология вневакуумной электронно-лучевой наплавки. Данная технология реализуется на промышленном ускорителе электронов ЭЛВ-6 оборудованном устройством для выпуска электронного пучка в атмосферу. Благодаря высокой энергии электронов, составляющей 1,4 МэВ, пучок обладает значительной проникающей способностью, что позволяет получать покрытия значительной толщины за один проход.

В качестве исходных компонентов для получения покрытий были использованы порошки Al, Co, Cu и Ni с чистотой > 99%. Порошки смешивались в эквимолярной пропорции, после чего к ним добавлялся порошок LiF, используемый в качестве флюса, в пропорции 7:3 по массе. Отмеченное соотношение масс обеспечивает защиту от взаимодействия металлических порошков с газами атмосферы. Полученная порошковая смесь наносилась на поверхность заготовки из стали 20. После чего поступательно перемещалась под сканирующим электронным пучком. Таким образом обрабатываемая площадь составляла 100x50 мм². Режимы наплавки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы наплавки порошковой смеси.

№	Порошки металлов	Флюс	Плотность насыпки, г/см ²	Ток пучка, мА	Скорость движения заготовки
1	AlCoCuNi 70 %	LiF 30%	0,8	25	15
2	AlCoCuNi 70 %	LiF 30%	0,45	20	15

Результаты исследования элементного состава полученных покрытий представлены в таблице 2. Видно, что в покрытии сохраняется эквимолярная концентрация металлов порошковой смеси. В тоже время, следует отметить, что использованные режимы не обеспечили необходимого уровня плавления материала основы, что привело к более низкой концентрации железа, по сравнению с другими элементами. Толщина покрытий, полученных по режимам 1 и 2, составила 2,03 мм и 1,27 мм соответственно.

Таблица 2 – Элементный состав наплавленных слоев, ат. %.

№	Al	Co	Cu	Fe	Ni
1	23,2	21,8	21,7	11,0	22,3
2	24,8	22,4	21,1	9,0	22,7

Фотографии микроструктуры покрытий представлены на рисунке 1. Установлено, что она имеет дендритное строение. Междендритное пространство обеднено Al и обогащено Cu.



Рис. 1 – Микроструктура наплавленных покрытий:
а – режим 1, б – режим 2.

Микротвердость покрытий была равномерной по всей глубине и составила 462 HV_{0,1} и 540 HV_{0,1} для режимов 1 и 2 соответственно.

Таким образом, установлено, что методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки возможно сформировать покрытие из высокоэнтропийного сплава состава AlCoCuFeNi на поверхности низкоуглеродистой стали.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Грант Президента МК-2226.2020.8, соглашение № 075-15-2020-110). Исследования проведены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов» НГТУ. (№ 13.ЦКП.21.0034, 075-15-2021-698).

Литература:

1. Yeh J. W. et al. Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: novel alloy design concepts and outcomes //Advanced Engineering Materials. – 2004. – Vol. 6, N 5. – P. 299-303.
2. Basu I., Ocelík V., De Hosson J. T. BCC-FCC interfacial effects on plasticity and strengthening mechanisms in high entropy alloys //Acta Materialia. – 2018. – Vol. 157. – P. 83-95.
3. Elkatatny S., Gepreel M. A. H., Hamada A. Effect of Cold Rolling on the Microstructure and Hardness of Al5Cr12Fe35Mn28Ni20 High Entropy Alloy //Materials Science Forum. – 2018. – Vol. 917. – P. 241-245.

4. Coury F. G. et al. High-throughput solid solution strengthening characterization in high entropy alloys //Acta Materialia. – 2019. – Vol. 167. – P. 1-11.

5. Haase C., Barrales-Mora L. A. Influence of deformation and annealing twinning on the microstructure and texture evolution of face-centered cubic high-entropy alloys //Acta Materialia. – 2018. – Vol. 150. – P. 88-103.

6. Xingwu W. M. Q. et al. Microstructure and corrosion resistance of Al₂CrFeCoCuNi_x entropy alloy coatings prepared by laser cladding //Infrared and Laser Engineering. – 2018. – Vol. 47. – P. 1-8.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАЛОЖЕНИЯ ВСПЕНЕННОЙ ФТОРПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ПРОВОДА И КАБЕЛИ

М.А. Муравьев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, tam44@tpu.ru

Научный руководитель: Леонов А.П., к.т.н., доцент

Рассмотрены основные проблемы при освоении технологии физического вспенивания фторполимерной изоляции.

The main problems in mastering the technology of physical foaming of fluoropolymer insulation are considered.

Прогресс в кабельной промышленности, как и во многих других индустриях, не представляется возможным, без тесного взаимодействия и совместного усилия, с другими смежными отраслями науки и техники. Отличный тому пример, путь развития радиочастотного кабеля в отечественной промышленности. Так, в начале своего существования, радиочастотные кабели выполнялись существенно с каучуковой изоляцией и успешно справлялись с задачами, поставленными перед ними в те времена.

Совершенствование радиочастотных кабелей идет по следующим направлениям [1-2]:

- Повышение прецизионности технологических процессов за счет совершенствования оборудования и автоматизации управления процессами;
- Расширение частотного диапазона радиочастотных кабелей;
- Расширение диапазона рабочих температур ниже – 60 и выше + 200 °С;

- Уменьшение массы и геометрических размеров радиочастотных кабелей;

- Требования к уменьшению взаимных влияний в радиоаппаратуре привели к разработке конструкций кабелей с усиленным экранированием.

Вследствие этого, возникает необходимость разрабатывать и осваивать новые изоляционные материалы. Одним из перспективных и сложных направлений в области разработки новых радиочастотных кабелей и кабелей связи, является освоение наложения пористой фторполимерной изоляции, которая позволит закрыть сразу несколько важных требований.

Интерес к пористому фторопласту, появился в 70-ых годах прошлого века, когда было обнаружено, что при растяжении нагретого стержня из монолитного политетрафторэтилена (ПТФЭ) происходит образование пористости в структуре материала [3]. И с того времени начался процесс разработок и освоения технологии получения микропористой структуры фторопласта. Радиочастотные кабели с пористой структурой изоляции выпускают ограниченное число производителей, используя запатентованную ими технологию.

Хоть изоляция из пористого ПТФЭ и обладает улучшенными электрическими характеристиками, но она обладает всеми недостатками сплошного ПТФЭ, которые подробно изложены в [5]. Поэтому на сегодняшний день усилия компаний направлено на разработку собственной рецептуру вспененной фторполимерной композиции.

Поры (ячейки) в вспененной фторполимерной композиции представляют собой пузырьки, которые образуются и застывают в определенной форме и размере, после охлаждения расплава полимера. Вспененная изоляция по структуре может разделяться на два вида: закрытая вспененная структура и открытая вспененная структура, рисунок 1. Также вспененная изоляция может разделяться по размеру пор, на стандартную пористую с плотностью 10^6 ячеек/см³ и микропористую с плотностью 10^9 ячеек/см³.

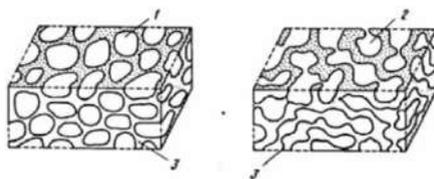


Рис.1 – Изображение ячеистых структур открытого и закрытого типов, образующихся в процессе вспенивания:

1 – закрытые ячейки; 2 – открытые ячейки; 3 – стенки ячеек

Наиболее перспективным и востребованным способом наложения вспененной фторполимерной изоляции стал метод физического вспенивания [6].

В данном методе для контроля количества и размера пор в сухую массу полимера добавляется зародышеобразователь (нуклеатор), который перемешивается со фторполимером в процессе плавления и гомогенизации в экструдере. Для физического вспенивания в расплавленную массу добавляется вспенивающий (пенообразующий) агент, в роли которого выступает газ, который и вызывает процесс роста пор [6]. Весь остальной процесс наложения вспененной фторполимерной изоляции схож с наложением фторполимеров методом экструзии. С помощью этого метода, достигается наиболее равномерное расположенных пор по всей длине изоляции.

Рост пор является сложным процессом, потому как свойства расплава полимера изменяются во время фазы их роста. Поэтому вязкость материала, влияет и на скорость роста клеток и на скорость потока полимера в пространстве цилиндра экструдера. Образование и рост пор в расплавленном пластике дестабилизирует материал. Нестабильная пена требует стабилизации, чтобы сохранить поры в пространстве вспененного слоя. Поэтому процесс порообразования будет зависеть от многих факторов [7]: это и давление газа, текучесть расплава, скорость шнека, выделение тепла из-за разложения/активации вспенивающего агента.

Технологический режим наложения такой изоляции, является коммерческой тайной большинства производителей высокопористой фторполимерной изоляции, поэтому небольшому количеству отечественных производителей, у которых есть оборудование для наложения физической вспененной, приходится опытным путем подбирать нужный технологический режим.

Так, на рисунке 2 представлены опытные образцы, изоляция которых изготовлена из специализированного материала для вспенивания марки Teflon FFR 750 фирмы DuPont [8].

И хотя результат соответствует степени вспенивания, которую заявляет производитель в технической спецификации на материал, а именно от 20 до 60%, однако такой результат нельзя считать удовлетворительным.

На рисунке 2, отчетливо видно, что поры, образовавшиеся в процессе экструзии, распределились не равномерно по всему объему изоляции и имеют не однородный размер. Что конечно снижает качество итогового изделия.



Рис. 2 – Образцы физически вспенной фторполимерной изоляции с пористостью около 40 %

Возможные пути решения:

1. Применение улучшенной марки фторполимера для вспенивания. Так, наряду с маркой Teflon FFR 750, DuPont стала выпускать усовершенствованные марки FFR 770 и FFR 880, которые должны обеспечивать более однородные поры и степень вспенивания до 65%.

2. Разработка собственной рецептуры фторполимерной изоляции. Как пример, отечественный патент [9], авторы которого, создали несколько рецептов, используя разные нуклеаторы, активные агенты и их концентрации в составе. Выбрав оптимальный состав, авторы смогли добиться 50% степени вспенивания.

3. Поиск и подбор оптимального технологического режима вспенивания.

Несмотря на то, что применение и развитие технологии получения высокопористой фторполимерной изоляции связано со многими трудностями, однако развитие в этом направлении, поможет отечественным производителям разрабатывать и выпускать качественный и конкурентный продукт, который сможет закрыть многие специфичные требования потребителей.

Литература:

1. Хренков Н.Н., Лобанов А.В. Радиочастотные кабели – М.: Де’Либри, 2019. – 344 с.
2. А. Прокимов, К. Джуринский, Р. Кузнецов. Кабельные сборки СВЧ-диапазона. Назначение, классификация, особенности применения // Компоненты и технологии. – 2015. – № 5. – С.28-32.
3. А. Прокимов, А. Лобанов, К. Джуринский, Р. Кузнецов. Фазовая стабильность кабельных сборок СВЧ с диэлектриком ПТФЭ // Компоненты и технологии. – 2015. – № 6 – С.58-63.

4. Cables – Dynawave. Low Loss Cables. Semi-Rigid Replacement Cables. [Electronic resource] – URL: <http://www.dynawave.com/connectors-and-cable-assemblies/cables/>
5. Understanding Phase Versus Temperature Behavior «The Teflon™ Knee». Application note, Micro Coax. [Electronic resource] // November 12, 2009 – URL: www.microwavejournal.com.
6. Sina Ebnesajjad. FLUOROPLASTICS Volume 2: Melt Processible Fluoropolymers - The Definitive User's Guide and Data Book. Second Edition, 2015. – P.749
7. Foamed plastics. In: Kirk-Othmer encyclopedia chemical technology. 4th ed., vol. 11. New York: John Wiley & Sons. – 1994. – P. 730 – 783.
8. Teflon™ FFR Resins. [Electronic resource] – URL: <https://www.teflon.com/en/products/resins/ffr>
9. Патент № RU 2554886С1. Российская федерация. Фторопластовая порообразующая композиция и способ получения фторопластовой порообразующей композиции / Н.Н. Логинава, Л.П. Просолупова, Ю.А. Смирнова, М.В. Шолуденко, Д.С. Красовский. № RU 2554886 С1; заявл. 29.04.2014; опубл. 27.06.2015, Бюл. № 12. – 12 с.

ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА TiZrHfNb В ХОДЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

И.Е. Насенник, И.В. Иванов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, goga.mer@mail.ru**

Научный руководитель: Батаев А.А., д.т.н., профессор

В рамках данной работы исследуются структура и свойства высокоэнтропийного сплава TiZrHfNb в процессе его пластической деформации. Были оценены изменения параметра решетки и микротвердости исследуемых объектов. Выявлено, что значения микротвердости имеют не прямую корреляцию со значениями параметра решетки. Данное явление позволяет сделать предположение о происходящих в пределах структуры сплава дислокационных преобразованиях на поздних этапах пластической деформации.

This work is devoted to investigation structure of the high entropy alloy TiZrHfNb in process deformation. Samples was obtained using melting and cold rolling. According to the results, dislocation transformations occur in the deformation $\epsilon=60...80\%$.

Темпы развития аэрокосмической промышленности в современном мире, ставят перед учеными цель создать материал, сохраняющий оптимальные конструкционные свойства, в условиях высоких температур и давлений [1]. На сегодняшний день, одними из наиболее перспективных материалов для применения в ракетостроении, считаются высокоэнтропийные сплавы. Исследуемый в работе сплав TiZrHfNb, обладает относительно низкой удельной плотностью, высокими значениями прочности, а также, способен сохранять эксплуатационные показатели в условиях высокого давления [2].

Исследуемые в работе образцы сплава TiZrHfNb были получены из технически чистых материалов, методом плавки в аргоно-дуговой печи с охлаждаемой медной подложкой, в инертной атмосфере аргона. В ходе создания образцов, проводилось 9-кратное переплавление с переворачиванием, для достижения максимальной гомогенности структуры.

Полученные слитки, были подвергнуты холодной пластической деформации с использованием прокатного стана. В результате прокатки относительная степень деформации (ϵ) прокатанных образцов составила 20%, 40%, 60% и 80%.

Изменение механических свойств полученных материалов оценивались с использованием микротвердомера *WOLPERT Group 402*. Нагрузка на индентор составляла 10Н. Зависимость значений микротвердости от степени деформации представлена на рисунке 1.

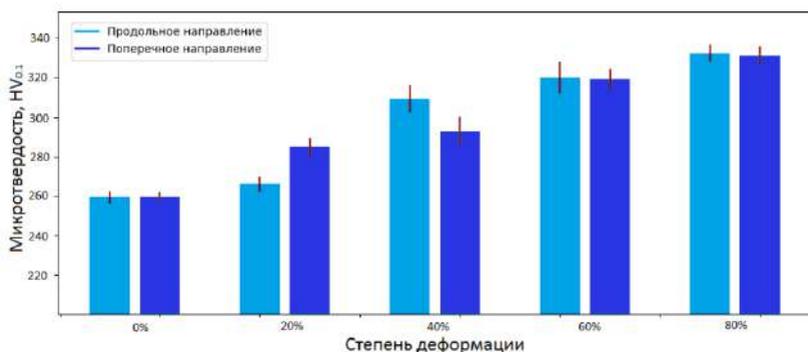


Рис. 1 – График значений микротвердости

Для расчета параметра решетки и выявления закономерностей его изменения в ходе деформации, были проведены исследования с использованием метода дифракции синхротронного излучения. Исследования проводились на линии «Жесткая рентгенокопия» установки ВЭПП-4, расположенной в Институте ядерной физики им.

Будкера СО РАН (г. Новосибирск). Энергия излучения равнялась 68,78 кэВ. Рентгенографические исследования проводились при комнатной температуре. Для регистрации дифрагированного излучения использовался детектор *mar345*. Рабочей областью являлся круг с диаметром 345 мм. Расстояние до исследуемого материала составляло 595 мм. Получаемые в результате двумерные дифрактограммы интегрировались и приводились к одномерному виду. В качестве примера на рисунке 2 представлена дифрактограмма образца, деформированного со степенью обжатия $\varepsilon = 60\%$.

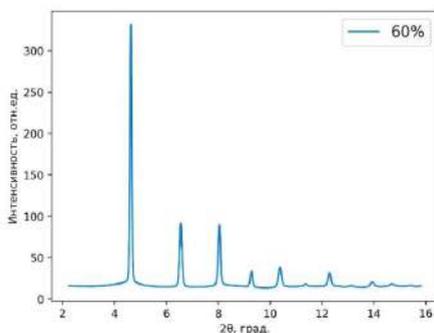


Рис. 2 – Дифрактограмма образца сплава, деформированного со степенью $\varepsilon = 60\%$

С использованием полученных рентгенограмм были рассчитаны параметры ячейки для исследуемых объектов. График зависимости параметра элементарной ячейки от степени деформации представлен на рисунке 3.

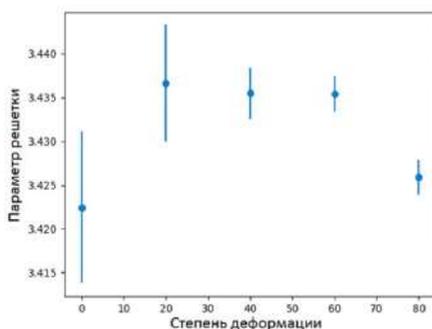


Рис. 3 – Изменение параметра решетки высокоэнтропийного сплава TiZrHfNb в ходе деформации

Анализируя характер изменения микротвердости и параметра решетки образцов в ходе холодной пластической деформации,

необходимо отметить, что на последнем этапе пластической деформации ($\varepsilon = 80\%$), динамика их изменение существенно различается. Одновременно с незначительным изменением значений микротвердости, происходит существенное снижение параметра решетки. Данный факт, позволяет предположить наличие некоторых дислокационных преобразований, происходящих в сплаве при достижении вышеуказанной области деформации и препятствующих однозначному заключению об эффективности применения сплава в аэрокосмической промышленности. Для выявления особенностей преобразования дефектной структуры в процессе пластической деформации необходимо проведение дополнительных исследований с использованием таких методов как профильный анализ результатов дифракции синхротронного излучения или просвечивающая электронная микроскопия.

Работа была выполнена при финансовой поддержке РФ в рамках научного проекта № 20-73-10215. Исследования проведены на оборудовании ЦКП Структура, механические и физические свойства материалов» НГТУ. (№ 13.ЦКП.21.0034, 075-15-2021-698).

Литература:

1. *D.B. Miracle*, A critical review of high entropy alloys and relate concepts // *Acta Materialia* – 2017. – Vol. 122 – P. 511-514.

2. *Chen, S., Tong, Y., Tseng, K.-K., Yeh, J.-W., Poplawsky, J., Wen, J.* Phase transformations of HfNbTiZr high-entropy alloy at intermediate temperatures. // *ScriptaMaterialia*. – 2019. – Vol. 3, N 158. – P 50-56.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕРМОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ЦИРКОНАТА ГАДОЛИНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

А. К. Насырова, Е. Е. Корниенко

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nasyrova.alina98@mail.ru**

Рассмотрена структура термозащитных покрытий (ТЗП), полученных с помощью плазматрона «ПНК-50». Результаты измерений пористости показали, что режимы напыления влияют на микроструктуру покрытий.

The structure composition of thermal barrier coatings (TBC) obtained with the help of the «PNK-50» plasmatron is considered. The results of measuring the porosity showed that the spraying mode affects the microstructure of the coatings.

Лопатки газотурбинного двигателя самолета подвергаются воздействию больших термических и механических нагрузок. Наиболее эффективным средством защиты лопаток является нанесение керамических термозащитных покрытий (ТЗП) [1].

В качестве материала ТЗП широко используется пироклор цирконата гадолиния ($Gd_2Zr_2O_7$). Данный материал обладает низким коэффициентом теплопроводности (1,3 Вт/мК при 1100 °С) и высоким температурным коэффициентом линейного расширения ($11,65 \cdot 10^{-6} K^{-1}$). Таким образом, пироклор цирконата гадолиния обеспечивает хорошую теплоизоляцию металлической подложки [2]. Цирконат гадолиния также является устойчивым к взаимодействию с CMAS-частицами (Calcium-Magnesia-Alumino-Silicates – алюмосиликат кальция-магния, переносимые по воздуху частицы песка, золы, пыли и т.д.) [3].

В настоящее время плазменные методы нанесения покрытий получили широкое распространение. Структура теплозащитных плазменных покрытий состоит из деформированных частиц (ламелей) толщиной в несколько микрон. Из-за быстрого распространения микротрещин, параллельных поверхности подложки, такие покрытия имеют маленькие сроки службы. Однако низкая стоимость оборудования и высокая производительность воздушно-плазменного напыления обеспечивают данному методу коммерческую привлекательность [4-5]. Для того чтобы получить покрытия с минимальным количеством дефектов и желаемыми свойствами, необходима оптимизация режимов плазменного напыления.

Таким образом, цель данной работы заключается в исследовании влияния режимов плазменного напыления на структуру термозащитных покрытий из порошка цирконата гадолиния.

В данной работе была исследована структура покрытий из порошка цирконата гадолиния $Gd_2Zr_2O_7$ (далее обозначается GZO), приготовленного с избытком гадолиния 5 ат. % от стехиометрического состава. Избыточное содержание гадолиния в исходном порошке предусмотрено для компенсации его интенсивного испарения в процессе плазменного напыления.

При выполнении данной работы использовали технологию плазменного напыления. Напыление покрытий было проведено в Институте прикладной и теоретической механики СО РАН на установке плазменного напыления порошковых материалов «ПНК-50». Порошок из цирконата гадолиния напыляли на таблетки из коррозионностойкой стали диаметром 15 мм. Толщина покрытий составила 300...400 мкм. Для исследований использовали две гранулометрические фракции порошков:

40...63 мкм и 63...100 мкм. Нумерация режимов напыления в зависимости от технологических параметров представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы плазменного напыления

Номер режима	Расход порошка (г/с)	Ток дуги (А)	Дистанция напыления, мм	Размер частиц порошка, мкм
1	1,5	200	170	63...100
2		200		40...63
3		170		63...100
4		140		
5		110		

Исследования структуры керамических покрытий проводили на растровом электронном микроскопе Carl Zeiss EVO50 XVP. Пористость была измерена микроскопическим способом.

Методом растровой электронной микроскопии было выявлено, что структура всех покрытий практически не отличается. В качестве примера на рисунке 1 представлено изображение структуры покрытия, полученного по режиму 4. Видно, что оно состоит из ламелей порошка $Gd_2Zr_2O_7$. На рисунке 1, а видна горизонтальная трещина, расположенная на границе раздела «керамическое покрытие – подложка». Наличие трещины можно объяснить возникновением термических напряжений, вследствие большой разницы термического расширения между покрытием и подложкой. В покрытиях наблюдаются поры и микротрещины (рисунок 1, б), что характерно для ламельной структуры.

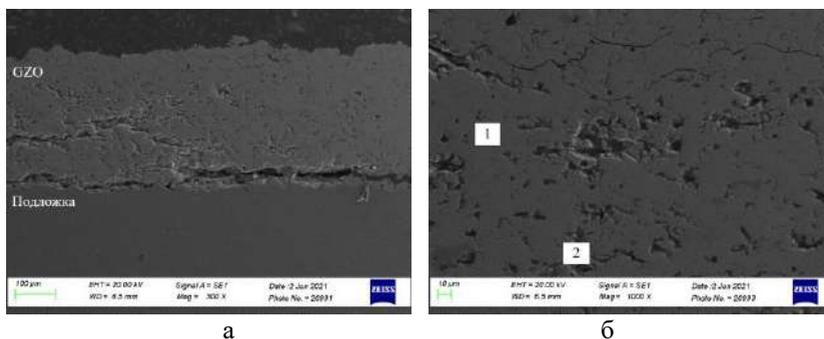


Рис. 1 – Структура покрытий, полученных воздушно-плазменным напылением (режим 4)

Все покрытия характеризуются наличием плотных (1) и менее плотных (рыхлых) участков (2). Визуальное сравнение структуры покрытий показало, что покрытия, полученные по режиму 2, имеют максимальную объемную долю плотных участков. Полученные данные можно объяснить следующим образом: небольшой размер частиц 40...63 мкм и высокий ток дуги 200 А ведет к более полному нагреву и расплавлению керамических частиц.

Результаты измерения пористости (таблица 2) показали, что наибольшей плотностью обладают покрытия, полученные по режиму 1. Однако покрытия, полученные по данному режиму, характеризуются наличием большого количества микротрещин.

Таблица 2 – Объемные доли плотных и рыхлых участков, результаты измерения пористости и микротвердости покрытий

Номер режима	Пористость покрытий, %
1	2,97±1,61
2	4,60±1,85
3	7,38±1,01
4	6,85±1,87
5	5,95±1,94

В заключении можно сделать следующие выводы.

1. Для снижения термических напряжений и предотвращения отслоения керамического покрытия от подложки перед нанесением покрытия необходимо наносить металлический подслои.

2. Полученные покрытия характеризуются наличием плотных и рыхлых участков. Наибольшее количество плотных участков, наблюдалось в покрытиях, полученных по режиму 2.

3. Минимальную пористость (2,97±1,61 %) имеют покрытия, полученные по режиму 1.

Литература:

1. Будинковский С. А., Чубаров Д. А., Матвеев П. В. Современные способы нанесения теплозащитных покрытий на лопатки газотурбинных двигателей // Авиационные материалы и технологии. – 2014. – № 5. – С. 38-44.

2. Composition and Structure of Coatings Based on Rare-Earth Zirconates / Mazilin I. V., Baldaev L. Kh., Drobot D. V., Marchukov E. Yu., Akhmetgareeva A. M. // Inorganic Materials. – 2016. – Vol. 52, № 9. – P. 939-944.

3. Drexler J. M., Ortiz A. L., Padture N. P. Composition Effects of Thermal Barrier Coating Ceramics on Their Interaction with Molten Ca-Mg-Al-silicate (CMAS) Glass // Acta Materialia. – 2012. – Vol. 60, № 15. P. 5437-5447.

4. Девойно О. Г., Оковитый В. В. Плазменные теплозащитные покрытия на основе диоксида циркония с повышенной термостойкостью // Науки и техника. – 2015. – № 1. – С. 35-39.

5. Yan Zhao, Yang Gao. Structural Evolution of Plasma-sprayed Nanoscale 3 mol% and 5 mol% Yttria-stabilized Zirconia Coating During Sintering // Applied Surface Science. – 2017. – № 425. – P. 1170-1176.

АНАЛИЗ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПОДВОДНОЙ МОКРОЙ СВАРКЕ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ СТАЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ

В.Е. Никулин¹, А.М. Левченко²

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра

Великого ²ООО «УНТЦ «Сварка»

г. Санкт-Петербург, v.e.nikulin@ya.ru

Научный руководитель: Паршин С.Г., д.т.н., профессор

В данном исследовании проведен анализ остаточных сварочных напряжений с применением рентгенодифракционного и магнитоанизотропного методов контроля после сварки под водой и на воздухе образцов из стали повышенной прочности. Два взаимодополняющих метода позволяют определить величину и особенности распределения остаточных сварочных напряжений.

In this study, the analysis of residual welding stresses was carried out using X-ray diffraction and magnetoanisotropic methods after underwater wet welding and in the air of high-strength steel. Two complementary methods allow determining the magnitude and features of the distribution of residual welding stresses.

Изготовление сварных проб под водой и определение в них остаточных сварочных напряжений позволяет определить оптимальные режимы сварки, скорректировать термические циклы, и тем самым снизить величину остаточных напряжений и риск развития холодных трещин, сократив затраты на проведение работ по технической диагностике сварных соединений под водой.

Для контроля остаточных напряжений в сварных металлоконструкциях широкое применение находит метод рентгеновской дифракции (XRD – X-Ray diffraction). XRD позволяет оценить деформацию кристаллической решетки поликристаллов по

смещению дифракционных пиков, что имеет прямую связь с остаточными напряжениями первого рода. В исследовании совместно с рентгеновской дифрактометрией рассматривается применение магнитоанизотропного метода (МAM). Принцип его работы основан на возникновении магнитоупругого эффекта в ферромагнитных материалах и измерении ЭДС, наводимой в измерительных катушках датчика слабым переменным магнитным полем [1-3].

Из стали D32 были изготовлены 2 образца со стыковым сварным соединением С19. Размеры образцов составили 350x200x12 мм. Сварка проводилась в автоматическом режиме под водой и на воздухе с помощью самозащитой порошковой проволоки ППС-АПЛ2 (ООО «УНТЦ Сварка», г. Санкт-Петербург). Режимы сварки представлены в таблице 1. Для предупреждения образования дефекта при многопроходной сварке каждый наплавленный валик, кроме последнего облицовочного, был зачищен шлифовальной машинкой и стальной щеткой.

Таблица 1 – Режимы сварки

Образец	Кол-во проходов	I , А	U , В	P , Вт	v , м/мин	Q , кДж/мм
Подводная мокрая сварка	7	147	27	3969	0,186	1,07
Сварка на воздухе	8	188	32	6016	0,235	1,23

Для сканера механических напряжений «Stressvision LAB» (ООО «Феррологика», г. Санкт-Петербург), основанного на МAM, по результатам статических испытаний на упругое растяжение образца из стали D32 была установлена зависимость между заданной нагрузкой и показаниями прибора «Stressvision», которая выражается в виде линейной корреляции:

$$\sigma = 1,287 \cdot SV + 200 (1),$$

где σ – механическое напряжение в процессе нагружения, МПа; SV – механические напряжения в у.е., полученные с помощью «Stressvision».

Результат измерений сканером механических напряжений представлен в виде разности между продольными σ_y и поперечными σ_x остаточными напряжениями в соответствующих координатах прямоугольной сетки. Шаг между координатами сетки составил 20 мм для изготовленных образцов со сварным соединением, при этом сварной шов расположен вдоль линии X8 (рис. 1).

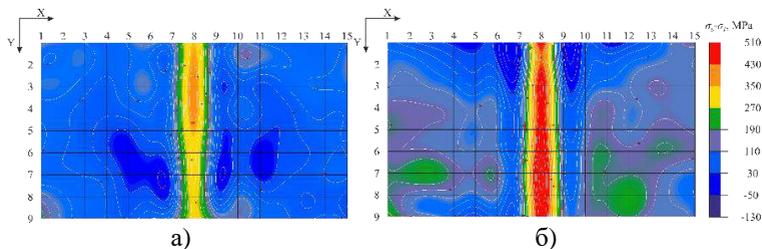


Рис.1 – Результат определения остаточных сварочных напряжений с помощью МАМ:
 а) после сварки на воздухе; б) после подводной мокрой сварки

Портативный рентгеновский двулучевой кристалл-дифракционный анализатор «HePKA» (ООО «РаДиаТех», г. Гатчина) был применен для определения остаточных напряжений методом XRD. Двулучевой способ съемки $\sin^2\psi$, реализованный в приборе, обеспечивается с помощью двух хромовых анодов, размещенных под двумя углами $\psi_1=0^\circ$ и $\psi_2=38^\circ$. Данный тип устройства позволяет измерять остаточные напряжения в направлении съемки $\varphi=0$ по смещению дифракционных пиков $\Delta\theta$, вызванных деформацией кристаллической решетки в плоскости hkl . Разрешающая способность рентгеновского дифрактометра достигает 1 мм². Закон Брэгга-Вульфа описывает дифракцию упругого рассеивания рентгеновского излучения на кристалле:

$$2d_{hkl} \sin\theta = n\lambda \quad (2),$$

где d_{hkl} – межплоскостное расстояние, Å; θ – Брэгговский угол; n – дифракционный порядок, $n=1$; λ – длина волны рентгеновского излучения, для хромовых анодов $\lambda_{CrK\alpha}=2,2897\text{Å}$.

Пересчет измеренных механических напряжений следует из закона Гука и Брэгга-Вульфа (4):

$$\sigma = E \cos\theta \cdot \Delta\theta / (1 + \nu) \sin^2\psi_2 \quad (3),$$

где E – модуль упругости материала; ν – коэффициент Пуассона.

Максимальные остаточные сварочные напряжения после сварки, определенные XRD представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Максимальные остаточные сварочные напряжения.

Компоненты напряжений	На воздухе	Под водой
Продольные напряжения σ_y , МПа	382	352
Поперечные напряжения σ_x , МПа	56	240

Оценка остаточных напряжений с применением двух различных физических методов не позволяет с абсолютной точностью провести

измерения, так как отличается разрешающая способность, глубина проникновения излучения, чувствительность к измеряемым компонентам тензора механических напряжений [4-5].

Сравнение результатов измерений по параметрам разности продольных σ_y и поперечных σ_x напряжений, полученных двумя методами для подводной мокрой сварки и сварки на воздухе представлены на рисунке 2.

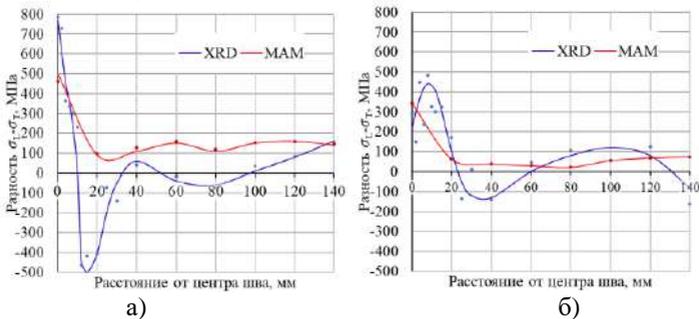


Рис.2 – Сопоставительные результаты измерений разности σ_y - σ_x с помощью МАМ и ХРД:

а) после подводной мокрой сварки; б) после сварки на воздухе

Применение методов рентгеновской дифракции и магнитной анизотропии позволили определить величину и распределение остаточных сварочных напряжений после подводной мокрой сварки и сварки на воздухе стали повышенной прочности D32.

Для подводной мокрой сварки и сварки на воздухе стали D32, максимальные продольные остаточные сварочные напряжения близки к пределу текучести $\sigma_y=0,88...0,96\sigma_T$. Тем не менее, остаточные поперечные сварочные напряжения после подводной сварки превышают поперечные напряжения после сварки на воздухе более чем в 4 раза.

Литература:

1. Адаменков А.К., Веселова И.Н. Шпицер В.Я. Оценка развития эрозионно-коррозионного износа с помощью метода измерения магнитной анизотропии // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. №1. С. 113-119.
2. Krivokrysenko E.A., Popov G.G., Bolobov V.I., et al. Use of magnetic anisotropy method for assessing residual stresses in metal structures // Key Engineering Materials. – 2020. 854 KEM. P.10-15.
3. Могильнер Л.Ю., Скуридин Н.Н. Лабораторные исследования магнитно-анизотропного метода контроля напряженно-деформированного состояния трубопроводов // Наука и технологии

трубопроводного транспорта, нефти и нефтепродуктов. – 2021. № 11. С. 145—151.

4. Gurova T., Estefen S.F., Leontiev A. Time-dependent redistribution behavior of residual stress after repair welding // *Welding in the World*. 2017. – V. 61. P. 507—515.

5. Residual Stresses and Microstructural Features of Rotary-Friction-Welded from Dissimilar Medium Carbon Steels / E. Priymak, Z. Boumerzoug, A. Stepanchukova, and V. Ji // *Physics of Metals and Metallography*, 2020, Vol. 121, No. 13. – P. 1339–1346. doi: 10.1134/S0031918X20130165

6. Предел выносливости и механизм разрушения фрикционных сварных соединений геологоразведочных бурильных труб / А.С. Атамашкин, Е.Ю. Приймак, Е.С. Тулибаев, А.В. Степанчукова // *Черные металлы*. – 2021. – №5. –С. 33-38.

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

И.Н. Ягрушкина, Д.А. Пересунько

Самарский государственный технический университет, 443100,

Россия, г. Самара, dashenka.peresunko@mail.ru

Научный руководитель: Ягрушкина И.Н., к.х.н., доцент

Российский рынок полимерных материалов для автомобильных компонентов характеризуется недостаточно развитым производством полимерных и композиционных материалов. Одними из инновационных материалов для автомобилестроения являются стирольные пластики. Его применение позволяет создать новый облик автомобиля. Это касается как интерьера, так и экстерьера. Цель данной работы заключалась в разработке состава полимерной композиции на основе АБС-пластика из отечественного сырья. Разработан состав ударопрочной полимерной композиции на основе АБС-пластика и ПК, не уступающий по комплексу свойств импортному материалу.

The Russian market of polymer materials for automotive components is characterized by insufficiently developed production of polymer and composite materials. Styrene plastics are one of the innovative materials for the automotive industry. Its use allows you to create a new look of the car. This applies to both the interior and exterior. The purpose of this work was to develop the composition of a polymer composition based on ABS plastic from domestic raw materials. The composition of an impact-resistant polymer composition based on ABS plastic and PC has been developed, which is not inferior in terms of a set of properties to imported material.

Для производства автомобилей ВАЗ применяются импортные смесевые композиции: BAYBLEND и NORIL, которые представляют собой композиционные материалы, состоящие из АБС-пластика и поликарбоната, полифениленоксида и полиамида, соответственно. Материалы обладают хорошими технологическими и физико-механическими свойствами и могут применяться для производства облицовки наружного зеркала, стойки багажника, решеток радиатора и других деталей автомобиля. Но необходимость закупки по импорту и высокая стоимость являются недостатком, ограничивающим применение данных материалов. [1]

Целью данной работы являлась разработка материала из отечественного сырья, обладающего свойствами, аналогичными свойствам BAYBLEND марки KV2-1473. Замена импортного сырья на отечественное приводит к снижению себестоимости перспективных моделей автомобилей.

Разрабатываемый материал должен иметь большую область применения и обладать высокими ударопрочными, технологическими и теплофизическими свойствами. [2]

Теплостойкость и прочность – основные показатели, принятые для оценки качества полимеров.

При выборе материала необходимо учитывать разницу температур между окружающей средой и салоном автомобиля; детали автомобиля подвержены высоким динамическим и ударным нагрузкам. [3]

Для изготовления облицовки порога, каркаса панели приборов для перспективных автомобилей ВАЗ используются материалы со следующими показателями свойств: ПТР = 9-18 г/10 мин, σ_t не менее 50 МПа, σ_{br} не менее 45 МПа, σ_{ep} не менее 50%, α_k образца с надрезом при 23°C не менее 30 кДж/м², $T_g = 95-180^\circ\text{C}$.

Материалы NORIL и BAYBLEND, которые используются в отечественном и зарубежном автомобилестроении, обладают хорошими показателями. NORIL IN120 отличается высокой теплостойкостью по Вика 215°C, высокой прочностью при растяжении 54 МПа, но имеет невысокую ударную вязкость по Шарпи 15 кДж/м², что приводит к поиску материала с более высокими ударопрочными свойствами. BAYBLEND же полностью отвечает предъявляемым требованиям. Он обладает хорошими прочностными свойствами: $\sigma_t = 58$ МПа, ударная вязкость по Шарпи 35 кДж/м², что полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к материалам, предназначенным для изготовления деталей. Температура размягчения по Вика 140°C.

Был проведен анализ, в результате которого получены композиции поликарбоната с АБС-пластиком марки 1106-30. Состав АБС: полибутадиеновый каучук – 22%; нитрилакриловая кислота – 20,6%; стирол – 57,4%; ионол – 0,4%. Но независимо от условий получения и

количества вводимого модификатора композиции имели хрупкий характер разрушения из-за большого содержания стирола в АБС.

Повышение ударопрочности достигается за счет каучука.

Исследование импортных материалов показало, что в BAYBLEND-T45M; T85M и KV2-1473 содержание бутадиеновой фазы составляет: 4,5; 2,6; 4,1%. А в составе 60% ПК+40% АБС – 1%.

Отечественные марки АБС содержат от 1 до 26% каучуковой фазы. На основании выполненных исследований была разработана специальная марка АБС, в которой содержание каучука (полибутадиена) в 3-4 раза выше, чем у выпускаемых марок, то есть равна 70-80%.

В качестве модельного состава для последующего подбора марки АБС-пластика и поликарбоната использовался состав 30% АБС и 40% ПК.

Термостабильность расплавов имеет огромное значение для переработки термопластов. Период термостабильности для импортных материалов более 40 минут, а для смесей, изготовленных с применением отечественных марок АБС, она составляет 16–20 минут.

В ходе исследований была разработана смесь на основе ПК и АБС 2020-30. При разработке огромную роль играет также выбор марки поликарбоната. Были приготовлены и испытаны смеси с содержанием поликарбоната следующих марок: ПК-2С; ПК-3С; Lexan; ПК-2Н; ПК-4.

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1
Свойства композиций на основе ПК и 30 % АБС 2020-30

№ п/п	Показатель	Марка ПК					
		Норма по ТУ	ПК-2С	ПК-3С	Lexan	ПК-2Н	ПК-4
1	Показатель текучести расплава при 260°C и P=5 кг, г/10 мин	Не менее 9	12	14	13	14,4	15
2	Предел текучести при растяжении, МПа	Более 50	54	60	53	61	62
3	Относительное удлинение при разрыве, %	Более 50	96	55	54	50	53
4	Ударная вязкость по Шарпи, кДж/м ² , v-надрез при 22°C	30	45	35	30	34	37
5	Теплостойкость по Вика, °С	Более 130	137	137	136	135	133

Сравнительный анализ композиции смесового материала ПК/30% АБС с импортным аналогом представлен в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение композиции смесового материала ПК/30% АБС с импортным аналогом

№ п/п	Показатель свойств	Норма по ТУ	Отечественный АБС/ПК		Байбленд KV2-1473
			Черный	Серый	
1	ПТР при T=260°C, P=5 кг, г/10 мин	9-18	10	13,7	13
2	Предел текучести при растяжении, МПа	Более 50	55	55	58
3	Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	Не менее 45	46	45	45
4	Относительное удлинение при разрыве, %	Более 50	53	56	56
5	Ударная вязкость по Шарпи, кДж/м ² , образец с надрезом при 20°C	30	33	33	35
6	Температура размягчения по Вика, °С	95-180	139	138	136

Таким образом, получен материал, содержащий АБС-пластика 2020-30 – 68,8%, поликарбоната ПК-3С – 29,48%, модификатора ОКД - 0,98%, термостабилизатора – 0,74%.

Литература:

1. Строчкова В.В., Карацупа С.В., Лютенко А.О. Грунтобетоны на основе техногенного сырья КМА для строительства автомобильных дорог: монография. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2006. – 172 с.
2. Панков П.П. и др. Применение комплексного метода стабилизации грунта для получения дорожных грунтобетонов // Сб. статей Международной научной конференции «Технические и естественные науки». – Санкт-Петербург: Изд-во ГНИИ «Нацразвитие», 2018. – С. 192–193.
3. Du Ch., Yang G., Zhang T., Yang Q. Miltiscale study of the influence of promoters on low-plasticity clay stabilized with cement-based composites // Construction and Building Materials. – 2019. – Vol. 213. – P. 537–548.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОВОДИМОСТИ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ ГРАФЕН – ГЕКСАГОНАЛЬНЫЙ НИТРИД БОРА

Д.А. Потеряев

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, poteryayevd@inbox.ru

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

Аннотация: Электрические свойства пленок и печатных структур из композитных наночастиц с различной морфологией на основе частиц, однородных по размеру, а также содержащих графен и мелкие хлопья нитрида бора (h-BN), были исследованы. Показано, что добавление сверхнизкой концентрации проводящего полимера PEDOT:PSS [(поли (3,4-этилендиокситиофен): полистиролсульфонатный композит)] приводит к заметному улучшению проводимости пленок, что важно для печатной технологии создания электронных приборов.

Abstract: The electrical properties of films and printed structures made of composite nanoparticles with different morphologies based on particles of uniform size and containing graphene and small flakes of boron nitride (h-BN) were investigated. It is shown that the addition of an ultra-low concentration of the conductive polymer PEDOT:PSS [(poly (3,4-ethylenedioxythiophene): polystyrene sulfonate composite)] leads to a noticeable improvement in the conductivity of films, which is important for the printing technology of electronic devices.

Композиты (или составные материалы), сформированные из двух или более материалов с определенными физическими или химическими характеристиками, при интеграции в сложные частицы демонстрируют огромный потенциал в новых приложениях, поскольку они прочнее, легче, дешевле, а также могут обладать некоторыми новыми функциональными свойствами по сравнению с традиционными материалами [1,2]. Разработка этих композитов на основе двумерных наноматериалов приносит большие успехи с новыми применениями, которые ранее были неизвестны.

Появление графена и других слоистых материалов проложило путь новому поколению электронных устройств на основе 2D-материалов [3]. В графене электроны ведут себя как фермионы Дирака с нулевой массой, вызывая низкотемпературную подвижность носителей заряда, приближающуюся к $200\,000\text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ в подвешенных листах графена [4] и около $2\,000 - 10\,000\text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ (при комнатной температуре) для полевого транзистора на подложках SiO_2/Si [5]. Таким образом, свойства графена очень чувствительны к окружающей среде, а подвижность носителей значительно снижается из-за повышенного

рассеяния на зарядах и шероховатости подложки. Гигантская подвижность носителей в графене значительно снижается из-за внешних возмущений, например, в подложке или покрывающем слое, и их влияние можно минимизировать, заключив графен между пластинками гексагонального нитрида бора (h-BN) [6].

Настоящее исследование сосредоточено на создании композитной суспензии из наночастиц благодаря сильному синергетическому эффекту в нанолитах h-BN и взаимодействию с графеном с появлением новых функциональных свойств, интересных для технологий 2D-печати. Для этого использовались чешуйки графена и h-BN, синтезированные в пламенных струях постоянного тока. Особенностью частиц, синтезируемых в плазме, является малая дисперсия их латеральных размеров и толщин. Размер чешуек h-BN составляет 40–60 нм при толщине 1–5 монослоев (до 1,5–2 нм). Размер чешуек графена составляет 70–100 нм с толщиной 1–4 монослоя (до 1,5 нм).

Исследованы структура и электрические свойства композитных наночастиц, созданных из графена и h-BN с заведомым превышением порога перколяции содержания графена. Обнаружена сильная корреляция между структурой наночастиц и типом проводимости. Размер наночастиц позволяет использовать их для струйной 2D-печати. Были созданы тестовые печатные резисторы, которые сравнивались с пленками из композитных наночастиц, изготовленных путем нанесения капли на подложку SiO_2 / Si .

Результаты печати с использованием композитных наночастиц представлены на Рис.1. Для печати использовались чернила с тремя составами. АСМ- и оптические изображения напечатанных линий приведены на Рис.1(А) и вставке на Рис.1(Б).

В качестве варианта чернил был использован состав со сверхнизким добавлением (0,1 об.%) 1%-го водного раствора проводящего полимера PEDOT:PSS. Эта добавка в состав чернил значительно улучшает проводимость. АСМ-изображения слоев, напечатанных чернилами с добавкой PEDOT:PSS, представлены на Рис.1(В). Толщина слоя, извлеченная из данных АСМ, составляет 600–800 нм. Данные удельного сопротивления для напечатанных слоев разного содержания и различной толщины приведены на Рис.1(Г). Удельное сопротивление полимерного слоя, созданного из PEDOT:PSS, составляет 4–10 кОм / кв. Видно, что добавление сверхмалого количества PEDOT:PSS приводит к сильному снижению сопротивления слоя до 0,5–0,8 кОм / кв, что даже ниже, чем в случае отдельных слоев PEDOT: PSS или графена. Этот неожиданный эффект объясняется сильным синергетическим взаимодействием PEDOT:PSS с композитными наночастицами. Для лучшего понимания этот эффект требует дальнейшего изучения.

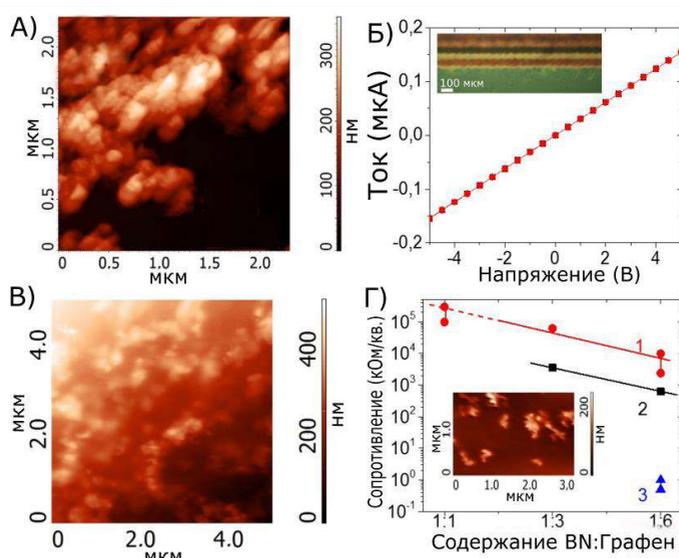


Рис.1 – Композитные структуры, полученные при помощи технологии печати. А) АСМ-изображение слоя толщиной ~ 200 нм; Б) Вольт-амперная характеристика слоя с содержанием BN:Графен = 1:3. На вставке - оптическое изображение тестовых структур; В) АСМ-изображение слоев, напечатанных чернилами с добавлением PEDOT:PSS; Г) Данные удельного сопротивления для напечатанных слоев с разным содержанием и разной толщиной. Точки 1 - слои толщиной ~ 200 нм, 2 - слои толщиной ~ 1000 нм, 3 - слой с добавкой PEDOT:PSS и толщиной ~ 800 нм. На вставке - АСМ-изображение композитных наночастиц BN:Графен = 1:6.

Как правило, напечатанные слои более плотные, плоские и гладкие по сравнению с нанесенными каплями на подложку SiO_2/Si . Добавка PEDOT:PSS в чернила дает возможность регулировать не только электрические, но и механические свойства композитного слоя.

Благодарности: Авторы выражают благодарность Российскому научному фонду за финансовую поддержку (РНФ, № 19-72-10046).

Заключение: Разработана стратегия создания бинарных нанокompозитов h-BN:Графен за счет синергетических эффектов и взаимодействий между частицами. Показано, что электропроводящий графен и электроизоляционные наполнители из нитрида бора позволяют эффективно управлять свойствами таких композитов. Найден способ получения композитных наночастиц из графена и h-BN, уже

находящихся в суспензии, для использования в инъекционной 2D-печати. С увеличением доли графена в композите (BN: G) проводимость наночастиц композита изменяется. При этом во всех рассматриваемых наночастицах содержание графена находится заведомо выше порога перколяции.

Литература:

1. Chang J. et al. Ultratough and ultrastrong graphene oxide hybrid films via a polycationitrile approach // *Nanoscale Horizons*. – 2021. – Vol. 6, № 4. – P. 341–347.
2. Ozer L.Y. et al. Inorganic semiconductors-graphene composites in photo(electro)catalysis: Synthetic strategies, interaction mechanisms and applications // *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*. – 2017. – Vol. 33. – P. 132–164.
3. Li Y. et al. Nonlinear resonances in electrochemical SERS of SCN⁻, rotation-resolved Raman and anti-Stokes Raman of SCN⁻ in HV-TERS // *RSC Advances*. – 2012. – Vol. 2, № 32. – P. 12160.
4. Du X. et al. Approaching ballistic transport in suspended graphene // *Nature Nanotechnology*. – 2008. – Vol. 3, № 8. – P. 491–495.
5. Park B.-J. et al. Defect-Free Graphene Synthesized Directly at 150 °C via Chemical Vapor Deposition with No Transfer // *ACS Nano*. – 2018. – Vol. 12, № 2. – P. 2008–2016.
6. Banszerus L. et al. Ultrahigh-mobility graphene devices from chemical vapor deposition on reusable copper // *Science Advances*. – 2015. – Vol. 1, № 6.

ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ЖАРОСТОЙКОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЁВ, СОЗДАНЫХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Е.А. Пухова, Е.Г. Бушуева

Новосибирский Государственный Технический университет,

г. Новосибирск, E-mail: pukliza@yandex.ru

Научный руководитель: Плотникова Н.В., к.т.н., доцент

Данная работа посвящена определению уровня жаростойкости модифицированного слоя, созданного на хромоникелевой аустенитной стали методом вневакуумной электронно-лучевой обработки. В качестве материала модифицированного слоя использовались порошковые смеси хрома и бора в различных пропорциях.

This article is devoted to determining the level of heat resistance of the modified layer created on chromium-nickel austenitic steel by the method of non-vacuum electron beam treatment. Powder mixtures of chromium and boron in various proportions were used as the material of the modified layer.

В общем смысле под жаростойкостью понимают способность металла сопротивляться окислению на поверхности при воздействии высоких температур (от 500 °С).

Известно, что рабочая температура хромоникелевой аустенитной стали 12Х18Н9Т составляет 600 °С, следовательно данная сталь считается жаростойкой. Однако при более высоких температурах она теряет свои свойства и появляется необходимость использования более дорогостоящих сплавов на основе никеля.

Для повышения окалиностойкости сталь легируют рядом элементов, которые благоприятным образом влияют на способность материала противостоять коррозии при высоких температурах. Сопротивление окислению при высоких температурах определяется наличием на поверхности сплава защитной окисной пленки [1 – 4].

Дополнительное легирование стали вызывает повышение стоимости и изменение свойств, следовательно, для защиты поверхности от окисления необходимо создать защитный слой. Одним из методов создания модифицированного слоя является вневакуумная электронно-лучевая наплавка порошковых смесей на поверхность заготовки.

Метод создания модифицированного слоя вневакуумной электронно-лучевой наплавкой, заключается в следующем:

– электронный луч проникает через нанесённую смесь порошков, нужного состава;

– луч доходит по поверхности детали и проникает в поверхностные слои металла. В этот момент кинетическая энергия луча переходит в тепловую и расплавляет верхний слой металла и смесь порошков. Далее происходит быстрая кристаллизация ванны расплава [5].

Целью работы является оценка жаростойкости модифицированных слоёв, полученных на стали 12Х18Н9Т.

Состав стали представлен в таблице 1. В таблице 2 представлено соотношение компонентов в наплавляемой порошковой смеси.

На начальной стадии формирования модифицированного слоя, в структуре происходит образование боридов правильной геометрической формы. При дальнейшей кристаллизации в местах столкновения боридов происходит нарушение правильного строения.

Структура исследуемых образцов представлена на рисунке 1. Она состоит из боридов и эвтектики на основе γ -Fe. Образцы Х00 и Х10

обладают схожим строением. Однако в образце X00, бориды имеют состав Fe_2B , а в X10 – $Cr_2B + Fe_2B$.

Таблица 1 – Химический состав стали 12X18Н9Т

Химический состав мас. %									
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Ti	Fe
до 0,12	до 0,8	до 2	8 – 9,5	до 0,02	до 0,035	17 – 19	до 0,3	до 0,8	остальное

Таблица 2 – Состав порошковой смеси

Маркировка образца	Содержание B, мас. %	Содержание Cr, мас. %	Содержание флюса MgF_2 , мас. %
X00	40	0	60
X10	30	10	
X30	10	30	

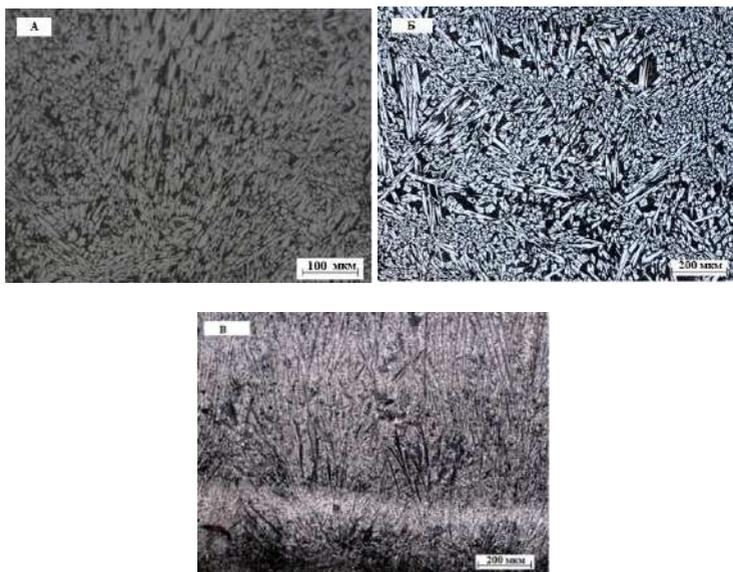


Рис. 1 – А – образец X00; Б – образец X10; В – образец X30

В образце X30, наблюдается образование дендритной структуры во всем объёме покрытия, так как бора уже недостаточно на формирование боридов.

Исследуемые образцы отличаются по уровню микротвёрдости. Образцы X00 и X10 имеют близкое значение микротвердости (1100 HV и 1030 HV соответственно). Максимальное значение наблюдается у образца X10 – 1391 HV. Значение микротвёрдости X30 составляет 367 HV, что близко к значению материала основы (200 HV).

Следовательно, создание модифицированного слоя позволяет повысить данный показатель почти в 7 раз.

Исследование жаростойкости осуществлялось методом термогравиметрии. Метод основан на регистрации изменения массы образца в зависимости от условий программированного изменения температуры среды.

Для анализа использовалась установка *Hitachi STA 7300*. Температура испытания составляла 800 °С. Время выдержки – 2 часа в атмосфере воздуха.

Анализ проводился в сравнении с материалом основы для определения целесообразности создание модифицированных слоёв данного состава. Изменение массы образцов, в зависимости от температуры испытания, представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Изменение массы образцов в зависимости от температуры

	Исходная масса образца, мг	Изменение массы, мг	Потеря массы, %
12X18Н9Т	59,40	0,23	3,9
X00	53,93	0,14	2,6
X10	129,165	0,4	3
X30	129,012	0,122	0,9

Согласно полученным данным, можно сделать вывод, что больший процент потери массы (3,9 %) наблюдается у материала основы.

При формировании модифицированного слоя с различным содержанием хрома (0, 10, 30 мас. %) наблюдается уменьшение потери массы, следовательно, увеличение жаростойкости. Это объясняется образованием более жаростойких структур (Fe₂B и Cr₂B). В X30 боридов образуется малое количество, но из-за большого содержания хрома (30 мас. %) данный образец имеет высокое сопротивление окалинообразованию.

Далее в работе планируется провести испытания на износостойкость в условиях абразивного воздействия.

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

Литература:

1. Гуляев А.П. Металловедение. Учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1977. – 544 с.
2. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология материалов. Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по машиностроительным специальностям. – М.: Высшая школа, 2001. – 640 с.
3. Адашкин А.М., Зуев В.М. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие. – 2-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 336 с.
4. Коровин Н.В. Курс общей химии. Учебник для студентов энергетических специальностей высших учебных заведений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1990. – 446 с.
5. Голковский М.Г. Закалка и наплавка релятивистским электронным пучком вне вакуума. Технологические возможности метода. – Саарбрюккен: LAPLAMBERT Academic Publishing, 2013. – 317 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА CoCrFeMnNi ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Е.А. Руденя

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, katya.rudenya@mail.ru**

Научный руководитель: Иванов И.В., к.т.н., н.с.

В работе исследованы структура и механические свойства экиатомного высокоэнтропийного сплава CoCrFeMnNi, полученного методом дугового переплава. Образцы подвергались пластической деформации методами холодной прокатки и одноосного сжатия. Было показано, что с увеличением степени деформации происходит фрагментация структуры без образования трещин, а микротвердость неравномерно возрастает.

The structure and mechanical properties of CoCrFeMnNi equiatomic high-entropy alloy obtained by arc melting are investigated. The samples were subjected to plastic deformation by cold rolling and uniaxial compression methods. It was shown that with an increase in the degree of deformation, fragmentation of the structure occurs without cracking, and microhardness increases unevenly.

Открытие высокоэнтропийных сплавов (ВЭСов) [1, 2] вызвало большой интерес исследовательских групп к данному типу материалов. Считается, что высокая конфигурационная энтропия этих эквиатомных или почти эквиатомных многокомпонентных сплавов повышает стабильность структур твердых растворов и позволяет получать отличный комплекс механических свойств. Сплав CoCrFeMnNi привлекает внимание исследовательских групп из-за своих превосходных механических свойств, таких как высокая термическая стабильность, хорошее сочетание прочности и пластичности, а также фазовая стабильность при различных условиях обработки [3].

Целью данной работы являлось исследование микроструктуры и механических свойств эквиатомного высокоэнтропийного сплава CoCrFeMnNi, подвергнутого пластической деформации методами холодной прокатки и одноосного сжатия.

Эквиатомный сплав CoCrFeMnNi был получен методом дугового переплава в печи *Bühler ArcMelter AM*. Плавление проводилось в медном водоохлаждаемом тигле в атмосфере высокочистого аргона с предварительным вакуумированием до давления 10^{-5} мбар. Для обеспечения химической однородности слитки переплавляли 8 раз. Чистота каждого элемента была выше 99.98 мас. %. Перед плавкой смесь проходила очистку в ультразвуковой ванне.

Холодная прокатка проводилась на регулируемом прокатном стане в несколько стадий. В работе исследовался ряд образцов со степенями деформации 0, 20, 40, 60, 80 %.

Для проведения испытаний на одноосное сжатие из слитков электроискровым методом были вырезаны цилиндрические образцы диаметром 5 мм и высотой 8 мм. Образцы деформировали на универсальной электромеханической испытательной машине *Instron 3369*, степени деформации указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Степень деформации образцов после сжатия

Степень деформации, %										
0	8.75	15	21.25	25	31.25	37	42	47	51	55

Для исследования эволюции микроструктуры с накопленной деформацией был использован метод оптической микроскопии на металлографическом микроскопе *Carl Zeiss Axio Observer Z1m*. Перед исследованием образцы подвергались травлению раствором, имеющим состав 10 г CuSO₄ + 50 мл HCl + 50 мл H₂O.

Измерение микротвердости по Виккерсу проводилось с использованием полуавтоматического микротвердомера *Wolpert Group 402MVD*. Нагрузка на индентор составляла 0,1 HV, время нагружения – 10 с.

Исходя из литературных данных [4], в исходном состоянии сплав обладает однофазной структурой и решеткой ГЦК. На рисунке 1а, б представлена оптическая микроскопия литого сплава, для которого характерна гетерогенная микроструктура с дендритными и междендритными участками. Поскольку марганец имеет наиболее низкую температуру плавления, по сравнению с остальными компонентами системы, происходит обогащение марганцем междендритных зон, которые кристаллизуются последними [4].

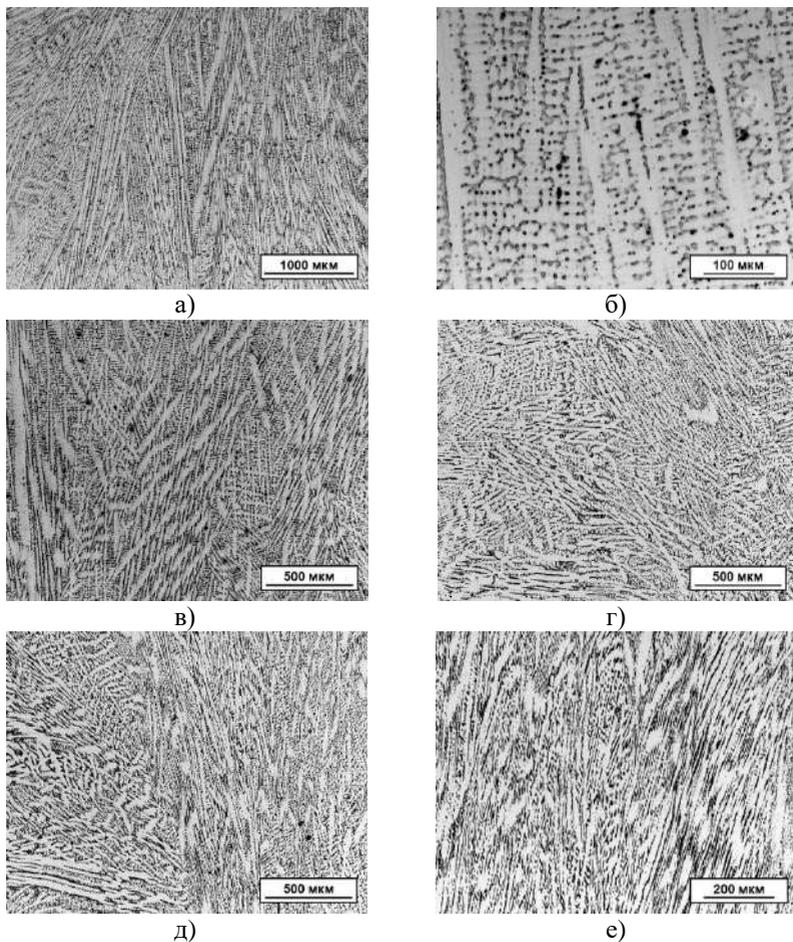
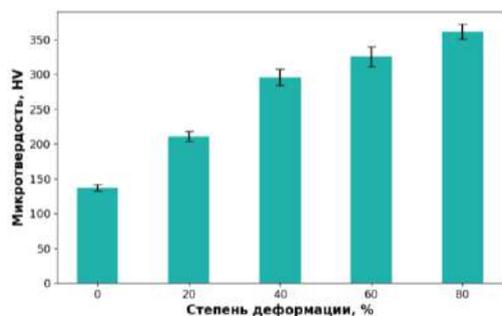


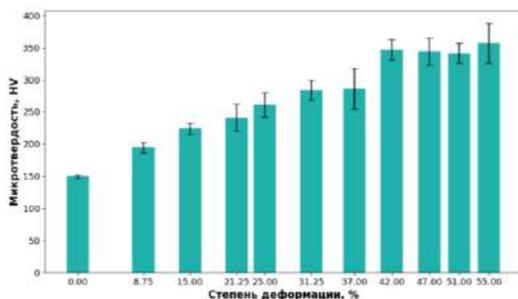
Рис. 1 – Оптическая микроскопия образцов после холодной прокатки: а) 0 %; б) 0 %; в) 20 %; г) 40 %; д) 60 %; е) 80 %

В ходе пластической деформации происходит фрагментация структуры и разворот структурных составляющих в направлении течения металла (рисунок 1). Авторы [3] утверждают, что в результате деформации структура сплава остается однофазной. Также стоит отметить, что даже при максимальных степенях деформации не наблюдается каких-либо признаков разрушения, что говорит о высокой пластичности сплава.

Измерение микротвердости (рисунок 2) показало повышение данного параметра с увеличением степени деформации – при максимальных степенях деформации привела к увеличению твердости более чем в 2 раза по сравнению с исходным состоянием. Очевидно, эволюция микроструктуры оказывает влияние на механические свойства материала, что в целом соотносится с поведением традиционных сплавов. Следовательно, для данного сплава деформационное упрочнение является эффективным способом повышения механических свойств.



а)



б)

Рис. 2 – Микротвердость образцов: а) – после холодной прокатки; б) – после одноосного сжатия

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что в ходе пластической деформации происходит фрагментация исходной дендритной структуры и значительное повышение микротвердости – однако характер изменения данного параметра требует дальнейшего изучения. Также не наблюдается никаких признаков разрушения – следовательно, сплав обладает высокой пластичностью. Контролируя условия обработки, можно изменять структуру и получать необходимые свойства, что делает данный сплав перспективным для использования в качестве функционального материала.

Работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-73-10215.

Литература:

1. *Yeh J.W.* et al. Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: novel alloy design concepts and outcomes // *Advanced Engineering Materials*. – 2004. – V. 6. – №. 5. – P. 299-303.

2. *Cantor B.* et al. Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys // *Materials Science and Engineering: A*. – 2004. – V. 375. – P. 213-218.

3. *Zhou W.* et al. Deformation stimulated precipitation of a single-phase CoCrFeMnNi high entropy alloy // *Intermetallics*. – 2017. – V. 85. – P. 90-97.

4. *Vaidya M.* et al. Phase formation and thermal stability of CoCrFeNi and CoCrFeMnNi equiatomic high entropy alloys // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2019. – V. 774. – P. 856-864.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА $Al_{0.3}CoCrFeNi$ В ПРОЦЕССЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Д.Э. Сафарова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, safarova10ab@mail.ru

Научный руководитель: Иванов И.В., к.т.н., н.с.

Данная работа посвящена исследованию термической стабильности высокоэнтропийного сплава (ВЭС) системы $Al_xCoCrFeNi$ с содержанием алюминия $x = 0,3$ после холодной пластической деформации. Результаты этого исследования приводят к интересным представлениям о стабильности фаз в ВЭС в зависимости от температуры.

The present work is devoted to the study of the thermal stability of a high-entropy alloy (HEA) of the $Al_xCoCrFeNi$ system with an aluminum content $x = 0.3$ after cold

plastic deformation. The results of this investigation lead to interesting insights into the stability of phases in HEA as a function of temperature.

Классический подход создания металлических материалов преимущественно основан на теории твердых растворов. В рамках данной концепции структура сплавов характеризуется матрицей и растворенными в ней элементами. Однако использование данного подхода не позволяет описать структуру относительно нового типа материалов: высокоэнтропийных сплавов (ВЭС). ВЭСы являются перспективными функциональными материалами из-за необычных свойств, возникающих в результате высоких значений энтропии смешения, искажений кристаллической решетки, низких значений коэффициента диффузии и коктейльного эффекта [1]. Для ряда высокоэнтропийных сплавов характерна высокая прочность, хорошая пластичность, отличная вязкость разрушения. Таким образом, ВЭС привлекли к себе большое внимание и также рассматриваются как потенциальные кандидаты для инженерных материалов в автомобильной, аэрокосмической и морской областях.

Существует большое число экспериментальных и теоретических работ, в которых описывается влияние химического состава на свойства высокоэнтропийных сплавов. Однако, работ, в которых бы подробно описывались влияние внешнего воздействия на структурную и фазовую стабильность представлено значительно меньше.

Среди всех ВЭС система $Al_xCoCrFeNi$ активно изучалась на предмет влияния содержания алюминия на эволюцию микроструктуры, а также механических, электрических и термических свойств [2]. Недавние публикации позволяют судить о том, что кристаллическая структура и механические свойства сплавов $Al_xCoCrFeNi$ при комнатной температуре сильно зависят от содержания Al [3]. Однако об их высокотемпературной структуре и механических свойствах сообщается редко.

Цель работы заключалась в исследовании термической стабильности высокоэнтропийного сплава системы $Al_{0.3}CoCrFeNi$ после холодной пластической деформации.

Изучаемым материалом в данной работе являлся высокоэнтропийный сплав $Al_{0.3}CoCrFeNi$ химический состав, которого представлен в таблице 1. Образцы для исследования были получены методом вакуумно-дуговой плавки в аргоновой среде, а также подвергались холодной пластической деформации с последующим отжигом. Температура отжига варьировалась от 200 до 1000 °C со шагом 200 °C. После термообработки образцы подготавливались для металлографических и дюрOMETрических исследований. Подготовка заключалась в шлифовании и полировании поверхности.

Таблица 1 – Химический состав ВЭС Al_{0,3}CoCrFeNi

Содержание элемента, % (вес.)				
Al	Co	Cr	Fe	Ni
3,47	25,23	22,27	23,90	25,13

Структура полученных материалов исследовалась на оптическом микроскопе (Carl Zeiss Axio Observer Z1m) с диапазоном увеличений 20-1000 крат в режиме светлого поля. На рисунке 1а представлена структура образца после холодной пластической деформации. Структура материала после отжига при температуре 1000 °С показана на рисунке 1б.

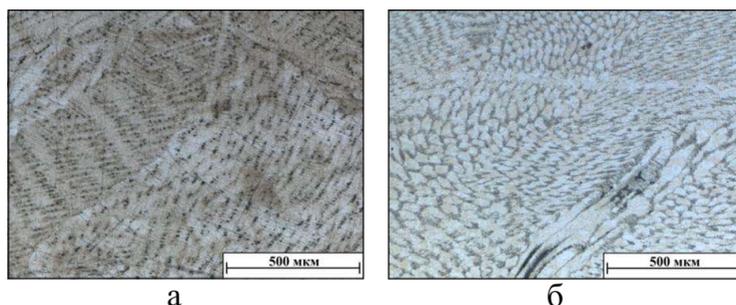


Рис.1 – Микроструктура исследуемых материалов: а – после холодной пластической деформации, б – после термообработки (1000 °С)

Уровень микротвердости материалов измерялся в соответствии с ГОСТ 9450-76 по методу восстановленного отпечатка [4]. Испытание проводилось на микротвердомере Wolpert Group 402 MVD при нагрузке 1 Н. Максимальный уровень микротвердости зафиксирован после термической обработки при 800 °С и составил 488 HV (рисунок 2).

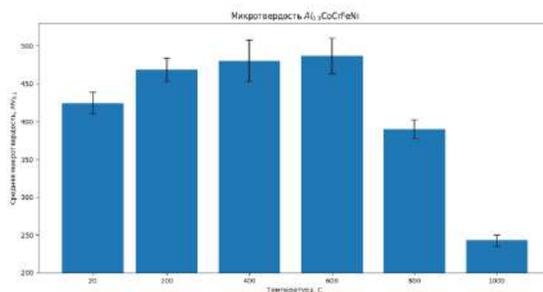


Рис.2 – Уровень микротвердости ВЭС

Во многих работах описывается стабильность ГЦК фазы после термической обработки, однако при исследовании структуры предварительно деформированного материала после отжига были обнаружены частицы второй фазы. На основе анализа литературных данных полагается выделение фазы В2, которая вызывает сильный упрочняющий эффект [5]. Однако фаза В2 имеет высокий барьер зародышеобразования и предполагается, что предварительное индуцирование дефектов в материале повлияло на количество центров зародышеобразования.

Таким образом, на основе полученных данных можно сделать вывод, что деформация и последующая термическая обработка в интервале температур 600–800 °С вызывает появление второй фазы в высокоэнтропийном сплаве $Al_{0.3}CoCrFeNi$.

Далее в работе планируется проведение исследования фазового состава с помощью дифракции синхротронного излучения. Результаты данного исследования позволят установить наличие фазового перехода.

Работа выполнена в соответствии с Федеральным заданием Министерства образования и науки Российской Федерации (проект FSUN-2020-0014 (2019-0931)): «Исследования метастабильных структур, формируемых на поверхностях и границах раздела материалов при экстремальном внешнем воздействии». Исследования проведены на оборудовании ЦКП Структура, механические и физические свойства материалов» НГТУ (№ 13.ЦКП.21.0034, 075-15-2021-698).

Литература:

1. Shun T. T., Du Y. C. Microstructure and tensile behaviors of FCC $Al_{10}3CoCrFeNi$ high entropy alloy // Journal of Alloys and Compounds. – 2009. – Т. 479. – №. 1-2. – С. 157-160.
2. Kao Y. F., Chen T. J., Chen S. K., Yeh J. W. Microstructure and mechanical property of as-cast, -homogenized, and -deformed $Al_xCoCrFeNi$ ($0 \leq x \leq 2$) high-entropy alloys // Journal of Alloys and Compounds. – 2009. – Т. 488. – С. 57-64.
3. Wang W. R., Wang W. L., Yeh J. W. Phases, microstructure and mechanical properties of $Al_xCoCrFeNi$ high-entropy alloys at elevated temperatures // Journal of Alloys and Compounds. – 2014. – Т. 589. – С. 143-152.
4. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. – Введ. 1977–01–01. – Москва : Изд-во стандартов, 1970. – 10 с.

5. Tang Q. H. et al. Hardening of an Al_{0.3}CoCrFeNi high entropy alloy via high-pressure torsion and thermal annealing //Materials letters. – 2015. – Т. 151. – С. 126-129.

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕПЛАВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ НА ОСНОВЕ NiCrBSi-СПЛАВА, НИОБИЯ И БОРА

Д.Э. Сафарова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, safarova10ab@mail.ru**

Научный руководитель: Зимоглядова Т.А., к.т.н.

Данная работа посвящена исследованию влияния повторного высокоэнергетического воздействия на структуру и свойства защитных слоев на основе самофлюсующегося сплава на основе никеля, ниобия и бора, полученных по технологии вневакуумной электронно-лучевой наплавки.

The present work is devoted to the study of the effect of second high-energy impact on the structure and properties of protective layers based on self-fluxing nickel alloy, niobium and boron, obtained by the technology of non-vacuum electron-beam cladding.

Воздействие ударных, циклических нагрузок и взаимодействие с агрессивной средой и абразивными частицами приводит к повышению концентрации внутренних напряжений в поверхностных слоях детали, что способствует развитию трещин, коррозионной усталости и износу материала. Формирование на поверхности материалов защитных слоев является одним из актуальных способов повышения износостойкости деталей машин. Методика вневакуумной электронно-лучевой наплавки позволяет обрабатывать крупногабаритные заготовки за счет вывода высококонцентрированного электронного луча в атмосферу, а получаемая толщина может достигать 1,5 мм [1].

Среди материалов, применяемых для защиты деталей машин, подверженных интенсивному износу и коррозионным воздействиям, широко используются самофлюсующиеся сплавы. Сплавы системы Ni-Cr-B-Si-Fe обладают высоким уровнем технологических свойств, а также высокими показателями износостойкости и коррозионной стойкости. Введение добавок, для формирования упрочняющих фаз в защитных слоях на основе самофлюсующихся сплавов, способствует повышению износостойкости [2]. К таким добавкам относятся смеси, образующие бориды на основе тугоплавких металлов, которые обладают более

высокой твердостью и стойкостью к окислению, чем карбиды тех же металлов [3]. Авторами работы предложена порошковая смесь типа «Ni-Cr-B-Si-Fe-сплав+Nb+B», при наплавке которой в слое формируются сложные частицы на основе NbC и NbB₂ [4]. Однако, при кристаллизации наплавленного слоя могут образовываться сплавленные частицы, которые могут негативно влиять на эксплуатационные характеристики материала.

Целью данной работы являлось исследование влияния повторного высокоэнергетического воздействия на структуру и свойства защитных слоев типа «Ni-Cr-B-Si-Fe+Nb+B», сформированных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки.

Для нанесения защитных слоев применяли промышленный самофлюсующийся никелевый сплав марки ПН77Х15СЗР2, в который вводилось 35 вес. % смеси ниобия в сочетании с бором. Доля смеси подбиралась в соответствии с условием формирования соединения NbB₂ в процессе формирования слоя. Основным материалом для нанесения защитного слоя была выбрана низкоуглеродистую сталь 20. Формирование защитных слоев осуществлялось в Институте ядерной физики СО РАН на ускорителе электронов типа ЭЛВ-6. Оптимальным режимом наплавки является сила тока – 25 мА и скорость перемещения заготовки – 15 мм/с. Повторное оплавление проводилось на том же оборудовании с варьированием силы тока от 25 до 35 мА с шагом 5 мА и скоростью – 15 мм/с.

В качестве альтернативного способа оплавления полученных слоев была предложена обработка в печи. Термическая обработка осуществлялась в электропечи сопротивления SNOL 7.2/1300. Режимы обработки в печи представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы термической обработки

	Тип термической обработки (Т, °С)	Время выдержки, мин	Среда охлаждения
1	Нормализация (1000)	10	воздух
2	Закалка (1000)	10	масло
3	Отпуск (200)	40	воздух

Структура защитных слоев исследовалась на световом микроскопе (Carl Zeiss Axio Observer Z1m) с диапазоном увеличений 20-1000 крат, а также на растровом электронном микроскопе Carl Zeiss EVO50 XVP. Рабочий диапазон увеличений – 50-30000 крат. Для выявления структурных особенностей поверхности образцов обрабатывались смесью сульфата меди, соляной и азотной кислоты и этанола. Для

установления фазового состава полученные слои были исследованы на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA. Микротвердость оценивалась на микротвердомере Wolpert Group 402 MVD. Оценка стойкости слоев к истиранию производилась в условиях воздействия закрепленного абразива в соответствии с ГОСТ 17367-71.

Результаты металлографических исследований представлены на рисунке 1. В образце, полученном повторной обработкой электронным лучом с силой тока 35 мА, зафиксировано самое глубокое проплавление, толщина слоя составила 2,5 мм.

Структура слоя, полученного при переплаве с силой тока пучка 25 мА, представлена на рисунке 1б. Структура слоя имеет литое строение. В пространстве между дендритами расположена эвтектика и упрочняющие соединения. При оплавлении в печи литая структура частично устранена (рис. 1в). При повторном высокоэнергетическом воздействии на защитные слои основной структурной составляющей является γ -твердый раствор на основе железа, никеля. Функцию упрочняющих фаз выполняют бориды и карбиды типа Fe_2B , NbB_2 и NbC , $Cr_{23}C_6$ соответственно.

Анализ результатов дюрOMETрических исследований показал, что уровень микротвердости полученных материалов находится в диапазоне от 400 до 550 HV. Максимальное значение зафиксировано в образце после оплавления электронным лучом с силой тока 30 мА, и составило 560 HV. Результаты испытаний на трение, показали, что все образцы характеризуются, в среднем, одинаковым уровнем износостойкости. Наименьшим уровнем износостойкости характеризуется образец, полученный повторным оплавлением с силой тока 35 мА.

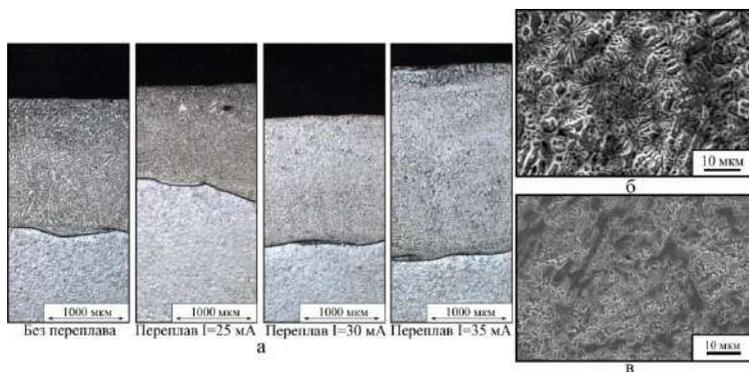


Рис. 1 – Результаты металлографических исследований: а – толщина слоев, б – структура слоя после переплава с силой тока 25 мА, в – структура слоя после нормализации

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Новосибирской области в рамках научного проекта № 19-43-543011. Исследования проведены на оборудовании ЦКП Структура, механические и физические свойства материалов» НГТУ (№ 13.ЦКП.21.0034, 075-15-2021-698).

Литература:

1. Полетика И.М., Голковский М.Г., Перовская М.В., Крылова Т.А., Салимов Р.А. Формирование покрытий двойного назначения методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки // Физическая мезомеханика. – 2006. – №9. Спецвып. – С. 177–180.

2. Соболева Н.Н. Контактная выносливость NiCrBSi покрытий, полученных методом газопорошковой лазерной наплавки // Обработка металлов. – 2014. – № 4. – С. 43–51.

3. Аппен А. А. Температуроустойчивые неорганические покрытия. – Л.: Химия 1967. – 144 с.

4. Зимоглядова Т.А. Повышение износостойкости стали с использованием технологии вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковой смеси самофлюсующегося никелевого сплава в сочетании с ниобием и бором: дис. ... канд. тех. наук: 05.16.09 / Зимоглядова Татьяна Алексеевна. – М., 2019. – 189.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОМИМЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФОСФАТОВ КАЛЬЦИЯ В ПРИСУТСТВИИ ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Т.А. Серых, В.Т. Бадретдинова

Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург

**Научный руководитель: Уласевич С.А., к.х.н., доцент-
исследователь**

Существуют материалы, которые повторяют ключевые свойства природы. В данной работе были разработаны аналоги костной ткани. Была создана модельная система образования фосфатов кальция в присутствии α -аминокислот, на которую были посажены клетки. Выявлено, что клеточная линия биосовместима с полученной системой.

There are materials that repeat the key properties of nature. In this work, bone tissue analogues were developed. A model system for the formation of calcium

phosphates in the presence of α -amino acids was created, on which cells were planted. It was revealed that the cell line is biocompatible with the resulting system.

В настоящее время для регенерации и замены костной ткани применяются биомиметические материалы на основе фосфатов кальция. Биомиметические материалы или биомиметики – это материалы, которые повторяют свойства природных объектов.

Такие материалы являются биodeградируемыми и имеют способность рассасываться в организме. При попадании в организм материала на основе фосфата кальция, восстановление костной ткани происходит путем замены имплантата тканями организма.

Для разработки таких материалов необходимо знать свойства и состав костной ткани. Костная ткань состоит из органической и неорганической частей. В органическую часть входят клетки, такие как, остеобласты, остеокласты и остеоциты, и межклеточное вещество: коллаген, неколлагеновые белки и т.д. Зная, что входит в органическую часть костной ткани, можно определить биосовместимость клеточной линии и материала, а также способны ли клетки сформировать костный матрикс на поверхности материала. Коллаген придает прочность кости, а неколлагеновые белки – способствуют росту минеральных кристаллов [1-2].

В неорганическую часть входят кристаллы гидроксиапатита (ГА). Известно, что имплантаты на основе ГА являются биосовместимыми, биологически активными и малотоксичными. Кроме того, ГА обладает необходимой прочностью, шероховатостью и пористостью. Использование таких материалов благоприятствует пролиферации костной ткани. Ввиду этого, разработка биомиметических материалов на основе фосфатов кальция является актуальной задачей [3].

В связи с тем, что альфа-аминокислоты способствуют образованию костной ткани, была создана модельная система образования фосфатов кальция в присутствии оптически активных веществ. Целью нашей работы является разработка технологии получения и исследование материалов на основе фосфатов кальция в присутствии оптически активных веществ. В качестве добавок была выбрана L-глутаминовая и L-аскорбиновая кислоты.

Образование колец Лизеганга проводили путем получения фосфата кальция в агаровом матриксе. В ходе работы, на модельную систему была посажена клеточная линия C2C12. Было выявлено, что полученные с добавлением оптически активных аминокислот образцы обладают высокой биосовместимостью по отношению к линии C2C12. Наиболее интенсивный рост клеток наблюдался на образцах фосфатов кальция с инкорпорированной L-глутаминовой кислотой. Через 8 дней культивации клеток наблюдается начало резорбции образцов, и

образование клеточной ткани, повторяющей исходный паттерн фосфата кальция.

Таким образом, была разработана технология получения материалов на основе фосфатов кальция и исследованы биосовместимые свойства полученной системы. Полученная система может служить основой для изготовления новых материалов, которые будут использоваться для регенерации костной ткани.

Авторы благодарят грант РФФ № 19-79-10244 за финансовую поддержку.

Литература:

1. Homochirality in biomineral suprastructures induced by assembly of single-enantiomer amino acids from a nonracemic mixture / W. Jiang, D. Athanasiadou, S. Zhang, R. Demichelis, K. B. Koziara, P. Raiteri, V. Nelea, W. Mi, J. A. Ma, J. D. Gale // Nat. Commun(c). – 2019. - Vol. 10, iss. 1. – P.1-9. – doi: 10.1038/s41467-019-10383-x.

2. Advancing frontiers in bone bioprinting / N. Ashammakhi, A. Hasan, O. Kaarela, B. Byambaa, A. Sheikhi, A. K. Gaharwar, A. Khademhosseini // Adv Healthcare Mater(c). – 2019. - Vol. 8, iss. 7. – P.1429-1441. – doi: 10.1002/adhm.201801048.

3. Protein disorder–order interplay to guide the growth of hierarchical mineralized structures / S. Elsharkawy, M. Al-Jawad, M. F. Pantano, E. Tejada-Montes, K. Mehta, H. Jamal, S. Agarwal, K. Shuturminska, A. Rice, N. V. Tarakina // Nat. Commun(c). – 2018. - Vol. 9, iss. 1. – P.12-25. – doi: 10.1038/s41467-018-04319-0.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АНАЛИЗА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

А.А. Снежко^{1,2}, Е.К. Васильева¹, А.Ю. Семенова¹

**¹ Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, ² Сибирская
пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России.,
г. Железногорск, golenkova.aleksa@mail.ru**

В работе предложен порядок испытаний и проанализированы особенности современного метрологического обеспечения при контроле химического состава металлической продукции

The paper proposes a test procedure and analyzes the features of modern metrological support when controlling the chemical composition of metal products.

Основной задачей в метрологическом обеспечении является обеспечение точности измерений, в том числе при проведении качественного и количественного анализа химического состава входного сырья.

Трудность решения аналитических задач аттестации сталей по химическому составу с количественным определением химического состава обусловлено большим ассортиментом и диапазоном содержания в них атомов различных элементов [1]. В связи с чем, в заготовительных и механосборочных цехах проводится сплошной контроль заготовок всех видов металлических материалов на соответствие марки с отметкой в сопроводительной документации. Перед запуском металлических материалов в производство проводят ряд испытаний: входной контроль, механические испытания, межкристаллическая коррозия и химический анализ. Метод анализа химического состава выбирается в зависимости от марки материала и в соответствии с нормативной документацией.

1. Метод мокрой химии. Является арбитражным методом. Самый точный, но при этом дорогостоящий и длительный. Проба не сохраняется. Требуется пробоподготовка и очень высокие требования к квалификации персонала.

2. Стилоскопирование. Является качественным экспресс-методом. Основные недостатки: субъективность, сложность обучения персонала, невозможность работать с деталями, т.к. на образце остается глубокий прожог. Стилоскоп относится к визуальному эмиссионному спектральному анализу. По сути, он является простейшим спектральным анализатором. Назначение этого прибора – визуальный качественный и, в лучшем случае, полуколичественный спектральный анализ металлов и сплавов в видимой области спектра, к точности которого не предъявляется серьезных требований. Вследствие того, что химический состав материалов анализируется визуально и только потом делается вывод о принадлежности материалов к определённой группе марок, велика часть субъективного фактора в достоверности результатов анализа. Кроме того, имеется определенная сложность в подготовке стилоскописта в силу специфики оборудования.

3. Оптико-эмиссионный. Приборы, реализующие данный метод получили широкое распространение. Точность анализа, при должной пробоподготовке и использовании защитной среды (инертного газа) достигает точности метода мокрой химии. При этом требования к квалификации обслуживающего персонала ниже. Также большим плюсом является скорость анализа, повторяемость и лабораторная прецизионность метода. С каждым годом разрабатываются и появляются

на рынке все больше новых экспресс - методов химического анализа, идентификации и определении марки металлических материалов.

Одним из таких методов является неразрушающий рентгенофлуоресцентный анализ, который лежит в основе портативных рентгенофлуоресцентных анализаторов, таких как X-MET 8000. Анализатор исключает влияние человеческого фактора (зрение) на результат испытания. Такой метод анализа дает возможность проведения не только качественного, но и полуколичественного анализа любых металлов [2].

Ограничением портативного РФА является неточное определение концентраций элементов ниже 1%. Невозможно определение углерода, бериллия, которые выходят за диапазон определяемых элементов. Легкие элементы, такие как сера, фосфор, кремний – отображаются, но концентрация определяется недостоверная. Портативный РФА не дает информации о содержании углерода, серы, фосфора в сталях. Данное ограничение также не позволяет проводить полную сортировку и анализ углеродистых и низколегированных сталей [3].

Для ответственных деталей рекомендуются к использованию оптико-эмиссионные анализаторы типа PMI-master [4, сайт]. Современная цифровая автоматическая обработка спектра и использование инертного газа (аргона) позволит проводить более точный анализ любых типов сталей. Принцип действия спектрометров оптико-эмиссионных PMI-MASTER модели UVR, ASR основан на методе эмиссионного автоматического спектрального анализа с возбуждением пробы с помощью искры или дуги.

Спектрометры состоят из источника возбуждения спектра, оптической системы и автоматизированной системы управления и регистрации на базе IBM – совместимого компьютера. Искровой источник возбуждения спектра предназначен для возбуждения эмиссионного светового потока от искры между образцом и электродом. Спектральный состав света определяется химическим составом исследуемой пробы.

Дополнительный датчик UV – PRO в спектрометрах PMI – MASTER модели UVR позволяет анализировать содержание серы, фосфора, низких концентраций углерода, а также элементов, линии которых лежат в ультрафиолетовой области спектра.

Управление процессом измерения и обработки выходной информации осуществляется от встроенного IBM– совместимого компьютера с помощью специального программного комплекса.

По аналитическим параметрам и конструктивным особенностям не имеет аналогов в мире.

Таблица 1 – Сравнение X–МЕТ 8000 и РМІ-master по диапазону измерений

Определяемый элемент в сталях по ГОСТ 18895-97	Диапазон измерения массовой доли, %	Методом РФ X–МЕТ 8000	Методом АЭС РМІ-master
Углерод	от 0,010 до 2,0	-	от 0,01 до 3,0
Сера	от 0,002 до 0,20	от 0,002 до 0,20	от 0,002 до 0,20
Фосфор	от 0,002 до 0,20	от 0,002 до 0,20	от 0,001 до 0,20
Кремний	от 0,050 до 2,5	от 0,05 до 5,0	от 0,001 до 5,0
Марганец	от 0,010 до 5,0	от 0,05 до 0,20	от 0,0005 до 35,0
Хром	от 0,010 до 10,0	от 0,05 до 0,35	от 0,001 до 35,0
Никель	от 0,010 до 10,0	от 0,05 до 45,0	от 0,001 до 45,0
Кобальт	от 0,010 до 5,0	от 0,05 до 20,0	от 0,000 до 20,0
Медь	от 0,010 до 2,0	от 0,01 до 5,0	от 0,001 до 5,0
Алюминий	от 0,005 до 2,0	-	от 0,001 до 10,0
Мышьяка	от 0,005 до 0,20	-	от 0,0002 до 0,5
Молибдена	от 0,010 до 5,0	от 0,05 до 10,	от 0,0002 до 10,0
Вольфрама	от 0,020 до 5,0	от 0,05 до 20,0	от 0,002 до 20,0
Ванадий	от 0,005 до 5,0	от 0,01 до 5,0	от 0,001 до 10,0
Титан	от 0,005 до 2,0	от 0,01 до 5,0	от 0,001 до 5,0
Ниобий	от 0,010 до 2,0	от 0,01 до 2,0	от 0,001 до 3,0

При сравнении табличных данных РМІ – MASTER обнаруживает преимущества в отличие от X–МЕТ 8000 при регистрации важных химических элементов С, Р, Si для качества сталей и чугунов, и легирующих элементов "на месте" при помощи легкого выносного датчика. Кроме того, возможность измерения неровных образцов, тонких прутков и проволоки без специальных адаптеров дает РМІ – MASTER дополнительные преимущества. Плюс ко всему программное обеспечение, контролирующее все параметры спектрометра, позволяет пользователю создавать собственные калибровочные модели и идентифицировать марку материала по встроенным базам данных.

Литература:

1. Rios F., Excarpa A., Simonet B. Miniaturization of analytical systems // Principles, designs and applications. New York. Wiley, 2009. 384 с.
2. Семенова А. Ю. Повышение качества контроля химического состава продукции из стали 12X18H10T/A. Ю. Семенова, А. А. Снежко, С. А. Плотников //Актуальные проблемы авиации и космонавтики : сб. науч. тр. VII Междунар. научно-практич.конф., посвящ. Дню космонавтики, Красноярск, апрель 2021, Т. 2, С. 847-849.

3. Семенова А. Ю. Совершенствование методов контроля химического состава металлических материалов / А. Ю. Семенова, А. А. Снежко // XVI КОРОЛЁВСКИЕ ЧТЕНИЯ: сборник материалов междунар. молодёжной науч. конф., посвящённой 60-летию полёта в космос Ю.А. Гагарина, 5–7 октября 2021 года: В 3 томах. Том 3. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2021. – С. 329-330

4. Оптико-эмиссионный анализатор состава металлов и сплавов PMI-MASTER UVR [Электронный ресурс] URL: <https://www.geo-ndt.ru/pribor-1675-optiko-emissionnii-analizator-sostava-metallov-i-splavov-pmi-master-uvr.htm> (дата обращения 25.10.2021).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАРЬЕРНОГО СЛОЯ НИКЕЛЯ ПРИ НАПЛАВКЕ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ

А.С. Федорино

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nastiy1999@gmail.com**

Научный руководитель: Никулина А.А., д.т.н., доцент

В работе представлены результаты исследования разнородных соединений, полученных наплавкой хромоникелевой аустенитной проволоки Sv-04X19N9 на пластину из перлитной стали У8 с использованием предварительно нанесенного барьерного слоя из никеля N-3. Проведен анализ структуры материалов с использованием методов световой микроскопии, показаны структурные особенности в зоне термического влияния (ЗТВ) и на границе сплавления материалов.

The paper presents the results of a study of dissimilar joints obtained by surfacing a chromium-nickel austenitic wire Sv-04Kh19N9 on a plate made of U8 pearlitic steel using a previously applied barrier layer of N-3 nickel. The analysis of the structure of materials using the methods of light microscopy is carried out, the structural features in the heat-affected zone (HAZ) and at the fusion boundary of materials are shown.

Одной из значимых сфер современной сварочной техники считается наплавка. Технология наплавки может быть использована для восстановления деталей и конструкций, поверхность которых при использовании изнашивалась, и для повышения износостойкости новых деталей, на рабочей поверхности которой получается сплав, обладающий широким комплексом свойств. Результатом является значительная экономия производственных затрат и сокращение времени простоя оборудования [1]. Это главная причина того, что процесс наплавки стал настолько популярным во многих отраслях.

Наплавка разнородных материалов довольно сложная задача и имеет массу проблем уже на начальном этапе, так как разнородными сталями и сплавами являются материалы, резко отличающиеся системой легирования, физико-механическими свойствами и свариваемостью. Основная проблема при соединении разнородных сталей, в частности перлитной с нержавеющей, связана с миграцией углерода, приводящей к возникновению карбидных гряд на границе сплавления двух материалов и ведущая к возникновению трещин в металле шва [2]. Также при наплавке образуются дефекты – наплывы. Наплывы – это перемешивание разнородных материалов в ванне расплава. Данный дефект ведет к неравномерному распределению фаз и, тем самым, образуется неоднородная структура, как в сварном шве, так и на границе сплавления. Последствиями наплывов также может являться снижение коррозионной стойкости, возможное охрупчивание и риск растрескивания вследствие формирования мартенсита. Эффективным приемом для решения выше описанных проблем соединения разнородных сталей может являться использование барьерных вставок из металлов, выполняющих функцию буферной защиты и ограничивающих характер диффузии между наплавляемыми материалами [3].

В представленной работе в качестве технологии получения неразъемного соединения была выбрана наплавка неплавящимся вольфрамовым электродом. Режимы наплавки: ток дуги – 125, 130, 135 А. Диаметр сварочной проволоки составлял 1,2 мм, предварительно наплавленная никелевая лента имела толщину 0,2 мм и ширину 5 мм.

В полученных соединениях наблюдается отсутствие науглероженной зоны по границе линии сплавления. Толщина барьерного слоя в образцах в среднем варьируется от 5,1 до 31,5 мкм в зависимости от изменяемых параметров, таких как количество проходов и ток дуги при наплавке. В таблице 1 представлены режимы, количество проходов и толщина барьерного слоя.

Таблица 1 – Режимы наплавки

Режим	Ток дуги, А	Количество проходов	Толщина никелевой прослойки, мкм
1	125	1	12
2		2	31,5
3	130	1	16,3
4		2	5,8
5	135	1	15,8
6		2	5,1

Максимальная толщина барьерного слоя никеля наблюдается в образцах, полученных при режиме 2 с наплавкой нержавеющей проволоки в два прохода. При увеличении тока дуги толщина буферного слоя значительно снижается. Также наблюдается зависимость толщины прослойки никеля от количества проходов.

Исследования вблизи границы «сталь У8 – барьерный слой никеля» показали, что граница раздела четко выражена, при этом фиксируются дендритные построения, в результате чего граница раздела материалов является волнообразной. Наиболее неоднородной линией сплавления обладают образцы, полученные при режиме тока 125 А (рисунк 1), что предположительно связано с внутренними напряжениями в материале при наплавке с учетом дополнительных вкладов от выделяемой в процессе плавления теплоты.

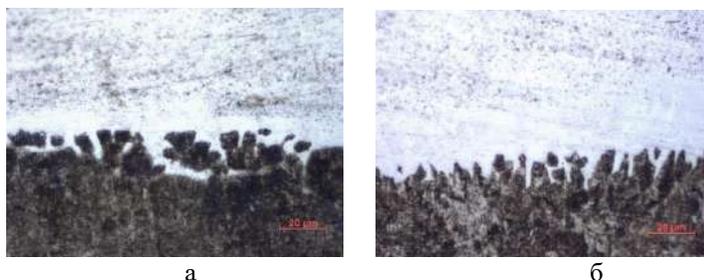


Рис. 1 – Граница сплавления сталей после наплавки при силе тока 125 А: а – однослойная наплавка; б – двуслойная наплавка

Ввиду сложности наплавки материалов с большими различиями в физико-химических свойствах использование барьерного промежуточного слоя является важным выбором для улучшения качества разнородных соединений. Использование промежуточных слоев при наплавке разнородных материалов позволяет частично ограничить или полностью предотвратить нежелательные диффузионные процессы, развивающиеся между компонентами основных металлов [3]. Стоит отметить, что в качестве барьерного слоя может выступать материал, близкий по химическому соединению с одним из основных материалов, а также и значительно отличающийся.

Литература:

1. Готальский Ю.Н. Сварка разнородных сталей. – Киев: Техника, – 1981. – 184 с.
2. *Stepanov M.S. Effect of External Factors on Diffusion Acceleration Mechanism During Steel Microarc Surface Impregnation / M.S. Stepanov, Y.M. Dombrovskii // Metallurgist. –2021. – Vol. 64. – P. 894–901.*

3. Jeong Y. Effect of P21 buffer layer on interfacial bonding characteristics of high-carbon tool steel hardfaced through directed energy deposition / Y. Jeong, G. Y. Shin, D. S. Shim // Journal of Manufacturing Processes. – 2021. – Vol. 68. – P. 1596–1614.

СИНТЕЗ КОМПОЗИТНОЙ КЕРАМИКИ С ВЫСОКОЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ КАРБИДА БОРА

Р.Р. Хабиров, А.В. Масс, Т.С. Гудыма
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, surglyrockfox@rambler.ru
Научный руководитель: Черкасова Н.Ю., к.т.н., м.н.с.

В работе изучена композиционная керамика на основе B_4C с добавками TiB_2 и ZrB_2 . Материалы получены горячим прессованием с предварительной термической обработкой и без неё. В фазовом составе образцов не обнаружены остатки исходных компонентов. Композиционная керамика с наиболее высоким значением относительной плотности и добавкой 10 мол. % TiB_2 получена без предварительной высокотемпературной обработки.

The paper studies composite ceramics based on B_4C with TiB_2 and ZrB_2 additives. The materials were obtained by hot pressing with heat treatment and without it. The residues of the initial components were not found in the phase composition. The composite ceramic with the highest relative density value and 10 mol % TiB_2 addition was obtained without high-temperature pretreatment.

Керамические материалы на основе карбида бора характеризуются высокими показателями твёрдости (более 30 ГПа), химической инертностью в агрессивных веществах, в том числе, при нагреве, низкой плотностью 2,52 г/см³. Перечисленные свойства делают карбид бора перспективным материалом, который выдерживает высокие удельные нагрузки и сопротивляется абразивному износу. Керамика на основе B_4C находит применение в производстве режущих инструментов, бронепластин в средствах индивидуальной защиты, футеровки шаровых мельниц, деталей оборудования, работающего с абразивными материалами. Высокие температура плавления (2350 °С) и удельная теплоёмкость делают возможным применение материала в качестве теплоизоляционных элементов в ракетостроении [1].

Получение плотной качественной керамики из карбида бора осложняется ограниченной спекаемостью B_4C . Из-за сильных ковалентных связей В-С диффузионная подвижность атомов затруднена,

что приводит к низкой пластичности и большому сопротивлению зернограничному скольжению. В результате получение плотной керамики на основе карбида бора остаётся трудной задачей [2]. К другим недостаткам B_4C можно отнести относительно низкую прочность на изгиб (400 МПа) и трещиностойкость ($2,4 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$).

Известно, что добавление к керамике на основе B_4C вторичных фаз в виде диборидов титана или циркония позволяет значительно повысить спекаемость материала. TiB_2 и ZrB_2 имеет более высокий коэффициент линейного расширения, чем B_4C , поэтому в процессе нагрева при спекании зёрна карбида бора находятся в состоянии всестороннего сжатия, что препятствует их росту. Получение мелкозернистой структурой благоприятно влияет на механические свойства керамики. Авторам работы [3] удалось получить керамику состава 85 % B_4C – 15 об. % TiB_2 с пределом прочности на изгиб 630 МПа и трещиностойкостью $6 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$. Аналогичные результаты были получены в исследовании [4] – добавка 30 % ZrB_2 повысила прочность при изгибе керамики до 500 МПа, трещиностойкость до $6,5 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$. Следует отметить, что добавление второй фазы диборидов к карбиду бора не приводит к значительному снижению твёрдости керамики.

В современной научной литературе наблюдается недостаток информации о получении плотной композиционной керамики на основе B_4C с добавками TiB_2 и ZrB_2 методом горячего прессования. Введение диборидов переходных металлов, должно способствовать уплотнению карбида бора, что, в результате, позволит получить керамику с более высокими показателями относительной плотности, трещиностойкости, прочности на изгиб. Следует отметить, что в изученных литературных источниках рассматривается преимущественно процесс получения керамики B_4C - TiB_2 и B_4C - ZrB_2 методом реакционного горячего прессования. При этом в качестве пресс-порошка используется смесь B_4C с углеродом, порошками диоксидов циркония и титана, а синтез диборидов происходит непосредственно во время уплотнения материала. Ранее не изучалось влияние предварительной термической обработки реагентов на свойства композиционной керамики, полученной горячим прессованием. Предположительно, высокотемпературная обработка порошков позволит получить керамику с низкой пористостью и более высокой относительной плотностью.

Таким образом, цель настоящей работы заключается в изучении плотности и фазового состава керамики на основе B_4C с добавками TiB_2 и ZrB_2 , полученной методом горячего прессования, в том числе, с предварительным высокотемпературным синтезом.

Исходными компонентами смеси для синтеза композиционной керамики были порошки B_4C , TiO_2 , ZrO_2 и нановолокнистый углерод.

Смешивание и помол порошков проводили в планетарной мельнице. Были получены несколько серий экспериментальных материалов. Образцы с добавками от 20 до 30 мол. % TiB_2 и % ZrB_2 подвергались предварительной термической обработке в атмосфере аргона. Синтез диборидов в материалах с содержанием B_4C от 90 мол. % проводился непосредственно в процессе горячего прессования. Для изучения фазового состава порошков после термической обработки и спеченной керамики использовали рентгеновский дифрактометр ARL X'TRA. Относительную плотность образцов определяли методом гидростатического взвешивания.

На рентгенограммах порошков после предварительной термической обработки зафиксированы рефлексы B_4C , TiB_2 , ZrB_2 , посторонних фаз не обнаружено. Из этого следует, что реакции синтеза диборидов прошли полностью. В спеченной керамике присутствуют фазы карбида бора и диборидов титана и циркония. Наблюдается наличие углерода, который мог попасть в поверхность спеченной керамики из барьерной графитовой бумаги, которая используется при горячем прессовании. Отсутствие рефлексов исходных компонентов смеси свидетельствует о завершении реакций синтеза диборидов в процессе прессования. Данные об относительной плотности полученных образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Относительная плотность композиционной керамики

Материал	Относительная плотность, % от теор.
100 % B_4C	97.9
70 % B_4C – 30 % TiB_2	99.06
70 % B_4C – 30 % ZrB_2	82.66
80 % B_4C – 20 % TiB_2	88.96
80 % B_4C – 20 % ZrB_2	83.31
90 % B_4C – 10 % TiB_2	99.88
90 % B_4C – 10 % ZrB_2	99.48

По результатам исследования можно сделать вывод, что горячее прессование порошков как с предварительной высокотемпературной обработкой, так и без неё, позволяют получить керамику B_4C – ZrB_2 и B_4C – TiB_2 без примесных фаз и следов исходных реагентов. Эксперименты показали, что предварительная термическая обработка не оказывает положительного влияния на относительную плотность керамики после горячего прессования. В то же время, отмечено, что керамика с предварительным синтезом с добавкой TiB_2 имеет более высокую относительную плотность, по сравнению с материалами состава B_4C – ZrB_2 .

Работа выполнена в соответствии с Федеральным заданием Министерства образования и науки Российской Федерации (проект FSUN-2020-0014 (2019-0931)): «Исследования метастабильных структур, формируемых на поверхностях и границах раздела материалов при экстремальном внешнем воздействии». Исследования проведены на оборудовании ЦКП Структура, механические и физические свойства материалов» НГТУ. (№ 13.ЦКП.21.0034, 075-15-2021-698).

Литература:

1. Кипарисов С.С., Гуревич Б.Д. Современное состояние производства карбида бора и его применение: (Обзор литературы). – М.: Цветметинформация, 1965. – 69 с.
2. Mechanical and electrical properties of B4C-CrB2 ceramics fabricated by liquid phase sintering / S. Yamada, K. Hirao, Y. Yamauchi, S. Kanzaki // Ceramics International. – 2003. – V. 29. – P. 299–304.
3. Yue, X.Y. Microstructures and mechanical properties of B4C–TiB2 composite prepared by hot pressure sintering / X.Y. Yue, S.M. Zhao, L. Yu, H.Q. Ru Key // Eng. Mater. – 2010. - V. 434. – P. 50–53.
4. He, R. Effects of ZrB2 contents on the mechanical properties and thermal shock resistance of B4C–ZrB2 ceramics / R. He, L. Jing, Z. Qu // Materials and Design. – 2015. - V. 71. - P. 56–61.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ ВОЛЬФРАМА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРЕМЕННОГО ИМПУЛЬСНОГО ТОКА

А.Д. Царенко, А.А. Ульянкина

**Южно-Российский государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И.Платова, г. Новочеркасск,
tsarenkoanasteisha@yandex.ru**

**Научный руководитель: Ульянкина А.А.,
старший преподаватель, к.х.н.**

В настоящей работе наноразмерные оксиды вольфрама (WO_3) были успешно синтезированы методом электрохимического окисления вольфрамовых электродов под действием переменного импульсного тока. Установлено влияние электролитного состава на скорость окисления вольфрама и состав образующихся целевых продуктов. Показана перспективность использования электрохимически синтезированных порошков WO_3 в процессах фотоэлектрохимического окисления воды и органических соединений под действием солнечного света.

In the present work, nanosized tungsten oxides (WO_3) were successfully synthesized by electrochemical oxidation of tungsten electrodes under pulse alternating current. The influence of electrolyte composition on the tungsten oxidation rate and the composition of the resulting products has been established. The application of electrochemically synthesized WO_3 powders for photoelectrochemical oxidation of water and organic compounds under solar irradiation was shown.

Стремительная индустриализация и рост населения неизменно сопровождаются экологическими проблемами, такими как эмиссия парниковых газов, глобальное потепление и выбросы в окружающую среду большого количества загрязняющих веществ в связи с использованием традиционных ископаемых источников энергии. Поэтому в последние годы одним из ключевых направлений устойчивого мирового развития является развитие так называемых «зеленых» технологий с целью обеспечения растущих потребностей в чистой энергии. Солнечная энергия рассматривается в качестве важнейшего неисчерпаемого ресурса для фотоэлектрохимических процессов разложения воды, которые могут стать решением проблемы энергетического кризиса путем преобразования солнечного света в водород [1].

При этом полупроводниковые оксидные материалы в наноразмерном состоянии активно исследуются и успешно применяются в качестве фотоэлектроактивных анодных и катодных материалов в процессах получения водорода [2]. Наночастицы оксида вольфрама (WO_3) рассматриваются в качестве перспективного фотоэлектрокатализатора благодаря его сильной окислительной способности, относительно низкой стоимости, чувствительности к солнечному свету (ширина запрещенной зоны от 2,5 до 2,8 эВ) и высокой стабильности [1]. Кроме того, WO_3 проявляет высокую эффективность переноса электронов по сравнению с некоторыми другими оксидами. Помимо фотоэлектрокаталитических приложений наноразмерный оксид вольфрама находит широкое применение в различных областях: сенсоры, очистка воды от токсичных загрязнений, создание электрохромных устройств и устройств накопления энергии [1, 3].

Функциональные свойства материалов определяются их физико-химическими свойствами - составом, морфологией, которые зависят от способа синтеза. Использование наночастиц оксида вольфрама с различными характеристиками вызывает значительный интерес к поиску новых способов его направленного синтеза. Известно большое количество способов получения оксида вольфрама как в виде порошков, так и пленок: золь-гель, гидротермальный, сольвотермальный, электроспиннинг и др [1]. В последние годы электрохимические методы

активно развиваются благодаря своей экологичности и возможности масштабирования. Большинство электрохимических методов направлено на получение тонких пленок оксида вольфрама. Однако направленный синтез порошков WO_3 представляется актуальной задачей.

В настоящей работе для получения наноразмерных оксидов вольфрама впервые был использован электрохимический синтез с использованием переменного импульсного тока (ПИТ). Этот метод был ранее успешно использован в нашей лаборатории для получения других оксидных материалов [4]. Электрохимическое окисление вольфрамовых электродов проводили при средней плотности симметричного переменного импульсного тока $3:3 \text{ A/cm}^2$ в электролитах разного состава и концентрации. В качестве электролитов использовали растворы кислот (щавелевой, серной и азотной), щелочей (NaOH, KOH) и солей щелочных металлов (LiCl, NaCl, KCl, Na_2SO_4 , NaF). Образующийся в результате электрохимического окисления вольфрамовых электродов осадок отделяли центрифугированием, промывали этиловым спиртом, сушили в сушильном шкафу до постоянной массы и отжигали в муфельной печи при температуре 500°C в течение 3 часов. Скорость окисления вольфрама рассчитывали по убыли массы электродов до и после синтеза. Состав полученных материалов исследовали методом рентгенофазового анализа (РФА).

Установлено, что вольфрам активно окисляется под действием переменного импульсного тока в растворах кислот и солей щелочных металлов. При использовании в качестве электролита солей щелочных металлов скорость окисления W растет в ряду $NaF < KCl < LiCl < NaCl < Na_2SO_4$ и достигает $348,2 \text{ мг}/(\text{см}^2 \cdot \text{ч})$ для $1 \text{ M } Na_2SO_4$ (Рис.1а). В растворах кислот скорость окисления растет в ряду $HNO_3 < H_2SO_4 < HOOC-COOH$ и максимальна для щавелевой кислоты (Рис.1б).

По данным РФА продукты окисления вольфрама в водных растворах серной и щавелевой кислот после термообработки при 500°C представляют собой триоксид вольфрама, характеризующийся моноклинной кристаллической решеткой. Однако в водных растворах солей (LiCl, NaCl, Na_2SO_4) происходит образование смеси триоксида вольфрама и соответствующих поливольфраматов (общая формула $xMe_2O \cdot yWO_3$).

Оксид вольфрама, синтезированный в растворе щавелевой кислоты ($0,5 \text{ M}$), был нанесен на проводящее стекло FTO и исследован в качестве фотоанода в реакции фотоэлектрохимического окисления воды и органических соединений под действием симулированного солнечного

света (100 мВт/см^2). На рис.2 представлены линейные вольтамперограммы фотоанода WO_3/FTO в растворе чистой серной кислоты ($0,5 \text{ М}$) и в растворе серной кислоты ($0,5 \text{ М}$) с добавлением реагентов, обладающих электронодонорными свойствами. Вольтамперограммы были сняты в режиме прерывистого освещения. Максимальные плотности тока около $0,55 \text{ мА/см}^2$ были достигнуты на оксиде вольфрама в растворе серной кислоты с добавлением этанола.

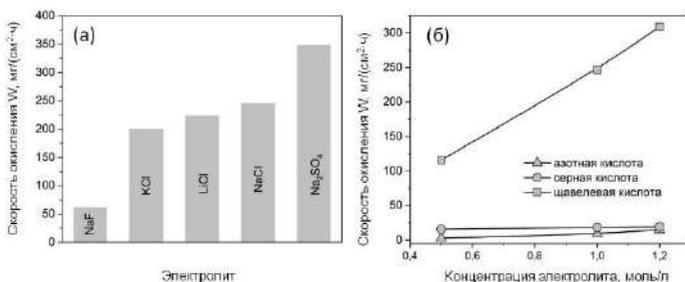


Рис.1 – Влияние природы электролита (а) и концентрации кислоты (б) на скорость окисления вольфрама

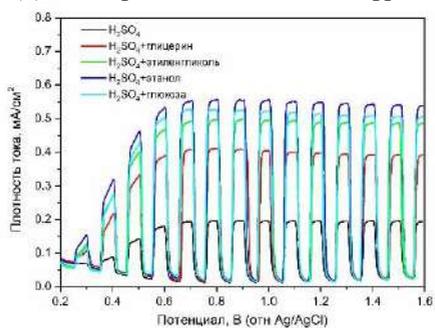


Рис.2 – Линейные вольтамперограммы фотоанода WO_3/FTO в режиме прерывистого освещения в электролитах разного состава

Таким образом, было установлено влияние природы электролита и его концентрации на скорость окисления вольфрама под действием переменного импульсного тока и состав образующихся продуктов. Максимальная скорость окисления W наблюдалась в водных растворах сульфата натрия ($348,2 \text{ мг}/(\text{см}^2 \cdot \text{ч})$) и щавелевой кислоты ($308,9 \text{ мг}/(\text{см}^2 \cdot \text{ч})$). В зависимости от состава электролита происходило образование триоксида вольфрама с моноклинной кристаллической структурой или его смеси с поливольфраматами соответствующих

металлов. Была показана перспективность использования электрохимически синтезированных порошковых оксидов вольфрама для фотоэлектрохимического преобразования солнечной энергии.

Литература:

1. WO₃ nanocubes for photoelectrochemical water-splitting applications / B. Jansi Rani, M. Praveen Kumar, S. Ravichandran, G. Ravi, V. Ganesh, Ramesh K. Guduru, R. Yuvakkumar, S.I. Hong // Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 2019. – Vol. 134. – P.149 - 156.

2. Pulsed discharge plasma induced WO₃ catalysis for synergetic degradation of ciprofloxacin in water: Synergetic mechanism and degradation pathway / H. Guo, N. Jiang, H. Wang, K. Shang, N. Lu, J. Li, Ya. Wu // Chemosphere. – 2019. – Vol. 230. – P. 190 – 200.

3. A review on WO₃ based gas sensors: Morphology control and enhanced sensing properties / Ch. Dong, R. Zhao, L. Yao, Ya. Ran, X. Zhang, Yu. Wang // Journal of Alloys and Compounds. – 2020. – Vol. 820. – P. 153194.

4. Photocatalytic degradation of ciprofloxacin in water at nano-ZnO prepared by pulse alternating current electrochemical synthesis / A. Ulyankina, T. Molodtsova, M. Gorshenkov, I. Leontyev, D. Zhigunov, E. Konstantinova, T. Lastovina, Ja. Tolasz, J. Henych, N. Licciardello, G. Cuniberti, N. Smirnova // Journal of Water Process Engineering. – 2021. – Vol. 40. – P. 101809.

НАНОЧАСТИЦЫ ФЕРРИТА МЕДИ/ОКСИДОВ МЕДИ (I, II) С ПОВЫШЕННОЙ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

В.Р. Чжоу, Е.А. Ворнакова

**Институт физики прочности и материаловедения Сибирского
отделения Российской академии наук, г. Томск,
ovbakina@ispms.tsc.ru**

Научный руководитель: Бакина О.В., с.н.с., д.т.н.

Нанокompозиты CuFe₂O₄/CuO/Cu₂O с различным соотношением меди и железа были получены электрическим взрывом двух проводников в кислородосодержащей атмосфере. Максимальная эффективность фотокалитического разложения модельного красителя Конго красного составила 72 % после 60 минут облучения светом видимого диапазона. Наночастицы проявили повышенную антибактериальную активность в отношении бактерий MRSA ATCC 43300. Происходило полное подавление роста бактериальных культур.

Composite CuFe₂O₄/CuO/Cu₂O nanoparticles with different copper and iron atomic ratio were obtained by electric explosion of two twisted wires in an oxygen-containing atmosphere. The maximum efficiency of photocatalytic decomposition of Congo red model dye was achieved using nanoparticles with the maximum content of copper ferrite. The concentration of the dye when using particles with a ratio of components Fe₆₆/Cu₃₄ decreased by 72% after 60 minutes of exposure to light in the visible range irradiation. The nanoparticles showed enhanced antibacterial activity against MRSA ATCC 43300 bacteria strain.

Изучение сложных наноразмерных систем, состоящих из оксидов переходных металлов привлекает всё больше внимания исследователей в настоящее время. Наибольший интерес представляет применение наночастиц оксида железа и композиционных наночастиц на их основе, что обусловлено возможностью их применения в области катализа и фотокатализа, в качестве анодного материала для литий-ионных аккумуляторов и в наномедицине [1, 2]. Наночастицы шпинельных ферритов могут найти применение в различных областях, как биомедицинских для диагностики и терапии рака, в системах доставки лекарств, так и промышленных для удаления различных загрязнителей путём адсорбции и фотодеградации. Применение композитов применение приводит к изменению структуры поверхности ферритов и улучшению каталитических свойств по сравнению с чистыми оксидами металлов [3]. Использование шпинельных ферритов может привести к повышению фотокаталитической активности катализатора. Среди ферритов особенно интересен феррит меди, что связано с уникальным комплексом его электрохимических, магнитных и каталитических свойств и экологической безопасностью. Совмещение наночастиц оксида меди с ферритом цинка обеспечит повышение каталитической активности [4]. Среди возможных методов синтеза, наиболее перспективным является электрический взрыв проводников. Данный метод является эффективным, экологически чистым и высокопроизводительным.

В представленной работе электрическим взрывом медного и железного проводников в кислородосодержащей атмосфере (80 % об. Ar + 20 % об. O₂) были синтезированы наночастицы CuFe₂O₄/CuO/Cu₂O с различным соотношением компонентов. Морфология и размер наночастиц были исследованы методом просвечивающей электронной микроскопии (JEM-2100, JEOL, Япония), фазовый состав - методом рентгеноструктурного анализа (XRD-6000, Shimadzu, Япония). Удельная площадь поверхности была измерена методом тепловой десорбции азота с использованием анализатора удельной поверхности Сорботметр М (Катакон, Россия). Распределение частиц по размерам оценивали

методом седиментации частиц под действием центробежных сил на дисковой центрифуге CPS DC 24000 (США). Оценка фотокаталитической активности проводилась в реакции разложения модельного красителя конго красного под действием видимого света ($\lambda = 500$ нм). Антимикробная активность была оценена с помощью стандартного суспензионного метода в отношении устойчивого бактериального штамма *MRSA* ATCC 43300.

Методом электрического взрыва проводников были получены образцы $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{CuO}/\text{Cu}_2\text{O}$ с соотношением компонентов Fe66/Cu34, Fe50/Cu50 и Fe30/Cu70. Фазовый анализ показал, что все образцы содержат фазы CuO , Cu_2O , CuFe_2O_4 , Fe_3O_4 и FeO . В образце Fe30/Cu70 также была обнаружена фаза меди Cu . Было установлено, что размер частиц лежит в диапазоне от 10 до 200 нм, большинство наночастиц имеют сферическую форму. Картирование ПЭМ-изображений наночастиц показало, что Cu , Fe , O распределены в частицах равномерно (Рисунок 1). При сравнении полученных данных об удельной поверхности, было установлено, что образец Fe30/Cu70 имеет меньшую удельную поверхность и содержит большее количество наночастиц размером 100-200 нм.

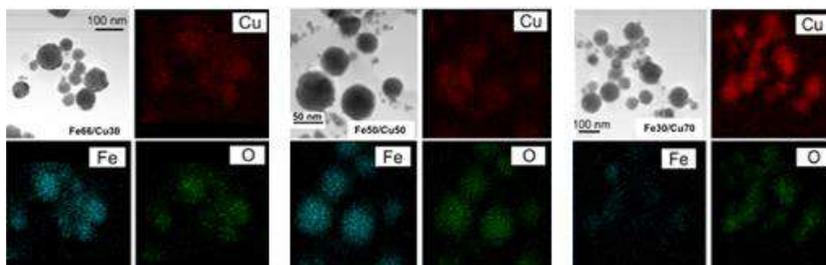


Рис. 1 – ПЭМ-изображения и картирование исследуемых наночастиц

При определении фотокаталитической активности было показано, что фотокаталитическая активность наночастиц Fe66/Cu34 и Fe50/Cu50 значительно превышает активность Fe30/Cu70. При этом наилучший результат показали наночастицы Fe50/Cu50. Для данного образца эффективность разложения Конго красного достигала 72% после 60 минут воздействия светом видимого диапазона (Рисунок 2а).

Увеличение содержания меди в образце снижает способность ферритов к генерации АФК, и, как следствие, фотокаталитическую активность, что является причиной более низкой активности образца Fe30/Cu70. Оценка антибактериальной активности показала, что наночастицы Fe66/Cu34 и Fe50/Cu50 ингибировали рост бактерий на

98 % и 100 % соответственно (Рисунок 2б). При этом наночастицы Fe₃₀/Cu₇₀ обладали наименьшей антибактериальной активностью. Антибактериальная активность хорошо согласуется с данными о фотокаталитической активности наночастиц, что может говорить о том, что основной механизм действия исследуемых наночастиц основан на выделении АФК, приводящих к гибели бактериальных культур.

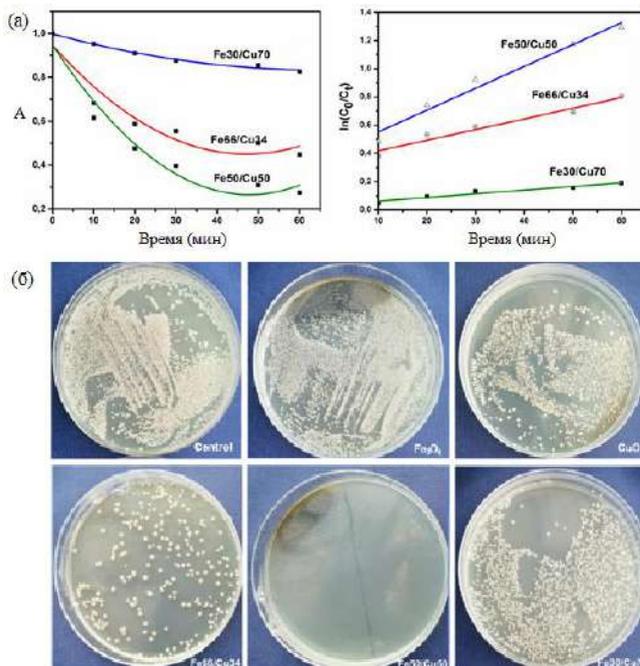


Рисунок 2 – Кривые разложения Конго красного под действием видимого света (а) и антибактериальная активность исследуемых наночастиц (б)

Выводы

В ходе представленной работы электрическим взрывом проводников были синтезированы наночастицы CuFe₂O₄/CuO/Cu₂O с различным фазовым составом. Значительная фотокаталитическая активность в реакции разложения конго красного наблюдалась при использовании наночастиц Fe₅₀/Cu₅₀ и Fe₆₆/Cu₃₄ с максимальным содержанием CuFe₂O₄. Образцы Fe₆₆/Cu₃₄ и Fe₅₀/Cu₅₀ обладают высокой антибактериальной активностью в отношении MRSA ATCC 43300. Таким образом, электрический взрыв проволок является эффективным

методом получения композитных наночастиц феррита меди/оксида меди с высокой фотокаталитической и антибактериальной активностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ 21-13-00498.

Литература

1. Mohamed M.J.S., Shenoy S., Bhat D.K. Novel NRGO-CoWO₄-Fe₂O₃ nanocomposite as an efficient catalyst for dye degradation and reduction of 4-nitrophenol // Material Chemistry and Phys. – 2018. – Vol. 208. – P. 112-122.
2. Sadiq M.M.J., Shenoy U.S., Bhat D.K. Enhanced photocatalytic performance of N-doped RGO-FeWO₄/Fe₃O₄ ternary nanocomposite in environmental applications // Materials Today Chemistry. – 2017. – Vol. 4. – P. 133-141.
3. Kefeni K.K., Mamba B.B. Photocatalytic application of spinel ferrite nanoparticles and nanocomposites in wastewater treatment: Review // Sustainable Materials and Technologies. – 2020. – Vol. 23. – 18p.
4. Subha A., Shalini M.G., Sahu B., Sahoo S.C. Structural transformation and magnetic properties of copper ferrite nanoparticles prepared by sol-gel method // Journal of Materials Science: Materials in Electronic. – 2018. – Vol. 29. – P. 20790-20799.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СПЛАВА ALCOCRFENI, ФОРМИРУЕМОЙ В ПРОЦЕССЕ ОДНООСЕВОГО СЖАТИЯ

А.Б. Юргин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, yurgin2012@yandex.ru**

Научный руководитель: Иванов И.В., к.т.н., научный сотрудник

В рамках данной работы было изучено деформационное поведение высокоэнтропийного сплава AlCoCrFeNi в условиях одноосевого сжатия. Полученная структура была исследована методом оптической металлографии. Изменение параметра решетки оценено с использованием метода дифракции синхротронного излучения. Установлены закономерности между степенью деформации, структурными параметрами и микротвердостью.

In this work, the deformation behavior of a high-entropy alloy AlCoCrFeNi under uniaxial compression conditions was studied. The resulting structure was investigated by optical metallography. The change in the lattice parameter was estimated using the method of synchrotron radiation diffraction. The regularities between the deformation, structural parameters and microhardness are established.

Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) пользуются большой популярностью крайние 10 лет среди ученых-материаловедов по всему миру. Данные сплавы, состоящие из 5 и более металлов, взятых в эквивалентных концентрациях (или близких к ним), отличаются высокой структурной стабильностью в широком диапазоне давлений и температур, а также высокой прочностью в сочетании с пластичностью [1]. Характерной особенностью ВЭСов является тот факт, что ряд физических, механических и эксплуатационных свойств может серьезно варьироваться при изменении даже одного компонента.

В данной работе рассматривается поведение высокоэнтропийного сплава $AlCoCrFeNi$ после пластической деформации по схеме одноосевого сжатия.

Образцы для исследования были получены посредством вакуумно-дуговой плавки в среде газа аргона. Методы микроструктурного и химического анализа показали, что полученная структура после выплавки имеет дендритное строение и состоит из двух фаз: обогащенной железом и хромом (светлая), обогащенная никелем и алюминием (темная) (рисунок 1). Также, для полученной структуры характерна ограниченная пластичность [2]: при достижении степени деформации в 11% и более, наблюдается процесс активного зарождения и распространения трещин (рисунок 2).



Рис.1 – Литая структура до деформации



Рис.2 – Структура деформированных образцов, где:
а – степень деформации 11%; б – степень деформации 23%

Несмотря на развивающиеся процессы разрушения в ходе сжатия, измерения микротвердости свидетельствуют об упрочнении структуры вплоть до степени деформации в 23% (рисунок 3).

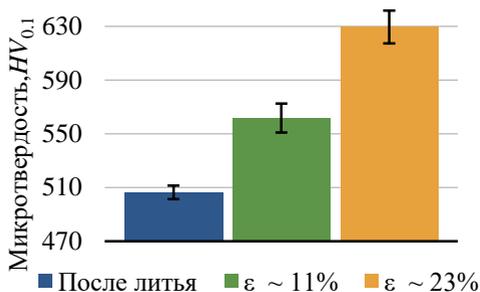


Рис. 3 – Микротвердость образцов при различной степени деформации

Также, структура образцов была изучена при помощи метода дифракции синхротронного излучения. В результате фазового анализа полученных дифрактограмм (рисунок 4) были установлены следующие типы кристаллических решеток: объемноцентрированная кубическая ($Im\bar{3}m$), обогащенная *Fe* и *Cr*; примитивная кубическая ($Pm\bar{3}m$), обогащенная *Ni* и *Al*.

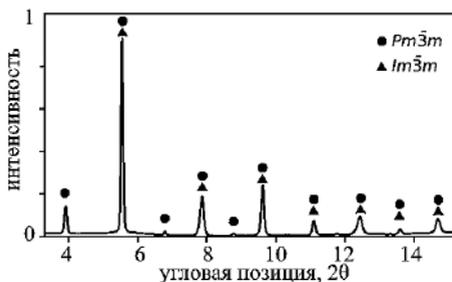


Рис. 4 – Дифрактограмма высокоэнтропийного сплава *AlCoCrFeNi* после литья

По положениям дифракционных максимумов был рассчитан параметр решетки примитивной кубической фазы (рисунок 5). Согласно полученным результатам параметр решетки существенно снижается при достижении степени деформации 21,3%, что может свидетельствовать о прохождении релаксационных процессов.

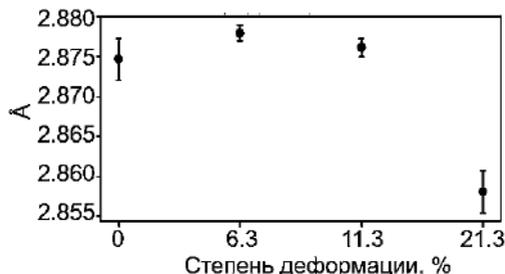


Рис. 5 – Изменение параметра примитивной кубической решетки

Таким образом, для образцов из рассматриваемого высокоэнтропийного сплава, полученных после литья, характерна дендритная структура, включающая в себя две фазы, имеющие различные типы кристаллических решеток и обогащенные различными элементами.

При осадке образцов более чем на 11%, происходит активное зарождение и распространение трещин. С увеличением степени деформации возрастает обширность разрушений структуры, при этом микротвердость образцов возрастает, а параметр ПК решетки резко снижается при приближении к деформации в 23% ввиду развития сжимающих напряжений, превышающих силу межатомных связей.

На основании полученных данных можно сделать вывод о высокой надежности литой структуры ВЭС данной системы и об отсутствии перехода вязкого характера разрушения в хрупкий при высоких степенях деформации [3].

Работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-73-10215.

Литература:

1. *Ahmad, A.S.; Su, Y.; Liu, S.Y.; Stahl, K.; Wu, Y.D.; Hui, X.D.; Ruett, U.; Gutowski, O.; Glazyrin, K.; Liermann, H.P.; et al. Structural stability of high entropy alloys under pressure and temperature// Journal of Applied Physics 2017, 121.*
2. *Кан, Р. Физическое материаловедение. В 3-х т. Том 3. Дефекты кристаллического строения, механические свойства металлов и сплавов / Под ред. Р. Кана. [Текст] / Р. Кан. — Москва: МИР, 1968. — 484 с.*
3. *Тушинский, Л. И. Структурная теория конструктивной прочности материалов: Монография [Текст] / Л. И. Тушинский. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. — 400 с.*

**Секция ТЕХНОЛОГИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ
ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**

**К ВОПРОСУ ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОДДЕЛОК
АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ БРОНЗОВЫХ НАХОДОК**

О.В. Боброва, А.В. Вовкудан, И.Ю. Буравлев
Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток
Институт химии ДВО РАН г. Владивосток
heilgard@mail.ru

В работе обсуждаются вопросы идентификации подделок археологических бронзовых сплавов. Выдвигается предположение о практической значимости изучения механизмов формирования структуры и особенностей искусственного формирования археологического облика для процесса точного воссоздания идентичной оригиналу реплики таких технологически сложных для изготовления в прошлом предметов, как средневековые бронзовые зеркала.

The paper discusses the identification of forgeries of archaeological bronze alloys. The assumption of the practical importance of studying the mechanisms of structure formation and peculiarities of artificial formation of archaeological appearance for the exact reconstruction of an identical to the original replica of such technologically challenging to manufacture in the past objects, as medieval bronze mirrors, is put forward.

К одной из особенных задач современных музеев относится потребность в воспроизведении предметов истории, культуры и искусства в той же манере, в том же материале и с сохранением особенностей подлинника. В отношении археологических предметов необходимость использовать в выставочных залах реплики зачастую продиктована плохой сохранностью оригинала, который требует специальных условий хранения с контролируемым микроклиматом. Этот подход распространен во многих странах, и в особенности в экономически развитых странах Азиатско-тихоокеанского региона. Однако музейная практика далеко не всегда ставит среди прочих задачу создания такой реплики, которая бы являлась точной копией, трудноотличимой от оригинала. Последнее более характерно для мошенничества в этой области, поскольку существует рынок, на котором осуществляется незаконная торговля археологическими предметами, собираемыми вопреки запрещающему это законодательству. В последние годы археологическая экспертиза нередко сталкивается с необходимостью установления подлинности древних бронзовых сплавов, число подделок которых в настоящее время растет, поскольку при современном уровне знания истории и технологии прошлого

изготовить подделку не составляет труда. Зачастую комплексные подходы к изучению состава, структуры, свойств, технологии производства, обработки и даже механизмов разрушения (старения) не позволяют однозначно установить характерные для имитации признаки.

Таким образом, к одной из производных от задач воспроизведения оригинальных находок следует отнести задачу разработки методов определения и опровержения подлинности предметов. Теоретически, реплика археологического предмета может быть точной копией оригинала с повторением химических и структурных характеристик сплава, с воспроизведением технологии изготовления предмета, а также с точным воспроизведением последствий многовекового пребывания в грунтовых (или иных) условиях во всем многообразии континуума продуктов разрушения материала, визуально формирующих характерный археологический облик.

Принимая во внимание перечисленные выше причины, разработка подходов к реплицированию предметов, а также выявлению особенностей их состава, структуры и свойств, представляет собой практический интерес.

Комплексное исследование материалов археологических предметов, выполненных из медных сплавов, может включать в себя весьма широкий набор инструментальных физико-химических методов анализа [1], которые, к сожалению, не всегда доступны музеям, во-первых, в виду своей высокой стоимости, во-вторых, из-за нюансов обращения с бесценными по определению предметами истории, культуры и искусства, которые всегда и в первую очередь требуют применения неразрушающих подходов, в-третьих, интерпретация полученных данных требует от оператора особых специальных знаний.

Несмотря на это, существуют относительно доступные методы, которые позволяют легко выявить низкокачественные подделки под археологическую бронзу. К числу этих методов, например, относится полуколичественный рентгенофлуоресцентный спектрометрический анализ [2]. Однако, случается так, что комплексный физико-химический анализ материала не показывает никаких отклонений от нормы, но при этом однозначно подтвердить подлинность не удастся. Исходя из того, что археологический предмет представляет собой некое следствие ряда технологических операций и процессов разрушения, в вопросах установления подлинности помимо физико-химических показателей и археологической типологии немаловажен еще и технико-технологический аспект изготовления предмета.

Найденные на территории Приморского края археологические находки представляют собой не только орудия труда или предметы быта, но и различного рода украшения, технология производства которых

близка к ювелирной практике. В современном ювелирном деле постоянен интерес к художественным образцам древних украшений, к изучению технологий прошлого с целью воплощения идей древности в современных формах. Исключительно перспективной можно считать попытку разработать методологические основы процесса воссоздания археологического предмета, которые могут лечь в основу последующей формулировки физико-химических и технологических принципов изготовления реплик бронзовых предметов. Многие предметы быта и вооружения стало возможно производить только после освоения технологии производства и обработки оловянной бронзы. Это относится, например, к изготовлению длинных мечей, бритвенных ножей и особенно к полированным зеркалам. Особое отношение к зеркалу отразилось на выборе металла для его изготовления. Перечень требований, предъявляемых в древности к зеркальному сплаву, включал цвет и блеск, высокую отражательную способность и не тускнеющую поверхность. На зеркалах, как ни на одном другом виде бронзовых изделий, можно проследить этапы освоения древними мастерами технологии термической и механической обработки медно-оловянных сплавов. Таким образом, такой объект археологического исследования, как бронзовое зеркало, можно считать своего рода квинтэссенцией технологической мысли в древности, что, в свою очередь, означает относительную сложность реконструкции технологии его производства.

Ранее уже предпринимались попытки воссоздания копий археологических предметов, выполненных из бронзы, и было показано, что основными технологическими операциями являются получение отливки методом литья по выплавляемым моделям и процесс старения поверхности с формированием характерного внешнего вида за счет патины, обладающей набором специфических несовершенств [3]. Таким образом, археологический бронзовый предмет, как объект изучения может рассматриваться с позиции набора различных несовершенств, которые и подлежат исследованию, а также анализу при изучении объекта с целью идентификации его подлинности.

Основной сложностью при реплицировании археологических бронзовых предметов является снятие копии с оригинала без его механического повреждения. С этой задачей позволяет справиться 3D-сканирование, которое воспроизводит объект в виртуальной модели. Полученная модель может быть напечатана на 3D-принтере, это будет являться мастер-моделью для будущей отливки. Также важным аспектом изготовления реплик в металле, является воспроизведение оригинального средневекового бронзового сплава с повторением его химического состава. Это позволит обеспечить более точный результат литья: дефекты, усадка, механические свойства и пр.

В качестве заключения можно выдвинуть предположение, что наиболее точное воспроизведение оригинального бронзового сплава с разработкой технологии изготовления предмета, максимально повторяющей древнюю технологию с точки зрения конечного результата, а также в последующем механическом и химическом воздействии на материал реплики, придающем ей характерный археологический внешний вид, представляет собой перспективное направление исследования, потенциальные результаты которого востребованы в вопросах экспертизы находок на предмет их подлинности, а также при сопровождении комплекса реставрационно-консервационных мероприятий при необходимости воссоздания утрат и для формирования характерного археологического облика.

Литература:

1. В.Н. Stuart. Analytical techniques in materials conservation. John Wiley & Sons Ltd, 2007.
2. О.Н. Цыбульская, И.Ю. Буравлев, А.А. Юдаков, Н. Ю.Г. Использование физико-химических методов анализа при изучении археологических объектов// Вестник ДВО РАН. – 2010. – С. 85–90.
3. К вопросу о технологии литья и старения реплики бронзового археологического предмета / И.Ю. Буравлев, А.А. Бойко, М.А. Карпенко, О.Н. Цыбульская // Научное издание: Мультидисциплинарные исследования в археологии. – Дальнаука. – 2014. – С. 9-17.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ БРОНЗОВЫХ ПРЕДМЕТОВ С ПОМОЩЬЮ ПОРТАТИВНОГО pXRF ЭКСПРЕСС- АНАЛИЗАТОРА

А.В. Вовкудан, О.В. Боброва, И.Ю. Буравлев

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток

viwianna@yandex.ru

В работе представлен подход к получению первичных сведений о композиции сплавов бронзовых археологических предметов с использованием неразрушающего метода рентгенофлуоресцентной спектроскопии на примере применения портативного экспресс-анализатора. Определен элементный состав материалов 64 бронзовых археологических находок, часть из которых представлена предметами, подлинность которых вызывает сомнения. Представленный подход может использоваться в комплексе физико-химических

исследований бронзовых сплавов с целью извлечения данных для сопровождения исторического исследования, подтверждения или опровержения подлинности предметов, а также для решения задач идентификации материала при сопровождении комплекса реставрационно-консервационных мероприятий.

The paper presents an approach to obtaining primary information on the composition of alloys of bronze archaeological objects using the non-destructive method of X-ray fluorescence spectroscopy using a portable express analyzer as an example. The elemental composition of the materials of 64 bronze archaeological finds has been determined, some of which are represented by objects, the authenticity of which is in doubt. The presented approach can be used in a complex of physicochemical studies of bronze alloys in order to extract data to accompany historical research, confirm or refute the authenticity of objects, as well as to solve problems of material identification while accompanying a complex of restoration and conservation measures.

Современное историческое исследование немислимо без применения естественнаучных методов анализа. Получаемые данные позволяют накапливать научную информацию, которая подкрепляет исследования обоснованными сведениями о составе и свойствах материалов предметов. Это позволяет выдвигать и подтверждать гипотезы о происхождение предметов, используемом сырье, технологии и обращении с предметами и пр. В частности, практически востребованной является задача установления и опровержения подлинности археологических бронзовых предметов, что предполагает комплексное исследование материалов, из которых они выполнены, а также продуктов их разрушения, сформированных в период длительного пребывания в грунтовых условиях. С этой точки зрения археологический предмет может рассматриваться как объект исследования в материаловедении, и, соответственно, иметь свои собственные уникальные характеристики состава, структуры, свойств, технологии производства и обработки, а также уникальные механизмы разрушений.

Комплексное исследование археологических предметов, выполненных из сплавов металлов, может включать в себя широкий набор инструментальных методов [1], которые в самом общем виде могут быть разделены на две большие группы: разрушающие методы и неразрушающие. Как известно, в отношении музейных коллекций и археологических предметов применение разрушающих методов анализа сильно ограничено и применение неразрушающего подхода всегда является предпочтительным. К числу основных неразрушающих методов следует отнести рентгеновские методы исследования, и, в частности, метод рентгенофлуоресцентной спектроскопии (РФС, XRF), в том числе его применение с использованием приборов экспресс-анализа в портативном исполнении (pXRF). Неразрушающий pXRF анализ

получил широкое распространение и стал популярным в области исследования предметов истории, культуры и искусства, обеспечивая исследование точными результатами, несмотря на простоту использования [2,3], в том числе для предметов, выполненных из бронзы [4,5]. Анализ результатов, полученных этим методом, позволяет выявлять отклонения значений концентрации элементов от диапазонов величин, характерных для сплавов археологического типа (например, средневековой эпохи). Очевидна целесообразность разработки методического подхода, позволяющего проводить предварительную экспресс-оценку исторической подлинности археологических предметов без необходимости использовать разрушающие методы анализа.

В настоящей работе, для предварительной оценки возможностей и информативности получаемых методом pXRF данных были проанализированы материалы археологических бронзовых предметов из Музея археологии и этнографии ИИАЭ ДВО РАН. Проанализировано 52 предмета, происхождение которых не вызывает в отношении себя сомнений в подлинности, и 12 предметов, подлинность которых подлежит сомнению. Отдельные области каждого предмета были исследованы на элементный состав с использованием портативного pXRF экспресс-анализатора Olympus Delta Professional DP 4000 (Япония). При проведении замеров предпочтение отдавалось ровным и плоским участкам. Полученные данные об элементном составе были далее проанализированы с помощью построения диаграмм размаха. Этот тип диаграмм хорошо зарекомендовал себя при анализе больших массивов данных, и в том числе эффективно применяется для археологических материалов [6,7], поскольку является одним из самых простых и доступных способов выявления асимметрии значений в статистической выборке [8].

В результате анализа материала для 64 исследованных предметов получен 321 замер элементного состава и выявлено возможное присутствие химических элементов, формирующих композицию сплава (рис. 1).

Установлено присутствие основных компонентов медного сплава (Cu, Sn, Pb, Zn), металлических (Fe, Ni, Al, Ti, Cr, Mn, Zr, Co), неметаллических (P, Si) и амфотерных (Sb, Bi) потенциально легирующих компонентов и примесей, а также следы присутствия драгоценных металлов (Au, Ag), содержащихся в слое декоративных элементов изделий и их покрытий. Сплав предметов, вызывающих сомнение в отношении своей подлинности, по сравнению с аутентичными находками из музея, имеют в своем составе несколько повышенную концентрацию Pb (некоторые значения превышают 40 %),

Zn (достигает 11 %), Fe (до 14 %). Для одного из предметов характерно высокое содержание Au, которое, очевидно, было использовано в составе декоративного покрытия.

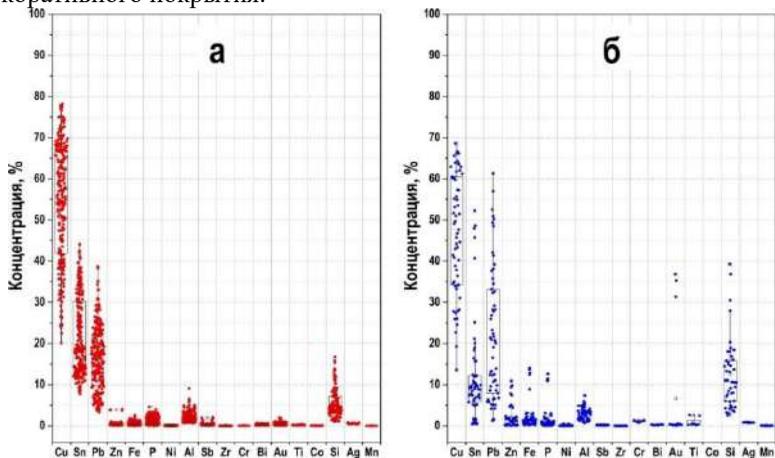


Рис. 1 – Диаграммы размаха, построенные по результатам данных элементного состава поверхности анализируемых бронзовых археологических предметов: *а* – 260 замеров, полученных при анализе 52 бронзовых зеркал, представленных в выставочном зале Музея археологии и этнографии ИИАЭ ДВО РАН; *б* – 61 замер, полученный для 12 бронзовых предметов, имеющих неопределённое происхождение, оставляющих вопрос к своей археологической подлинности.

Повышенное содержание P и Si связано с отсутствием консервационно-реставрационных мероприятий (частью которых является очистка поверхности предметов от остатков почвы и продуктов коррозии).

По результатам анализа можно сделать вывод, что для настоящих коллекций предметов примененным методом экспресс-анализа не установлено выраженных свидетельств того, что предметы выполнены из современных сплавов. Различия в наборе элементов и их концентрации не указывают однозначно на какие-либо признаки отклонения от ожидаемых результатов. Настоящие предметы могут быть переданы далее для проведения анализа более точными методами, в том числе, требующими отбора микропробы.

Литература:

1. Stuart B.H. Analytical techniques in materials conservation. John Wiley & Sons Ltd, 2007. 446 p.
2. Hunt A.M.W.W., Speakman R.J. Portable XRF analysis of

archaeological sediments and ceramics // J. Archaeol. Sci. Elsevier Ltd, 2015. Vol. 53. P. 626–638.

3. Marghussian A.K., Coningham R.A.E., Fazeli H. Investigation of Neolithic pottery from Ebrahimabad in the central plateau of Iran, utilising chemical–mineralogical and microstructural analyses // J. Archaeol. Sci. Reports. Elsevier, 2017. Vol. 16, № June. P. 604–615.

4. Цыбульская О.Н. et al. Использование физико-химических методов анализа при изучении археологических объектов // Вестник ДВО РАН. 2010. № 5. P. 85–90.

5. Charalambous A., Papasavvas G., Kassianidou V. Enkomi (Cyprus): Using pXRF spectroscopy to identify LBA copper alloys // J. Archaeol. Sci. Reports. 2021. Vol. 35. P. 102726.

6. Zhushchikhovskaya I.S., Buravlev I.Y. Ancient Ceramic Casting Molds from the Southern Russian Far East: Identification of Alloy Traces via Application of Nondestructive SEM-EDS and pXRF Methods // Heritage. 2021. Vol. 4, № 4. P. 2643–2667.

7. de Dios V.P. et al. Archaeometric study of roman tesserae from salamanca (Spain). archaeology and geochemical analysis // Interdiscip. Archaeol. 2018. Vol. 9, № 1. P. 31–42.

8. Shen J.Y. et al. A study of the glazing techniques and provenances of Tang sancai glazes using elemental and lead isotope analyses // Archaeometry. 2019. Vol. 61, № 2. P. 358–373.

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ НАБОРА ЮВЕЛИРНОЙ БИЖУТЕРИИ ИЗ КЕРАМИКИ

Д.М. Бурмакина

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, dorotea_ez@mail.ru**

Научный руководитель: к.п.н., доцент Ю.В.Веселова

Целью проекта является разработка художественного украшения в русском стиле. Керамическое ожерелье будет состоять из своеобразных компонентов в виде сибирских валенок, шишек, фигурок медведя и совы. Сибирская тематика ожерелья будет актуальна для украшения, которое можно дарить как сувенир при посещении нашего края.

The purpose of the project is to develop art decoration in the Russian style. The ceramic necklace will consist of peculiar components in the form of Siberian rolls, cones, bear figures and owls. The Siberian theme of the necklace will be relevant for decoration, which can be given as a souvenir when visiting our region.

Ожерелье – самый распространенный аксессуар у женщин всего мира. Этот вид украшения имеет древнейшую историю. В одной из пещер в Израиле археологами были найдены бусы, установленный возраст которых более 100 тысяч лет. В те времена эти украшения изготавливались из мелких раковин, костей и зубов животных, зёрен и деревянных палочек. Позднее стали появляться бусы из камней, янтаря, жемчуга. Железный век, когда люди овладели искусством обработки металлов, задал моду на бусы в виде железных колец. С появлением ожерелий из стеклянных бусин связывают IV век до н.э., считающийся периодом изобретения стекла. Однако недавно в Египте ученые обнаружили стеклянную бусину каплевидной формы, возраст которой насчитывает 5 тысяч лет[2].

Испокон веков бусы имели не только эстетическое и декоративное значение. Они широко наделялись магическими свойствами. Считалось, что амулеты и бусы обеспечивают человеку связь с божественными силами: оберегают от злых духов и способны приносить удачу. И в наши дни многие наделяют любимые аксессуары волшебными свойствами талисманов, особенно, если они изготовлены собственноручно. Изделия такого рода стали очень популярны в наши дни. Нужно отметить, что спросом у наших современниц пользуются и ожерелья и бусы, отличающиеся тем, что у бус элементы нанизаны на нить, а у ожерелья камни - это вставки в обруч или цепочку

При разработке ожерелья был произведен анализ аналогов данного изделия, в процессе которого обращалось внимание на материал, характерные формы и цвета, используемые для керамических ожерелий. В данном проекте предлагаем наполнить ожерелье очарованием, фантазией и отразить красоту и некоторые символы Сибири в керамике. Был разработан ряд эскизов, целью которых был поиск оптимальной формы, конструкции, цветового решения проектируемого изделия. В результате был выбран оптимальный эскиз ожерелья под названием «Воспоминания о Сибири», сочетающий в себе компоненты, ассоциирующиеся с богатством сибирского края – лесами лиственными и хвойными, полями, озерами, а также характерной одеждой сибиряков, населяющей территорию флорой и фауной. Бусины будут иметь форму морошки, снежинки, валенка, шишки, кедра, медведя и совы.

Основой ожерелья является жесткий ювелирный корд длиной 45 см с надежным закручивющимся замочком, которое будет хорошо держать форму и красиво лежать вокруг шеи.

Выбор керамики был обусловлен ее свойствами, такими как объемная масса, механическая прочность, термические свойства.

Технологический процесс керамического изделия осуществляется следующими этапами:

- приготовление керамической массы;
- выбор формы элемента ожерелья - бусины;
- формование бусины;
- создание отверстия для нанизывания;
- создание фактуры на бусине (при необходимости);
- сушка элемента - бусины;
- обжиг при температуре 170 градусов;
- декорирование глазурью.

Для декорирования керамических бусин применяются цветные декоративные глазури и препараты благородных металлов (золото- и платиносодержащие), которыми вручную расписывается каждая бусина. Поэтому керамические украшения являются в прямом смысле слова доступными драгоценностями. Бижутерия из глины сипатична и оригинальна.

Литература:

1. Иманов Г.М., Косов В.С., Смирнов Г.В. Производство художественной керамики: Учеб. Для сред. ПТУ.-М.: Высш. Шк., 1985.- 223 с.
2. Зеленин Д.К. Восточнославянская этнография. М., 1991.
3. Акунова, Л.Ф. Технология производства и декорирование художественных керамических изделий [Текст]/Л.Ф. Акунова, В.А. Крапивина. - М., 1983.

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ ДЕКОРАТИВНОЙ ШКАТУЛКИ «ТЫКВА НА СЧАСТЬЕ»

М.А. Верещак

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, margarita.vereshak@yandex.ru

Научный руководитель: к.п.н., доцент Ю.В. Веселова

Целью проекта является разработка декоративной шкатулки, в форме тыквы, которая послужит отличным дополнением к любому современному интерьеру, создаст особую уютную атмосферу. В соответствии с этапами проектирования был произведен анализ аналогов, разработаны эскизы, в которых учтены оптимальные параметры формы, композиции и стиля. В

качестве материала для шкатулки была выбрана керамика, а для подставки металл, технология изготовления металлической подставки – лазерная резка.

The aim of the project is to develop a decorative box in the shape of a pumpkin, which will serve as an excellent addition to any modern interior, creating a special cozy atmosphere. In accordance with the design stages, analogs were analyzed, sketches were developed, which took into account the optimal parameters of form, composition and style. Ceramics was chosen as the material for the box, and metal for the stand, the technology of manufacturing the metal stand was laser cutting.

Шкатулки известны с давних времен. Так, в древнем Египте ценные вещи было принято хранить в небольших кувшинах. Мастера Японии 2000 лет назад изготавливали декоративные коробочки из смолы и дерева. Шкатулки на Руси появились как производное от сундуков для одежды. Со временем одежда стала храниться в шкафах, сундуки стали выполнять только функцию хранения небольших изделий, а размер их уменьшился до настольного. Появились шкатулки для хранения драгоценностей, памятных вещей или ценных бумаг. [3].

Качественная, выточенная из камня или сработанная из дерева, фарфоровая шкатулка всегда несла в себе тайну. Декоративные ларцы снабжались различными замками, секретами, двойным дном, запорами со сложной последовательностью.

Подобное изделие актуально и для современного общества. Декоративную шкатулку можно встретить практически в каждом доме. Функции шкатулки остались неизменными, а вот в дизайн коробочки с секретом современные тренды, безусловно, внесли свои коррективы. Формы шкатулок также различны - от замысловатого фигурного изделия до простого и лаконичного. Массовое производство и разнообразие материалов позволило сделать ценовой диапазон доступным для каждого человека.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в наше время шкатулка пользуется не меньшей популярностью, она является декоративным элементом интерьера и одновременно местом для хранения разных вещей, необходимых в быту, а также украшений [2].

При разработке эскизов были изучены аналоги шкатулок различной формы и размера. Поскольку основной материал шкатулки – керамика, было решено оставить форму максимально приближенной к прототипу, добавив лишь несколько декоративных элементов. Важно, также, создать шкатулку небольшого размера, но при этом достаточно вместительную.

В результате создания эскизов была выбран вариант с декоративными элементами в виде капель на нескольких сегментах (рисунок 1). Форма приближена к реалистичному прототипу, но декоративно переработана – более выражены углубления, делящие поверхность тыквы на сектора,

которые будут окрашены в гармонично сочетающиеся между собой цвета. Изделие состоит из крышки и глубокой емкости для хранения. Имеет небольшой выступ на одном из сегментов на стыке крышки и чашки. Дополнительных креплений или замков не имеет, будет, также, удобна для частого использования. Место для хранения глубокое, подойдет для большого количества украшений [1].

В качестве основания керамической шкатулки используется металлическая подставка с растительным орнаментом. Цвет подставки медный, в тон к основному изделию. Предположительная технология – плазменная или лазерная резка.

Литература:

1. Русские ремёсла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://russianarts.online/20040-shkatulka/> – Дата доступа: 19.11.21.
2. Ярмарка мастеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.livemaster.ru/topic/1234219-ukrashenie-dlya-ukrashenij-ili-iz-istorii-shkatulki> – Дата доступа: 20.11.21.
3. Лавка старины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dvaveka.ru/blog/istoriya-poyavleniya-shkatulok/> – Дата доступа: 20.11.21.

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ ДЕКОРАТИВНОГО НАБОРА ДЛЯ СПЕЦИЙ «РЯБА»

О.В. Абоимова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, olga.aboimova.97@mail.ru**

Научный руководитель: к.п.н., доцент Ю.В. Веселова

Целью проекта является разработка набора для специй, состоящий из солонки перечницы, салфетницы и подставки для них. Весь набор объединен общей концепцией, что делает всю композицию гармоничной. В соответствии с этапами проектирования был произведен анализ аналогов, разработаны эскизы, в которых учтены оптимальные параметры формы, композиции и стиля. В качестве материалов были выбраны древесина, металл и керамика, а в качестве технологии – резка на фрезерном станке, лазерная резка и шликерное литье соответственно.

The aim of the project is to develop a set for spices, consisting of a pepper shaker, a napkin holder and a stand for them. The whole set is united by a common concept, which makes the whole composition harmonious. In accordance with the design stages, analogs were analyzed, sketches were developed, which took into account the optimal

parameters of form, composition and style. Wood and ceramics were chosen as the material of materials, and cutting on a milling machine, laser cutting and slip casting, respectively, were chosen as the technology.

Специальная посуда для хранения появилась с тех пор, как люди постепенно начали открывать новые вкусы с помощью специй, чтобы свойства приправ были сохранены как можно дольше. Наборы для специй должны быть удобны в использовании и не занимать много места. А интересный дизайн таких наборов может органично дополнить интерьер кухни или ресторана, или стать украшением обеденного стола. Многое во внешнем виде способен изменить выбор материала. Обычно для изготовления солонки и перечницы используют различные металлы, стекло, дерево, различные металлы, реже керамику, - это также справедливо для салфетниц. Практичность и внешние достоинства позволили наборам для специй приобрести широкое применение по всему миру [1,2].

Наборы из солонки, перечницы и салфетницы сейчас достаточно широко представлены в ассортименте магазинов товаров широкого потребления, но при изучении аналогов данного изделия выяснилось, что большая их часть выполнена из пластика, состоит из двух элементов – солонки и перечницы, комплекты зачастую имеют тривиальную малохудожественную форму. Все это позволило сделать вывод об актуальности этого проекта.

При разработке были сформулированы требования к проектируемому изделию, части которого можно как собирать в единый элемент, так и расставлять по отдельности. Форма набора соответствует концепции и объединяет три разных материала.



Рис. 1 – Набор для специй «РЯБА»

Прототипом данного набора стал образ известной русской сказки «Курочка-ряба». Салфетница представляет собой двойной ажурный силуэт курицы, выполненный с помощью художественной техники – филиграни - из латуни. Салфетки, которые будут располагаться между двумя, параллельно расположенными частями, дополняют силуэт птицы, создавая иллюзию пышного хвоста.

Деревянная подставка, на краю которой расположена металлическая салфетница, имеет две неглубокие округлые выемки для керамических солонки и перечницы, выполненных в форме яиц технологией шликерного литья. Это техника изготовления гончарных изделий путем **литья** в форму, без использования гончарного круга или ручной формовки [4]. В подставке есть также продолговатая выемка для зубочисток. Подставка сохраняет естественную фактуру древесины, поэтому покрыта морилкой темного цвета и пихтовым лаком для дерева.

Выбор древесины в качестве материала был обусловлен ее низкой стоимостью, долговечностью, легкостью обработки, приятной фактурой. Наиболее подходящим сортом дерева для данного изделия является дуб [3].

Проектируемый набор подходит для среднесерийного производства и имеет доступную цену, соответствующую качеству.

Литература:

1. Солонка // Путеводитель. Русские ремёсла [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://russianarts.online/40677-solonka/> (Дата обращения: 11.11.21).

2. Жизнь соли, или Соль жизни. Обычная солонка как произведение искусства // Ярмарка мастеров [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.livemaster.ru/topic/1731587-zhizn-soli-ili-sol-zhizni-obychnaya-solonka-kak-proizvedenie-iskusstva>, свободный. (Дата обращения: 12.11.21).

3. Преимущества дуба перед другими породами деревьев // BELPROGRESS URL: <https://belprogress.by/stati/110-preimushchestva-duba-pered-drugimi-porodami-derevev> (дата обращения: 20/10/21).

4. Шликерное литье // Станки эксперт [Электронный ресурс] <https://stankiexpert.ru/spravochnik/litejnoe-proizvodstvo/shlikernoe-lityo.html>

ДИЗАЙН–ПРОЕКТ ПАРЫ СЕРЁГ В ТЕХНИКЕ ФИЛИГРАНЬ

С.А. Зеленских

Новосибирский государственный технический университет

г. Новосибирск, sofia.zelenskih@mail.ru

Научный руководитель: старший преподаватель О. В. Береговая

Целью проекта является разработка пары серёг, выполненных в технике филигрань. В настоящее время данная техника не пользуется популярностью, довольно редко используется в ювелирных украшениях. Анализ аналогов изделий, представленных на современном рынке, позволил разработать серьги, которые соответствуют современной моде и выигрышно показывают достоинства техники. В данной работе обоснован выбор материала и технология изготовления сережек.

The purpose of the project is to develop a pair of serogas made in the filigree technique. Currently, this technique is not popular, it is quite rarely used in jewelry. The analysis of analogues of products presented in the modern market made it possible to develop earrings that correspond to modern fashion and profitably show the advantages of technology. In this work, the choice of material and the technology for making earrings are justified.

Первые ювелирные украшения появились приблизительно пять тысяч лет назад. Египет, Италия, Китай одни из первых стран, которые дали возможность людям подчеркнуть свою красоту при помощи ювелирного дела. Именно изделия, изготовленные в данной технике обработки металла, смогут дополнить коллекцию в вашей шкатулке украшений.

Филигрань (по-русски — скань) представляет собой узор из тонкой проволоки, напаянной на металл. С филигранью сталкивались практически все, наверняка, во многих семействах сохранились предметы, изготовленные с помощью этого ювелирного искусства. Материалами для таких изделий служат сплавы золота, серебра и платины, а также медь. Причиной увлечения именно этих материалов служит мягкость металлов, из них можно свить весьма тонкие проволочки.

В данном проекте разработаны двойные серьги в технике филигрань, состоящие из округлой швензы, с двух сторон которой расположены основные объемные элементы серег, закрепленные на тонкой цепочке. Части серег будут располагаться с двух сторон ушной раковины. Одна часть выполнена в виде филигранных чаши и капельки, украшенных жемчугом. Другая часть состоит из конусообразного кончика, так же украшенного жемчугом, в этой же части серьги будет идти резьбовое соединение для его фиксации и продевания в ухо серьги.

Изделие выполнено ажурной филигранью, материалом для которой послужит сплав серебра. Серьги будут украшены жемчугом, но при серийном воспроизводстве изделия, возможно использование драгоценных камней, хорошо сочетающихся с цветом серебра, например, сапфиров.

Техника ажурной филигрании предполагает полное отсутствие металлической основы, узор из проволоки спаивается, а зернь крепится на кружево из металла. Само кружево может быть плоским, тогда это плоская ажурная филигрань, если же спайка происходит в двух измерениях, то получается скульптурно-ажурный тип. Ажурную, без фона, принято именовать русской филигранью.

Необходимый сплав – Ag970. В данном сплаве содержание меди очень низкое, поэтому по некоторым свойствам, например, по цвету, устойчивости к потускнению, он очень схож с чистым серебром. Благодаря высокой температуре плавления сплав Ag970 часто используется для изготовления изделий с эмалью (прозрачные краски подсвечиваются более интенсивно). Особенно подходит дляковки, глубокой вытяжки и исполнения тонких филигранных работ.

Данные серьги выглядят очень современно в трендовом русле так называемого «русского стиля». Оригинальный дизайн серег строится на сочетании объемной интересной формы и ажурной техники филигрании.

Литература:

1. Филигрань и скань: история, техника и схемы узоров. [Электронный курс] <https://kavkazsuvenir.ru/blog/filigran-i-skan> (дата обращения: 12.11.2021)
2. Серебро и его сплавы [Электронный курс] <https://mirkamney.moy.su/publ/35-1-0-26> – Дата публикации: 09.01.2009 – mirkamney (дата обращения: 12.11.2021)

ДИЗАЙН - ПРОЕКТ НАСТЕННОЙ ВЕШАЛКИ «SOUL CHORD»

К.О. Куфельд

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kufeld01@inbox.ru
Научный руководитель: к.п.н., доцент Ю. В. Веселова

Целью проекта является разработка настенной вешалки, служащей для хранения одежды в подвешенном состоянии. В соответствии с этапами проектирования был проведен анализ аналогов данного изделия, выполнены эскизы, которые были направлены на поиск оптимальной формы, стиля вешалки, а также в качестве дополнения сделан настенный держатель для гитары. Обоснован выбор материала и технология изготовления. Если у одежды в прихожей нет определенного места хранения, то ее кладут куда попало, на стул, оставляя на тумбе, диване, полу – все эти маневры потенциально могут привести к порче одежды, так как на нее могут сесть, ее могут уронить, задеть и помять и т.д. Для эстетов вешалка может также служить элементом интерьера, так как многие из них выглядят довольно стильно.

The aim of the project is to develop a wall hanger that serves to store clothes in a suspended state. In accordance with the design stages, an analysis of the analogues of this product was carried out, sketches were made that were aimed at finding the optimal shape, style of the hanger, and a wall-mounted guitar holder was made as an addition. The choice of material and manufacturing technology is justified. If the clothes in the hallway do not have a specific storage place, then they are put anywhere, on a chair, leaving on a bedside table, sofa, floor – all these maneuvers can potentially lead to damage to clothes, since they can sit on it, they can be dropped, hurt and crumpled, etc. For aesthetes, a hanger can also serve as an interior element, since many of them look quite stylish.

Разместить в прихожей шкаф для одежды получается не всегда. В этом случае используются настенные вешалки, способные частично выполнять функции этого предмета мебели. Еще во второй половине 19-го века, когда началась смена образа жизни и новый подход к одежде, люди задумывались о том, как наиболее удобно разместить одежду. История создания вешалки – плечиков берет свое начало в 1869 году. Во Франции вешалки и плечики для одежды изготавливались в деревообрабатывающих цехах и на небольших фабриках, где производились металлические прутья. Внешний вид обыкновенных вешалок и плечиков адаптировался к быстро меняющейся моде: от коротких мужских пиджаков до сюртука для утренних визитов и фраков, от женских вешалок для кружевных корсетов до плечиков для легких или вечерних платьев. От простого крючка с перекладной произошли

вешалки с постепенно расширяющимися плечиками, вешалки с растягиваемыми застежками, вешалки со вставками, вешалки, закрепленные винтом или гвоздем, плечики для одежды прямые или изогнутые, одежные вешалки фасона Bardeaux (Бордо), оставляющие достаточно места для широких воротников. [4]

В настоящее время существует множество идей и технологий для создания настенных вешалок. Изделия такого рода стали популярны в наши дни. Такими изделиями можно подчеркнуть дизайн интерьера музыкальных студий, классов, жилых домов и квартир.

Конструкция настенной вешалки не занимает много места, что особенно важно для оформления небольших коридоров. Такие вешалки отлично вписываются в любой интерьер. Они не загромождают пространство, позволяя повесить достаточное количество верхней одежды. В небольших квартирах, или комнате в общежитии настенные вешалки могут совмещать в себе функции хранения одежды и одновременно музыкального инструмента, в частности, гитары. Опора для инструмента создана специально для того, чтобы решить вопрос расположения гитары в интерьере, и предотвращает большинство проблем, связанных с хранением этого музыкального инструмента.

В процессе разработки был произведен анализ аналогов данного изделия, в процессе которого обращалось внимание на формы вешалок, также на их декорирование и различные технологии изготовления. После проведения анализа было выяснено, что современные настенные вешалки в основном выполняются из древесины, ламинированного ДСП и металла. В данном проекте предлагаем выполнить вешалку из фанеры с использованием металлических крючков. Фанера ФК (фанера водостойкая) обладая меньшими влагостойкими характеристиками, такая фанера используется преимущественно при внутренней отделке помещений, в мебельном производстве, при изготовлении деревянной тары, при работе с конструкциями внутри помещения. Для производства этой фанеры используется карбамидный клей. Данный вид обладает средним уровнем водостойкости. Важными особенностями этого типа являются высокий уровень экологической безопасности и отсутствие запаха.[2] Был разработан ряд поисковых эскизов целью которых был поиск оптимальной формы, конструкции, цветового решения проектируемого изделия. В результате был выбран оптимальный с нашей точки зрения эскиз настенной вешалки под названием «Soul Chord», основой которого является планка в виде нотного стана, произвольно изогнутого, на которой закреплены крючки и держатель для гитары. Также для создания музыкального образа вешалку украшают зеркала в виде нот, выполненные из зеркальной стали лазерной резкой.

Технологический процесс изготовления настенной вешалки осуществляется следующими этапами: [3]

- подготовка материала
- установка соответствующей программы для лазерного луча
- лазерная резка
- сборка

Лазерная резка далеко не новый метод художественной обработки древесины, который с момента появления сразу же завоевал огромную популярность. В сравнении с аналогичным процессом, выполняемым лобзиком вручную, такой способ демонстрирует ряд преимуществ, основным из которых является скорость работы при ее высокой точности, обеспеченной современным многофункциональным оборудованием[1].

Выбор горизонтальной формы вешалки обусловлен тем, что она зрительно «растягивает» стену в ширину, может устанавливаться в небольшом простенке или уголке и более компактна. Фанера - это практичный материал, достаточно легкий, хорошо обрабатываемый.. Благодаря уникальным преимуществам материал будет долго служить, не теряя своих свойств и внешней привлекательности.

Литература:

1. Григорьянц А.Г., Основы лазерной обработки материалов , - М; Высш. Шк., 1989. – 304 с.
2. Фанера и ее свойства [электронный ресурс] <https://stroymanual.com/fanera-konstruktsionnyj-material-dlya-karkasnogo-doma/> (дата обращения 22.11.2021)
3. Лазерная резка фанеры [электронный ресурс] <https://derevo-s.ru/oborudovanie/stanki/lazernaya-rezka-fanery> (дата обращения 12.11.2021)
4. Настенные вешалки [электронный ресурс] <https://stroy-podskazka.ru/prihozhaya/mebel/nastennye-veshalki/> (дата обращения 9.11.2021)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ РИСУНКА НА ДАМАССКОЙ СТАЛИ

Е.А. Макаева, Д.В. Моисеенко, В.В. Андреев
Дальневосточный Федеральный Университет
г. Владивосток, makaeva.ea@students.dvfu.ru

Целью проекта является исследование технологии формирования рисунка различных видов дамаска. В рамках работы осуществляется оптимальный выбор материала. Опытным путем определяются условия формирования различных узоров, в зависимости от технологии получения.

The purpose of the project is to study the technology of forming a drawing of various types of damascus. The optimal material selection is carried out as part of the work. The conditions for forming time-personal patterns are determined experimentally, depending on the production technology.

В прежние времена от качества клинка зачастую зависела жизнь его владельца. Создавая клинок, оружейники сталкивались с дилеммой «прочность или пластичность». Клинковая сталь занимала промежуточное положение между хрупким, но твердым белым чугуном и пластичным, но мягким железом. Чем больше в стали содержится углерода, тем острее и тверже будет лезвие клинка из него изготовленного, но одновременно с этим ниже будут его пластичность и вязкость. И наоборот: чем содержание углерода меньше — тем лучше клинок будет сопротивляться ударным нагрузкам, и хуже резать.

Однако существовали мечи, которые обладали и значительной твердостью, и высокой механической прочностью. Их клинки можно было довольно сильно согнуть и при этом они не ломались, а при снятии нагрузки восстанавливали свою форму. Их особенность – композитное строение и узор, который не был искусственно нанесен на поверхность клинка, но являлся одним из внешних признаков стали, из которой он изготовлен. Данный металл и назывался — «дамасская сталь» [1].

Вопреки распространённому мнению, старинный дамаск довольно мягкий и не очень прочный, поскольку примерно в равных долях состоит из кричного железа и среднеуглеродистой стали. Собственно, и в древних мечах он применялся только в местах наибольшей концентрации напряжений - на боковых обкладках поверх вязкой железной сердцевины. Родоначальниками технологии производства дамасской стали принято считать франкских мастеров, работавших на территориях, входивших в состав Римской империи в первом тысячелетии новой эры.

Дамасская сталь — вид стали с видимыми неоднородностями на стальной поверхности, чаще всего в виде узоров, получаемых различными способами из изначально неоднородной по химическому

составу заготовки. Различаются три основных разновидности узорчатой стали [2]:

1) Сварочный дамаск: его получают при многократной перековке слоистого пакета, состоящего из сталей с различным содержанием углерода.

2) Тигельные булаты: узоры представляют собой скопления вторичных карбидов, расположенных в матрице эвтектоидного состава. Булат производят из застывшего в тигле слитка высокоуглеродистой заэвтектоидной стали, получившего при кристаллизации сильную ликвацию по углероду; узор формируют сложными методамиковки [3].

3) Фаранд, нечто среднее между первыми двумя: сталь с содержанием углерода порядка 2% расплавляют и вводят в нее мелкие кусочки железа. После некоторой выдержки железо частично науглероживается и по остывании слитков представляет собой смесь участков высоко- и среднеуглеродистой стали с крупными скоплениями вторичных карбидов.

Следует отметить, что в русскоязычной литературе дамаском считается только сварочный металл, остальные же относят к булатам разных типов [4].

Существует несколько типов рисунков дамасской стали [5]:

1) «Дикий» или полосатый дамаск (рис.1). Получается путем кузнечной сварки пакета, набранного из пластин стали с разным содержанием углерода. Слои свариваются, и прокованная полоса разрезается на части, складывается в новый пакет для последующей сварки. Такая операция повторяется несколько раз, до получения необходимого количества слоев, а узор формируется произвольно из-за неравномерного их расположения.

2) Штемпельный дамаск. Получается при проковке полосы с использованием специальных фигурных штампов: слои в заданном порядке деформируются, и после шлифования и на поверхности заготовки появляется регулярный узор.

3) Крученный (турецкий) дамаск. Начальная заготовка представляет собой туго скрученный прут из 3-10 слоев. Узор получается благодаря сварке нескольких скрученных в разном направлении прутков в полосу и удалению верхней части последней. Сложность конечного узора зависит от количества слоев в исходных пакетах и толщины срезанного слоя.

4) Мозаичный. Исходный пакет собирается из прутков и пластин, которые формируют на торце пакета желаемый узор. После сварки и проковки заготовку разрезают на куски и сваривают в полосу, либо нарезают «гармошкой» и разворачивают: торцевой узор оказывается выведенным на боковые стороны пластины.



Рис. – «Дикий» или полосатый дамаск [6]

Для того, чтобы выявить взаимосвязь технологии получения дамасской стали с возникновением характерного рисунка, были выполнены три типа рисунков: дикий, крученный и мозаичный развернутый. На начальном этапе было необходимо подобрать такие марки стали, которые при оксидировании давали бы контрастные цвета. Были выбраны мартенситная сталь 40X13, дающая при травлении темные полосы, и ферритная сталь 08X17T (в качестве светлых полос или «железа»).

При сварке дамаска из высоколегированных сталей возникают несколько проблем.

Присутствие воздуха между пластинами стали приводит к появлению оксидных пленок, которые не позволяют провести диффузионную сварку. При сварке дамаска из углеродистых и низколегированных сталей это не страшно, поскольку оксидные пленки легко удаляются с применением множества разнообразных флюсов, в частности с использованием буры. Однако оксидные пленки на высоколегированных сталях требуют применение фторсодержащих флюсов, что опасно для здоровья, поэтому использовали метод «сухой» сварки с полной герметизацией пакета (рис.2а).

Второй проблемой являются напряжения, возникающие при ковке вследствие разной горячей пластичности и термических коэффициентов линейного расширения разных сталей. Они могут привести к возникновению напряжений при ковке и остывании пакета, которые в свою очередь могут вызвать расслоение, даже если сварка была успешной. Для снижения напряжений начальный пакет собирается с как можно большим количеством слоев, а сваривается и расковывается при максимально допустимых температурах.

Технология изготовления заготовки дамаска была выбрана следующей. Для того чтобы связать кислород воздуха неизбежно оставшегося в пакете, пластины перед сваркой необходимо покрыть тонким слоем сажи. При нагреве пакета углерод взаимодействует с кислородом из оксидных пленок, восстанавливая их с образованием угарного газа.

Для ускорения процесса обварки и уменьшения тепловложения, приводящего к окислению свариваемых поверхностей, было решено вместо наплавленного слоя использовать приваренные по контуру стальные пластины (рис.2б).

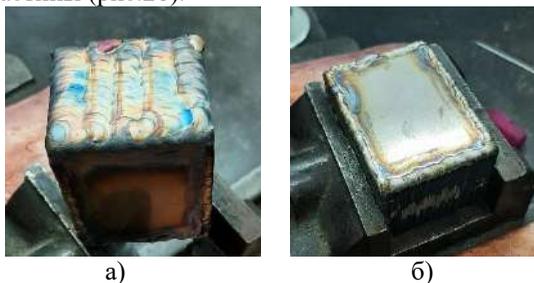


Рис.2 – Процессы герметизации пакета: а) наплавленный слой на терце пакета б) приваренная стальная пластина

Герметизированный пакет подвергали высокому отпуску (680–700°С) для снятия напряжения в швах. Диффузионную сварка выполняли при температуре 1100–1150°С на пневматическом молоте марки МА4132. После уменьшения высоты пакета на треть боковые пластины зачищали и пакет визуально осматривали на наличие непроваров, и, если таковых не было, расковывали в размер. После окончанияковки выполняли высокий отпуск. Пакет шлифовали со всех сторон, нарезали на части и процесс повторяли.

Начальный пакет состоит из 30 слоев, которые впоследствии увеличиваются до 270. Красивый дикий узор дамасской стали начинает формироваться в диапазоне от 200 до 300 слоев.

Тема формирования рисунка дамасской стали очень актуальна в наше время – из дамасской стали выполняются многие коллекционные и охотничьи ножи, стволы охотничьих ружей и даже ювелирные изделия. И хотя не все, что предлагается сегодня на рынке, является качественным металлом, современные технологии диффузионной сварки позволяют превзойти все древние дамаски, как в части качества сварки, так и в части используемых материалов и возможности формирования узоров.

Литература.

1. Антейн А.К. Дамасская сталь в странах бассейна Балтийского моря/А.К. Антейн – М.: Изд. «Знание». Рига, 1973г. – 139с.
2. Технология изготовления дамасской стали. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://martensit.ru/stal/damasskaya-stal/>
3. Damascus Steel and Crucible Steel in Central Asia/Ann Feuerbach// American Society of Arms Collectors Bulletin. – 2000. – №82. – С.33-42.

4. В.Н.Хорев. Булат и дамаск в оружии/В.Н.Хорев. – М.: Феникс, 2004. – 146 с.

5. Дамасская сталь: виды традиционного и современного дамаска, методы изготовления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lastday.club/damasskaya-stal-traditsionnyj-i-sovremennyj-damask-metody-izgotovleniya/>

6. Стальные узоры дамаска. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://rezat.ru/articles/stalnye-uzory-damaska/>

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ ДЕКОРАТИВНОГО ПОДСВЕЧНИКА «ДРАКОНЫ»

В.А. Мальцева, Ю.В. Веселова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, arilosdemiurge@mail.ru**

Научный руководитель: к.п.н., доцент Ю.В. Веселова

Целью проекта является разработка парных декоративных подсвечников, комплементарные по форме, которые послужат отличным дополнением к любому современному интерьеру, создаст особую атмосферу уюта и тепла. В соответствии с этапами проектирования был произведен анализ аналогов, разработаны эскизы, в которых учтены оптимальные параметры формы, композиции и стиля. В качестве материала была выбрана древесина, а в качестве технологии – резка на фрезерном станке.

The aim of the project is to develop paired decorative candlesticks, complementary in shape, which will serve as an excellent addition to any modern interior, will create a special atmosphere of comfort and warmth. In accordance with the design stages, analogs were analyzed, sketches were developed, which took into account the optimal parameters of form, composition and style. Wood was chosen as the material, and cutting on a milling machine was chosen as the technology.

С древних времен людей восхищал огонь. Он пугает, но и одновременно дает тепло, жизнь. Такой источник энергии людям захотелось покорить и сделать частью своей жизни. Так появились подсвечники – декоративный элемент, который предназначен для установки свечей. Во времена, когда церемонии были неотъемлемой частью жизни, подсвечники были повседневным атрибутом любого торжества. Обычно подсвечники изготавливают из фарфора, металла, стекла и хрустала. Однако используют и дерево, которое отлично проявляет себя оригинальным и легким в обработке материалом [1,2].

Подсвечники из дерева – необычный предмет интерьера, который создаст особую атмосферу уюта и тепла. Такое смелое решение в выборе

материала отразится в конечном изделии, которое внесет в любой интерьер комнаты особую изюминку.

При разработке были изучены аналоги подсвечников, которые можно как собирать в единый элемент, так и расставлять по отдельности. Поскольку основной материал подсвечника – дерево, изделия намерено делают простой геометрической формой, сохраняя фактуру дерева. Это важно, поскольку в современном мире ценится минимализм и экологичность.

В результате создания эскизов была выбрана общая концепция – сборный подсвечник в виде двух драконов, в лапах одного из них будет специальное место для хранения спичечного коробка (рисунок 1). Данный подсвечник можно держать как в собранном, так и разобранном виде, при этом каждая часть будет являться самостоятельным изделием.

Узор на подсвечнике подчеркивает силуэт драконов, делая общий вид изделия более интересным и узнаваемым. Выполнен узор методом инкрустации – латунная проволока вбивается в вырезанный узор, клеем закрепляя ее в дереве. Чаша на головах драконов имитирует корону, также сделана из латуни. Выбор данного материала обоснован его красивым цветом и легкостью в обработке.



Рис. 1 – Декоративный подсвечник «Драконы»

Выбор древесины в качестве материала был обусловлен ее сравнительно недорогой стоимостью, долговечностью, легкостью обработки, интересной фактурой. Наиболее подходящим сортом дерева для данного изделия оказался дуб [3]. Поскольку древесина – горючий материал, целесообразно покрыть изделие огнеупорным лаком темного цвета, поскольку темное дерево лучше сочетается с цветом латуни.

Технология изготовления будет осуществляться следующими этапами:

- проектировочная операция
- заготовительная операция
- фрезерная операция
- шлифовальная операция

- покрасочная операция
- изготовление чаши под свечи
- клеевая операция

Таким образом, полученное изделие может стать интересным акцентом интерьера. Формы парных подсвечников комплиментарны друг другу, в собранном состоянии они представляют собой цельную композицию. Но могут использоваться и по отдельности. Подсвечники функциональны. Описанная технология подходит для малосерийного производства.

Литература:

1. Подсвечники из дерева: разновидности, рекомендации по выбору // СТРОЙ Подсказка [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://stroy-podskazka.ru/podsvechniki/iz-dereva/svobodnyj>. (Дата обращения: 16.01.21).
2. 50 идей деревянных подсвечников своими руками // Kallibry Декор для дома своими руками [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://kallibry.ru/podsvechnik-iz-dereva-svoimi-rukami/>, свободный. (Дата обращения: 16.01.21).
3. Преимущества дуба перед другими породами деревьев // BELPROGRESS URL: <https://belprogress.by/stati/110-preimushchestva-duba-pered-drugimi-porodami-derevev> (дата обращения: 20/10/21).

РАЗРАБОТКА НАСТОЛЬНОЙ ЛАМПЫ В СТИЛЕ ЛОФТ

А.А. Мурзаева

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nastya199612@mail.ru**

Научный руководитель: Веселова Ю.В., канд. пед. наук, доцент

Цель работы – создание настольной лампы в стиле лофт, дизайн которого будет подходить как для заведений вроде кафе, так и жилых помещений, подходящих по стилистике. Исходя из поставленной цели, будет выбран материал, который наилучшим образом подойдет для изготовления изделия. На основе проведенной работы создана настольная лампа.

The purpose of the work is to create a table lamp in the loft style, the design of which will be suitable for both establishments like cafes and residential premises suitable in style. Based on the goal, the material that is best suited for the manufacture of the product will be selected. Based on the work carried out, a table lamp was created.

История светильника берет свое начало от обыкновенного костра, пламя которого не только согревало первобытных людей и позволяло им готовить горячую пищу, но и едва освещало их скромные обиталища - пещеры. Костер - сегодня мы бы назвали его стационарным напольным светильником - помогал бороться со всякими страхами, что переполняли темноту первобытных ночей, и являлся для наших далеких предков, по сути, средоточием добра и жизни [1].

В настоящее время существует много различных светильников и настольных ламп. Они могут быть как декоративные, где ключевая их характеристика - это дизайнерское решение, так и практичные, с намеренно упрощенными формами, которые имеют функциональные параметры свечения. В представленном проекте изделие несет декоративно интерьерный характер. Также настольная лампа может быть выполнена в разных интерпретациях, будь то какая-то определенная стилистика или креативный авторский подход к созданию объекта.

В нашем современном обществе существует безграничное множество разных стилевых решений, которые в свою очередь не перестают развиваться. Самым популярным из них является стиль лофт. Дословно «loft» означает чердак, т.е. это простор, ограниченный лишь крышей. Поэтому такой интерьер пропитан свободой, открыт и стремится покинуть рамки привычных нам стереотипов. Возник этот стиль в 50-х годах прошлого века. Его характерными чертами является: открытая планировка, когда отсутствие перегородок создает свободу и впускает в помещение максимум естественного света; высокие потолки; лестницы, по которым можно взобраться на второй уровень, где зачастую организовано открытое пространство для отдыха; отделка стен, пола и потолка лишена лоска, присутствуют элементы небрежности; отсутствие занавесок на окнах, чтобы ничего не сдерживало проникновение естественного света; мебель, вмещающая в себе не только функциональность, но и смешение стилей.

В подобного рода интерьер хорошо впишется светильник, созданный из разнородных материалов, например, металла, дерева, стекла. Такая настольная лампа украсит не только холодный промышленный интерьер, но и жизнь человека которого полна романтики и некоторого авантюризма.

Проектируемая лампа разработана так, что она проста в эксплуатации и надежна. В ней отсутствуют хрупкие детали. Стойка изделия выполнена из фитингов, где нижние и верхние ее части проворачиваются, что создает удобство использования. Подвижный плафон у изделия, «парящий» на цепях выполнен из воздушного автомобильного фильтра (рис.1). Устойчивая конструкция, без перепада веса изделия. Провод выходит с задней части лампы через фитинг.



Рис. 1 – Настольная лампа «Притяжение»

Спроектированная лампа функциональна, но она может служить еще и как элемент декора интерьера, так как в процессе разработки учитывались формообразующие функции декоративной настольной лампы.

Литература:

1. *Онищенко В. В.* Светильники своими руками. – М.: Аргай Литагент «Фолио», 2009. – 232 с.

РАЗРАБОТКА ДИЗАЙНА СЕРЕБРЯНОГО КОЛЬЦА «SNAKE FOOTPRINT»

В.В. Нестеров

Новосибирский Государственный Технический Университет

г. Новосибирск, slava.nesterov01@mail.ru

Научный руководитель: Ю.В.Веселова к.п.н., доцент

Данный проект направлен на разработку ювелирного украшения – кольца, концепция которого основана на уральских сказах Павла Бажова. Автором рассмотрены актуальность и техники изготовления ювелирных украшений. На основе проведенной работы создан дизайн-проект оригинального украшения.

This project is aimed at developing a ring jewelry, the concept of which is based on the Ural tales of Pavel Bazhov. The author considers the relevance and techniques of jewelry making. Based on the work carried out, a design project of the original decoration was created.

Кольцо - самое распространенное украшение на планете. Оно присутствовало почти в каждой древней культуре, выступая символом власти, богатства и социального статуса. Само слово «кольцо» произошло от старославянского корня «коло», означающее колесо.

Такие украшения были очень популярны в античном мире, они являлись не только украшением, но и символом определенного социального положения[2]. Позже кольца выполняли роль своеобразного пропуска или удостоверения личности.

Кажется, что для современного ювелирного дизайна нет границ. Кольца бывают круглыми и квадратными, лаконичными и вычурными, простыми и сложными. Меняется отношение к ним в обществе: они уже не символизируют власть одного человека над другим, а становятся частью личного стиля [3].

Как и в любой отрасли, в ювелирном дизайне есть консерваторы. Они предпочитают проверенные веками техники, материалы и стили. Гладкие обручальные кольца, которые многие покупатели выбирают сегодня, почти не отличаются от тех, что были в ходу столетия назад, да и стоят недорого. И все же спрос на уникальные украшения, изготовленные на заказ, растет. Художники и дизайнеры, создающие ювелирные изделия, говорят о появлении нового направления - носимого искусства, которое ничуть не уступает изобразительному.

Проектируемое кольцо изготовлено из серебра со вставкой из хризолита. Идея кольца навеяна уральскими сказами известного российского писателя П.П. Бажова, в частности сказкой «Змеиный след».

Камень хризолит издавна добывали в уральских горах. Хризолит является одним из древнейших минералов, которые известны человечеству. В переводе с древнегреческого название минерала означает «золотой камень». У него есть и другие наименования: геологи чаще используют название оливин, а ювелиры - перидот. За свое удивительное свойство приобретать при искусственном освещении насыщенный зеленый цвет самоцвет стал известен как «вечерний изумруд» [1]. Камень в кольце будет неправильной прямоугольной формы, не обработан. Поэтому закрепка будет максимально естественной, будто металл залился на камень и сковал его (сводчатая оправа).

Шинка проектируемого кольца не гладкая, выполнена с рельефом из небольших капелек металла, которые к низу кольца будут становиться более сглаженными. Таким образом эргономические требования будут соблюдены.

Кольцо будет изготовлено из серебра методом литья по выплавляемой модели. Сочетание изящной шинки, оригинальной закрепки и крупного размера камня позволит органично соединить в изделии лучшие традиции ювелирного искусства. Ведь во многих случаях ювелирное изделие является лишь достойной оправой для драгоценного камня, который играет в нем главную роль, позволяя любоваться чудом, которое создала природа [4].

Литература:

1. Волшебный хризолит [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sunlight.net/wiki/volshebnyiy-hrizolit.html> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 29.10.2021).
2. Кольцо – функциональный предмет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.roskosh-jewel.ru/blog/history/koltso-funktsionalnyuypredmet/>– Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 29.10.2021).
3. Мировая история колец [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/dragzoloto/mirovaia-istoriia-kolec>– Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 29.10.2021).
4. Секреты стиля ювелирных украшений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://myuvelir.com.ua/sekretyi-stilya-yuvelirnyie-ukrasheniya-s-bolshimi-kamnyami-kak-i-s-chem-ix-nosit.html>– Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 29.10.2021).

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ ГРЕБНЯ ДЛЯ ВОЛОС «ЛОТОС»

Т.С. Попова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, loomband03@yandex.ru**

Научный руководитель: Ю.В.Веселова к.п.н., доцент

Целью проекта является разработка гребня, служащего для украшения волос. В соответствии с этапами проектирования был проведен анализ аналогов данного изделия, выполнены эскизы, которые были направлены на поиск оптимальной формы, композиции и стиля гребня, обоснован выбор материала и технология изготовления вазы.

The purpose of the project is to develop a crest that serves to decorate hair. In accordance with the design stages, the analogues of this product were analyzed, sketches were made that were aimed at finding the optimal shape, composition and style of the ridge, material selection and vase manufacturing technology were justified.

Гребень считается древним женским украшением и предметом личной гигиены. Его могли использовать как расчёску для волос, так и декоративным аксессуаром для причёски. Во Франции есть музей Ключи, где представлены гребни, начиная еще со времен 12 века. Они выполнены из дерева, кости или рога. Украшены резьбой и различными зеркальными вставками, для того времени уникальные работы. Гребни были одним из главных украшений в средние века. Они могли использоваться и в качестве символов, отражающих душевное состояние их носительницы. Существовали специальные гребни для конкретных случаев. Так на день рождения или именины дама могла предпочесть гребень с изображением или фигуркой восхитительного младенца, гребень для свадебной церемонии мог быть украшен парой ангелов или любовной символикой, символами изобилия, на траурной церемонии гребень отражал скорбь в виде фигурки безутешной престелницы. Приблизительно в 17 веке японские женщины начали украшать свои прически гребнями, отделанными перламутром и цветами из шелка, (которые назывались кандзаси, канзаши). В Японии юноши сами делали гребни, а после дарили девушкам, к которым испытывали сильные чувства. Девушка, заколовшая волосы гребнем, была согласна ответить на чувства юноши.

Самураи пользовались специальными гребнями, они позволяли не только укрепить причёску, но и служили оружием. Порою гребни использовались как метательные ножи.

В конце 19 века с изобретением пластмассы появились дешевые расчески. Но «натуральные» гребни и расчески не отошли на второй план, потому что люди верят, что «природные» материалы полезны для организма. Например, расчески из дерева обладают целебными свойствами, в частности, дубовые гребни снимают с волос статическое электричество и улучшают их состояние [2].

Сейчас гребни редко используют как расчески, но они по-прежнему пользуются популярностью у девушек в качестве украшения для волос в знаменательные дни, будто свадьба или выпускной бал.

Основное назначение гребня в данном проекте – украшение причёски. Поэтому большое внимание уделяется декоративным качествам: оригинальности, сложности, детализации.

С развитием технологий процесс обработки различных материалов (металл, дерево, кость) стал легче, это помогает воплотить в жизнь даже самые сложные идеи. Благодаря анализу аналогов целесообразным решением было выбрать комбинацию двух материалов при разработке эскиза гребня. Это металл и дерево. Дерево служит основой для зубцов, а металл выполняет функцию верхней декоративной части гребня.

Ассоциативный метод помог создать различные варианты гребня. Используя данный метод были разработаны эскизы, направленные на вариативные поиски образа изделия, для того, чтобы оно получилось оригинальной формы и вместе с тем, отвечало функциональным и эстетическим требованиям.

Для изделия была выбрана цветочная тематика, она служит универсальным дополнением к женскому образу.

В верхней части гребня располагается цветок распустившегося лотоса с пятью листьями под ним. Стебли листьев из металла спускаются в нижнюю часть гребня, частично обвивая зубья из дерева. Чтобы подчеркнуть геометричность композиции, фон, на котором находится цветок выполнен в форме полукруга. Листья под цветком находятся на фоне прямоугольника. Задний план композиции плоский, в то время как листья и цветок имеют объем. Концы зубьев повторяют форму полукруга над цветком, дополняя композицию.

Металлическая часть с цветком крепится к деревянной части с зубцами с помощью заранее подготовленных пазов.

Технология создания зубцов гребня – выточка из древесины. В данном случае можно выбрать дуб. Текстура дуба красива как при продольном, так и при поперечном точении. Точится и шлифуется легко [3].

Верхняя декоративная часть гребня из металла будет выполнена с помощью литья по выплавляемым моделям. В качестве материала выбрана латунь, ее золотистый оттенок будет дополнять цвет дерева [1].

В итоге, спроектированное изделие может быть использовано в качестве неповторимого подарка, а также и для личного пользования. Оно дополнит образ любой девушки, совмещая в себе эстетичность и функциональность.

Литература:

1. Головин С. Я. Краткий справочник литейщика. – СПб.: Москва, 1960. – 371
2. Гребни, расчески. Их истории [электронный ресурс] https://pikabu.ru/story/grebni_rascheski_ikh_istorii_7614956 (дата обращения 09. 10. 2021)
3. Как самому вырезать из дерева гребень для волос [электронный ресурс] <https://wellery.ru/blog/kak-samomu-vyrezat-iz-dereva-greben-dlya-vołos/> (дата обращения 09. 10. 2021)

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ТЕМАТИКЕ МИФОЛОГИИ РАЗНЫХ СТРАН

Т.К. Острикова

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ostrikova.toma@bk.ru

Научный руководитель: старший преподаватель О.В. Береговая

Целью проекта является разработка серии эскизов серёг, вдохновленных образами лошадей в различных мифологиях, таких как греческая, римская, древнерусская и японская. Анализ аналогов выявил отсутствие подобного рода изделий на рынке. В данной работе разработаны 4 пары серёг, а также разработана технология их изготовления.

The project aims to develop a series of sketches of earrings inspired by the images of horses in various mythologies, such as Greek, Roman, Old Russian, and Japanese. The analysis of analogs revealed the absence of such products on the market. In this work, 4 pairs of earrings have been developed, and the technology of their manufacture has also been developed.

Многие люди считают мифологию чем-то далеким, однако в ней существуют миллионы образов, на основе которых можно сотворить удивительные вещи, в том числе и ювелирные изделия, которые послужат достойным украшением любой современной коллекции.

Лошадь – одно из наиболее мифологизированных животных, связанное с миром сверхъестественного. В мифологии древнего Рима существует такое животное, как гиппокампус - морская лошадь с рыбьим хвостом и перепончатыми лапами вместо передних ног, которые по преданиям были запряжены в колесницу Посейдона. Гиппокамп также считался царём рыб [1]. Греческая мифология подарила известного на весь мир крылатого коня – пегаса, который на своих крыльях мог подняться до самого Олимпа [2]. Кирин - священное животное в японской мифологии. Этот зверь хоть и считается «японским единорогом», однако внешне он больше похож на дракона, нежели на своего европейского собрата. Кирин воплощает в себе мужское и женское начало, это удивительное существо обладает даром долголетия [3]. Чудесного коня в русских сказках называют так: «Сивка-бурка-вещий каурка». У бурого коня шерсть напоминает цвет грозящей бури. В целом ряде славянских народных сказаний буйные ветры, ходячие облака, грозовые тучи, быстро мелькающая молния называются небесными конями [4].

В процессе разработки был проведён анализ аналогов современных серег, с помощью которого были созданы предварительные эскизы,

которые были направлены на поиск оптимальных форм и композиции будущего изделия. В финале была создана серия эскизов для комплекта серёг, вдохновленных образами лошадей в мифологии различных культур.

После проведения анализа было выяснено, что наибольшая часть ювелирных украшений в нынешнее время изготавливается с помощью литья, а потому была выбрана данная техника для проектируемой серии украшений.

Первая пара представляет собой серьги – каффы, выполненные из белого золота в форме крыла Пегаса, с застежкой - пуссет. Основная дуга, к которой крепятся перья в виде небольших пластинок, инкрустирована камнями - аметистами. Серьги оканчиваются тонкой цепочкой, на которой закреплена фигурка Пегаса.

Вторая пара – это серьги – подвески, выполненные из серебра с застежкой - конго, изображающие искусно свернувшегося Гиппокампа.

Третья пара – это асимметричные серьги, выполненные из белого золота. Одна из сережек выполнена в виде силуэта Кирина, украшенного листвой, а вторая серьга – пуссета, изображающая ажурную листву.

Четвертая, заключительная, пара выполнена из серебра в форме листа пламени, к концу которого крепится тонкая цепочка с подвеской в виде солнца, выполненного из металлических пластин.

Литература:

1. Славянская мифология. Конь [электронный ресурс] <https://culture.wikireading.ru/45261> (дата обращения: 11.11.2021)
2. Пегас. Греческая мифология [электронный ресурс] <https://thisgreece.ru/mify/1168-pegas> (дата обращения: 11.11.2021)
3. Японский единорог Кирин [электронный ресурс] <https://lifeinjapan.ru/article/show/8752>(дата обращения: 11.11.2021)
4. Мифологические существа. Гиппокампус [электронный ресурс] <https://mythological-creations.fandom.com> (дата обращения: 11.11.2021)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ТРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЛАТ В ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ОБРАБОТКЕ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

Т.Д. Тарасова, В.В. Шмыголь

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, mntldsdr@ya.ru, vadimmeludim7507@mail.ru
Научный руководитель Степанова Н.В., к.т.н., доцент**

Целью проекта является объединение технологии травления печатных плат и художественного травления, а также создание изделия, изображение которого представляло бы барельеф. В процессе был произведен анализ аналогов изделий, были исследованы реакции химического травления латуни на различных реагентах, выполнены эскизы травления, а также изготовлена нашивка по данной технологии.

The aim of the project is combining of technology of printed circuit board etching and technology of art etching, also creating of product with bas-relief picture on it. Reasearch progress includes analyse of similar products and chemical etching reactions of different reagents with brass samples, making of etching design and stripe in result.

Разнообразие видов обработки художественных изделий объясняется наличием огромного выбора используемых контуров, узоров, рисунков и т.д. Одна из самых часто встречающихся проблем в художественной обработке – трудность точного переноса контура на изделие, особенно если он довольно детальный или тонкий. Решением является использование на изделии методов художественного травления: на все изделие, исключая контур, наносится защитный раствор и производится химический эксперимент, в результате которого цвет и поверхность протравленного контура меняется. Для точного и детального переноса часто используют фототравление – изображение создается в электронном виде и «напыляется» в трафаретном виде на изделие. Если присмотреться к подобным украшениям, нетрудно заметить, что травление осуществляется вглубь украшения.

Аналогичные изделия из меди и ее сплавов, а также из серебра с древности изготавливаются ювелирами по всему миру. Отличительной особенностью таких украшений можно назвать шероховатость поверхности и высокую устойчивость к внешним факторам при носке. Дизайн может быть самым разнообразным: от сложных орнаментов, до простых силуэтов и надписей [1].

Технология фототравления широко используется не только в художественных целях, но и в производстве печатных электронных плат [2]. Суть метода аналогична: на текстолит с тонким слоем меди наносится контур электронной схемы, и после химической обработки медь сходит

с поверхности платы, оставляя только нужный проводимый контур. Мы решили объединить технологии для плат и привычного художественного травления и создать изделие, изображение на котором представляло бы собой барельеф. Поэтому целью данного исследования является объединение технологии травления печатных плат и художественного травления и создание изделия в виде нашивки на аксессуарах.

В качестве материала использовалась латунь Л35. Химический состав определяли на оптическом эмиссионном спектрометре «ARL 3460 QTRLS». Оптическая металлография поперечных сечений потравленных образцов производилась с помощью микроскопа Carl Zeiss AXIO Observer A1m.

Для переноса контура использовали нагревание тонера на пластине металла до 300°C в печи. Этот способ широко используется в создании печатных плат для наиболее точного переноса схем.

Были проведены испытания выявления оптимальной ширины контура травления в диапазоне 0,1...5 мм (рис. 1а) с четырьмя реагентами:

1. Соляная кислота 10% и перекись водорода 3% в соотношении 1:2 (далее – образец 1);
2. Азотная кислота (конц.) в спирте в соотношении 1:4 (образец 2);
3. Аммиак и пероксид водорода 3% в соотношении 1:4 (образец 3);
4. Пероксид водорода 3% (100 мл) и лимонная кислота (30г) в присутствии хлорида натрия (10 г) как катализатора (образец 4).

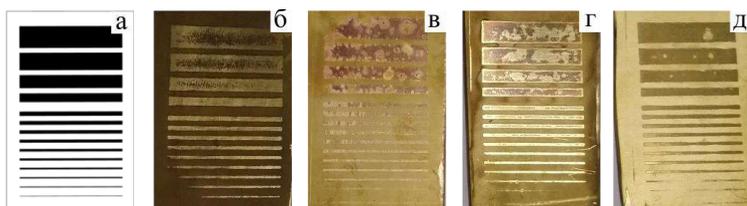


Рис. 1 – а) Экспериментальный контур (на выявление оптимальной ширины травления) б-д) Экспериментальные образцы после химической обработки

Время реакций – 2 часа. Опыт показал, что все реагенты не способны протравить контур меньше 0,2 мм. Защитный слой акрилового лака на оборотной стороне сошел у образцов 2 и 3; это означает, что данный материал не подходит для покрытия зоны контура.

У образца 1 (рис. 1б) зона травления сильно потемнела, на ощупь грубая, контур остался невредим, четкий рельеф контура. Восстановившийся раствор зеленого оттенка. У образца 2 (рис. 1в) зона травления матовая, тускло-золотая, рельеф гладкий. Контур приобрел розовый цвет, рельеф слабый. Раствор светло-голубого цвета. У образца

3 (рис. 1г) поверхность зоны травления очень потускнела, местами видны разводы. Контур потемнел еще сильнее, рельеф не заметен. Раствор приобрел темно-синий окрас. У образца 4 (рис. 1д) зона травления матовая с золотым оттенком. Контур отчетливо виден, рельеф заметен. Раствор сине-зеленоватого цвета.

Эксперимент показал, что толщину более 1 мм тонер плохо покрывает, поэтому на контуре видны следы частичного травления.

Потеря масс у образцов указана в таблице 1.

Таблица 1

Номер образца	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
До эксперимента, г	68,55	76,3	71,25	73
После эксперимента, г	65,9	74,9	70,95	71,5
Потеря массы, %	3,86	1,83	0,42	2,05

Самая большая потеря массы идет при взаимодействии с соляной кислотой и пероксидом водорода, а самая малая – с аммиаком и пероксидом водорода. Эксперимент по выявлению оптимальной ширины контура показал, что тонер и реактивы лучше всего справляются в промежутке от 0,3 мм до 1 мм.

Для более детального изучения создали шлиф из всех 4 образцов, чтобы посмотреть, на какую глубину каждый реагент затронул слой латуни.

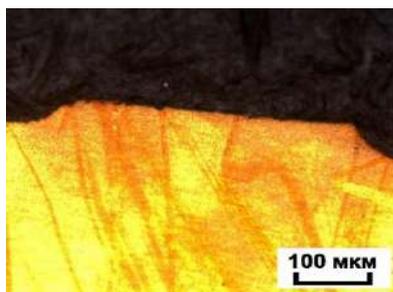


Рис. 2 – Изображение рельефа поверхности образца 1 (100 мкм)

Методами структурного анализа выявлено, что существенную глубину удалось получить только на образце 1, в среднем около 45 мкм (рис. 2), и малую – на образце 4. На втором и третьем образце различить границы контура и зоны травления визуально невозможно. Четвертый метод подходит для художественной обработки изделий больше всего по эстетическим соображениям: контур имеет приемлемую глубину, металл приобретает нужный цвет, а также реагенты доступны и более безопасны.

Изделием выбрали латунную нашивку на сумку или любой другой аксессуар. В качестве тематики взяли представителей животного мира. Было выполнено 6 эскизов. Окончательный эскиз (изображение кота) прорисовали в векторном редакторе (рис. 3а).

Изготовление нашивки производилось по следующей схеме: нанесение защитного контура в два слоя на лист проката Л35; травление; очистка поверхности от остатков защитного материала; полировка поверхности изделия; обработка внешнего контура при помощи лобзика; высверливание отверстий под крепление; шлифовка и полировка контура [3].

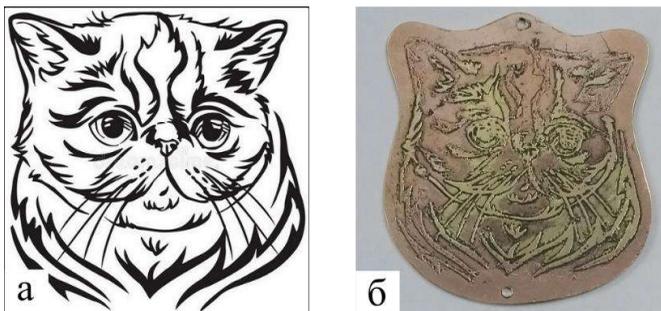


Рис. 3 – а) Эскиз латунной нашивки с разбиением зон травления
б) изображение готовой нашивки

Особенностью и уникальностью изделия в виде кота стал нежно-розовый цвет, рельефность контура и его золотистый оттенок (рис. 3б).

Заключение:

Применение методов травления печатных плат действительно подходит для художественных целей; технология несложная, и выбор реагентов большой. Таким образом, можно существенно уменьшить стоимость и время изготовления изделия, а также создать уникальный барельеф. Данный метод травления можно использовать в масштабах массового производства из-за простоты переноса эскизов.

Литература:

1. *Jinks McGrath* The jeweler's directory of decorative finishes, 2005. 128 с.
2. *Евстигнеев В.Г., Кошарновский А.Н., Дегтярев Е.В., Цыбин С.А.* Печатная плата, способ изготовления печатной платы и способ переналадки электронного узла на печатной плате, 2004.
3. *Кобец Ю.Д., Воронцова Н.В.* Разработка дизайна пряжки с использованием технологии художественного травления металла, 2018. С 64-69.

ДЕМОНСТРАЦИОННАЯ LED-ПЛАТФОРМА «СИЯНИЕ»

В.С. Сущкова, В.Ю. Куликов, Д.С. Терентьев
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, val.sushkova@gmail.com
Научный руководитель: Терентьев Д.С., к.т.н., доцент

Демонстрационные платформы, или поворотные столы, – это устройства, предназначенные для объемной демонстрации различных изделий. Область их применения широка: они используются при показе предметов на выставках и в магазинах, а также для фото- и видеосъемки различных изделий. Доступные на рынке платформы, как правило, имеют узкий набор функций и слишком простой, непривлекательный внешний вид. Исходя из этого, целью проекта является разработка конструкции и изготовление стильной и функциональной демонстрационной платформы, способной наиболее выгодно показать изделие.

Rotating display stands also known as turntables are devices designed for three-dimensional demonstration of various products. Their application area is wide: they are used to display items at exhibitions and in stores, and for photographing and filming various products. The platforms available on the market generally have a limited set of functions and too simple, unattractive appearance. Based on this the aim of this project is to develop a design and to manufacture a stylish and functional rotating display stand that can showcase the product in the most advantageous way.

Демонстрационная LED-платформа «Сияние» имеет плавную регулировку скорости, возможность реверса направления вращения и яркую подсветку. Грузоподъемность платформы составляет до 5 кг.

Демонстрационная платформа выполнена в стиле *Sci-Fi* (научная фантастика). Вдохновением для ее создания послужили современные произведения искусства на тему космоса. В дизайне платформы используются футуристические элементы: простые геометрические формы, четкий ритм, сочетание металла и стекла.

Проектирование изделия осуществлено в программном комплексе КОМПАС-3D v18.1. Трехмерная модель отвечает следующим техническим требованиям: технологичность механической обработки на станках с ЧПУ и сборки деталей, удобное и компактное размещение электронных компонентов внутри корпуса.

Конструкция демонстрационной платформы представлена на рис. 1. Детали корпуса изготовлены на токарном обрабатывающем центре *CTX Alpha 500* от компании *DMG Mori* (Германия). Для механической обработки использованы заготовки из круглого проката деформируемого алюминиевого сплава Д16Т и стали 20. Для изготовления вставки на верхней крышке изделия использовано белое акриловое стекло, позволяющее рассеивать свет.

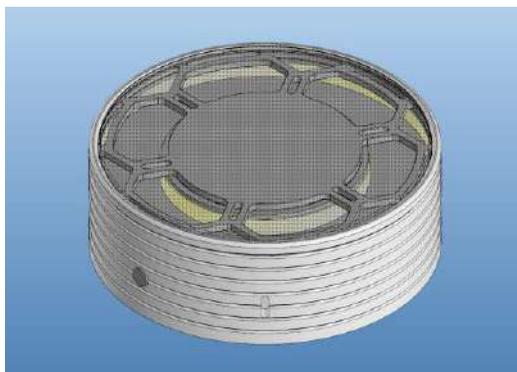


Рис. 1 – Конструкция демонстрационной платформы, разработанная в КОМПАС-3D v18.1

После механической обработки детали корпуса были покрыты черной полимерной краской. При сборке демонстрационной платформы детали корпуса были соединены между собой с помощью стандартных метрических крепежных изделий из нержавеющей стали. Акриловое стекло прикреплено при помощи термоклей.

Готовое изделие представлено на рис. 2. Демонстрационная платформа имеет следующие габаритные размеры: диаметр 185 мм, высота 64,5 мм.

Внутри корпуса располагаются электродвигатель, редуктор, аккумуляторы, светодиодная лента и устройство для плавной регулировки скорости вращения. Благодаря наличию литий-полимерных аккумуляторов, питающих внутренние компоненты устройства с рабочим напряжением 12 В, возможна автономная работа платформы: вращение в течение 5–6 часов, подсветка в течение 2 часов.



Рис. 2 – Внешний вид демонстрационной платформы без стекла

Управление демонстрационной платформой интуитивно понятно. Оно осуществляется с помощью клавиши, включающей вращение и меняющей его направление, и тумблера, включающего подсветку. Скорость вращения изменяется при помощи ШИМ-регулятора.

Демонстрационная LED-платформа имеет декоративные элементы, но при этом ее внешний вид не затмевает демонстрируемое изделие. Подсветка и плавно регулируемое вращение позволяют наиболее выгодно показать изделие, а высокая грузоподъемность и возможность автономной работы от аккумуляторов позволяют использовать платформу в самых разных условиях.

Литература:

1. Корнеев Н.Д., Сушкова В.С., Терентьев Д.С. Многофункциональный светодиодный комплекс «Constellatio» // Наука. Технологии. Инновации : сб. науч. тр. : в 9 ч. Часть 3. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2020. – С. 367–369.

2. Режущий инструмент : учеб. Пособие / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич, М.И. Михайлов. – Минск : Новое знание, 2007. – 400 с.

3. Обработка металлов резанием на токарных станках с ЧПУ. Ч. 1 : учеб.-метод. пособие / Д.С. Терентьев, И.С. Лаптев, А.А. Разумаков. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2015. – 42 с.

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ ЗАПОНОК «SERPIENTE»

Д.А. Сотникова, Ю.В. Веселова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, dachenjka00@mail.ru**

Научный руководитель: канд. пед. наук, доцент Веселова Ю.В.

Цель проекта заключается в разработке запонки, предназначенных для соединения манжет рубашки. В процессе проектирования были пройдены такие этапы, как анализ аналогов, разработка собственных эскизов, среди которых в дальнейшем был выбран оптимальный вариант по композиционной составляющей, форме, стилю, а также подобран материал, из которого в последующем будут изготавливаться запонки.

The goal of the project is to develop cufflinks designed to connect shirt cuffs. During the design process, such stages as the analysis of analogs, the development of their own sketches were passed, among which later the optimal option was selected for the compositional component, shape, style, and also the material from which cufflinks will be made in the future was selected.

Популярность запонок прослеживается на протяжении множества веков. Одни из самых древних разновидностей появились во Франции в гардеробе короля моды Людовика 14. В 17 веке мужской костюм был не менее сложным, чем женский. Мужчина не застегивал пышные рукава рубашки, а связывал их лентами. Процесс был довольно долгим, поэтому однажды одному из модников пришлось в спешке застегнуть рукава застёжками – веревочками [1,2].

Первые застёжки были стеклянными и представляли собой пару пуговиц, соединенных между собой небольшой цепочкой. Тогда для изготовления цепочек использовались драгоценные металлы. Вплоть до 19 века весь процесс создания модного аксессуара осуществлялся вручную, поэтому запонки использовались исключительно аристократами. Также они применялись для обозначения королевских и иных особых событий.

Все изменилось, когда в 1882 году американец Джордж Кременц решил применить метод штамповки для массового производства мужского аксессуара, который военное ведомство использовало для изготовления патронов. Это позволило значительно снизить их стоимость и наладить серийное производство.

Еще одно революционное изобретение в производстве запонок произошло в 1924 году. Бойер создал застёжки нового типа – внутри двойной ножки появился вращающийся стержень. Эта система стала самой популярной, а запонки – неотъемлемой частью модного мужского гардероба.

С момента своего изобретения запонки не покидали мир моды, продолжая задавать стильный образ своим обладателям. К концу 20 – го века модельеры начали массовое производство рубашек с пуговицами на манжете, что привело к сокращению использования запонок. Когда мода начала меняться под влиянием французов, их двойная манжета попала в Англию и вызвала возрождение почти забытых украшений. Современные запонки обладают легким механизмом крепления на манжетах и являются одними из самых популярных способов застегивания рубашек в настоящее время [3,4].

На сегодняшний день существует большое разнообразие форм запонок, различающихся по стилистическим составляющим, декоративным, а также механизму крепления. По механическому сцеплению запонки подразделяются – с одной или двумя поворотными застёжками, штанги, клипсы, цепи, с подкладкой для пуговиц.

По стилю существуют следующие разновидности аксессуара: классика - подчеркнуто сдержанная, элегантная, пропорциональная, естественная цветовая гамма, кэжуал или «городской» подвид – элегантная повседневность с разнообразной цветовой палитрой,

супермодные – сочетание популярных элементов для определенного периода, тематические – отражение профессии или хобби, фигурные, функциональные – в виде часов, компаса и прочих гаджетов [2].

При проектировании запонок были рассмотрены различные виды аналогов, затем разрабатывались эскизы изделия, среди которых были выбраны лучшие. Выбор остановился на запонках круглой формы с рельефным изображением змеи. Змея у многих народов является символом мудрости, но она еще и гибкая, стремительная, зачастую украшенная затейливыми узорами на коже, поэтому в стилизованном виде она может украсить любое ювелирное украшение. Запонки будут выполнены из серебра методом литья по выплавляемым моделям. Узорные рисунки на изображении змеи предполагается выполнить методом холодной эмали, а волнистые линии на основной части изделия – гравировкой по металлу. Все декоративные элементы гармонично сочетаются между собой по цветовой гамме – соотношение серебристого металлического оттенка, темно – коричневой и бардовой эмали; минималистической направленности – достаточное количество декоративных составляющих, отсутствие лишних деталей, загромождающих изделие.

Литература:

1. The history of cufflinks [Электронный ресурс]// Alice Made This- URL: <https://www.alicemadethis.com/blogs/journal/57611395-a-brief-history-of-cufflinks> (дата обращения: 01.10.2021)
2. The Origin and History of Cufflinks [Электронный ресурс]// Antique jewellery -URL: <https://friarhouse.com/blogs/friar-house-antique-jewellery/the-origin-and-history-of-cufflinks> (дата обращения: 01.10.2021)
3. The History of Cufflinks [Электронный ресурс]// Egard - URL: https://ru.egardwatches.com/blogs/news/the-history-of-cufflinks?utm_campaign=oth_r&utm_source=https://www.egardwatches.com&utm_medium=wi_proxy&utm_content=en_US&utm_term=c (дата обращения: 01.10.2021)
4. Jewelry [Электронный ресурс]// Britannica - URL: <https://www.britannica.com/art/jewelry> (дата обращения: 01.10.2021)

РАЗРАБОТКА ДИЗАЙНА КУРИЛЬНИЦЫ ДЛЯ БЛАГОВОНИЙ

А.М. Пряничникова, Ю.В. Веселова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, Asya041001@gmail.com

Научный руководитель: Веселова Ю.В., к.п.н., доцент

Данный проект направлен на разработку курильницы для благовоний. Автором рассмотрены аналоги, их достоинства и недостатки, и техники выполнения. На основе проведенной работы создан дизайн-проект изделия. Прототипом изделия стал трехголовый змей из русских сказок, чей образ наиболее соответствует функциональному назначению курильницы.

This project is aimed at the development an incense burner. The author considers analogs, their advantages and disadvantages, and techniques of execution. Based on the work done, a design project of the product was created. The prototype of the product was a three-headed snake from Russian fairy tales, whose image most corresponds to the functional purpose of a smoker.

Научившись добывать огонь, древние люди заметили, что некоторые виды деревьев источают разные ароматы при горении. В дальнейшем появилась традиция специально сжигать ароматические растения, чтобы ублажать богов. Таким образом, курильницы появились ещё в III веке до нашей эры, а к XX в. повсеместно использовались в Китае [1].

В погребениях знати эпохи Хань (206 г. до н.э – 220 г. н.э.) были обнаружены одни из самых ярких примеров изделий - курильницы «бошаньлу», их применение распространялось от бытовых и лечебных целей до культовых практик. Сейчас известно более ста курильниц данного типа, изготовленных из бронзы способом литья по выплавляемым моделям, часто поверх наносилось покрытие позолоты [2]. Помимо Азии, археологи находили курильницы в курганах Северного Кавказа, Калмыкии, Прикубанья и Ростовской области, которые были использованы для ритуалов в погребальных обрядах [3].

В наше время рынок наполнен самыми разными видами курильниц. Они могут выполняться в виде флоры или фауны, вбирать в себя религиозные сюжеты или украшаться узорами, но как бы разнообразно не выглядели курильницы – большинство из них преследует азиатскую тематику: культуру, религию и фольклор.

Для данного изделия была выбрана тематика славянского фольклора, так как на рынке подобное предложение найти практически невозможно, и не всякий потребитель готов приобретать изделие акцентирующее внимание на неизвестной ему, чужой культуре.

К курильницам выдвигается ряд требований: изделие не должно быть слишком тяжёлым, несбалансированным, конструкция должна подразумевать выход дыма и устойчивое гнездо для необходимого типа благовоний.

Ассоциативный метод стал опорой для создания разных вариантов оформления, ведь полученный продукт должен быть легко узнаваем даже той аудиторией, которая является не глубоко сведущей в выбранной тематике. Также был использован метод прямой аналогии, так как эскизы изделий были построены на общеизвестных образах персонажей славянского фольклора и мифологии.

Среди четырёх эскизов итоговым был выбран «Змей Горыныч», так как образ данного персонажа оказался самым читаемым и доступным для широкой аудитории лиц. Курильница выполнена в виде одноимённого славянского фольклорного змея, обнимающего своими перепончатыми крыльями подставку в виде горного хребта, который окутывает дым, извергаемый из всех трёх пастей Горыныча.

Материалом для изготовления выбран фарфор, так как в сравнении с каменной керамикой, итоговое изделие получается тоньше и легче, но при этом остаётся достаточно крепким и лучше поддаётся росписи.

Технологический процесс создания данной курильницы основывается на создании фарфоровых скульптур[4]:

- 1) Создание гипсовых форм по пластилиновой модели.
- 2) Заливание шликера в формы, начиная с деталей, которые будут эксплуатироваться ниже остальных, т.е. те, на которые будет приходиться большая нагрузка.
- 3) Извлечение сливных и наливных форм. Прокалывание мест с закрытыми воздушными полостями.
- 4) Соединение деталей с помощью смазывания шва шликером.
- 5) Сушка. Обработка шлифованием.
- 6) Первичный обжиг.
- 7) Полировка.
- 8) Декорирование подглазурными пигментами.
- 9) Вторичный отжиг.
- 10) Глазуровка.
- 11) Третичный отжиг.

Полученное в итоге изделие используется с конусами обратного потока, которые устанавливаются на специально отведённое место центральной головы. Они создают более глубокий дым, направляя его вниз, внутрь изделия, где тот распространяется во все три головы. Курильница может быть эксплуатирована как по прямому назначению, ароматизируя пространство, так и как простой элемент декора.

Литература:

1. Пагода и единорог — китайские курильницы. [электронный ресурс]//URL:https://tomskmuseum.ru/mus_online/central_museum/Vostochnaya_kollekciya/Pagoda_i_edinorog-kitaiskie_kurilnitsy/ (дата обращения: 11.10.21)
2. Художественные сосуды и символика древних китайских сосудов в форме горы [электронный ресурс] //URL: <https://www.nartmuseum.ru/journal/id/255> (дата обращения: 11.10.21)
3. Сокровища кочевников Евразии. Курильницы. [электронный ресурс] //URL: <https://ar.culture.ru/ru/subject/kurilnicy> (дата обращения: 18.10.21)
4. Тонкости литья и сборки фарфоровой фигурки с приставными частями. [электронный ресурс] //URL: <https://www.livemaster.ru/topic/2756811-tonkosti-litya-i-sborki-farforovo-figurki-s-pristavnymi-chastyami> (дата обращения: 05.11.21)

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ ДЕКОРАТИВНОГО ПАННО

В.А. Ходанова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, vhodanova555@gmail.com

Научный руководитель: Веселова Ю.В., к.п.н., доцент

Задачей данного проекта является разработка настенного декоративного панно, выполненного из металла и эпоксидной смолы. На первоначальном этапе был проведен анализ существующих аналогов, в соответствии с этим был выполнен ряд эскизов для выбора наиболее оптимальных параметров будущего панно, а также обоснован выбор материалов и технологии изготовления. В результате работы создан дизайн-проект изделия.

The aim of this project is to develop a decorative wall panel made of metal and epoxy resin. At the initial stage, an analysis of existing analogues was carried out, in accordance with this, a number of sketches were made to select the most optimal parameters of the future panel, as well as the choice of materials and manufacturing technology was justified. As a result of the work, a product design project was created.

Панно - это разновидность монументального изобразительного искусства, предназначенная для декора помещения. Как правило, панно располагают на стене или потолке, в зависимости от места размещения оно может дополнить пространство или стать отличительной особенностью интерьера.

Материалов для создания панно великое множество: это может быть дерево, камень, керамика, ткань, стекло, металл. Для воплощения даже самой необычной творческой идеи всегда найдётся оптимальный

материал и технология изготовления. Для этого важно учитывать размер, сюжет, цветовую палитру будущего панно.

Важной частью является сама технология создания панно. Распространенной технологией является резка - ее применяют для создания украшений из стекла, дерева, металла. После осуществления резки отдельные элементы могут быть склеены друг с другом. Часто при создании применяются различные художественные техники, такие как: резьба, мозаика, аппликация, гравировка и другие.

Сюжетом для настенного панно может стать любая концепция дизайнера. Нередко в композиции используются растительные и животные мотивы, абстрактные узоры и орнаменты, силуэты людей, пейзажи. Декоративные панно можно встретить повсеместно: в кафе и ресторанах, в театрах, на фасадах зданий, в гостиной и на кухне.

Так как различных панно существует великое множество, для поиска аналогов необходимо обозначить конкретные параметры. В данном случае это должны быть панно, выполненные из металла, не очень большого размера, самой широкой тематики. В процессе поиска было выяснено, что довольно трудно найти панно, которое совмещает в себе и металл, и эпоксидную смолу, поэтому аналогами также стали изделия, выполненные с использованием стекла.

Дизайн должен быть разработан таким образом, чтобы при изготовлении и монтаже не откалывались мелкие детали и само изделие не разрушалось. Металлические элементы не стоит располагать далеко друг от друга, они должны быть соединены в целях упрочнения конструкции.

При разработке дизайна панно удобно прибегать к методу прямых аналогий. Так, в основу некоторых эскизов легли растительные и животные мотивы, изображения реальных объектов. Помимо этого был использован и метод графических линий: волнистые и ломаные черты помогли создать абстрактные узоры.

Среди всех эскизов был выбран один, прототипом для которого стали ирисы. Панно представляет собой стилизованное изображение трех цветков, залитых эпоксидной смолой сине-фиолетовых оттенков, стебли, рама и окантовка у цветов выполнены из металла. В качестве металла была выбрана латунь ввиду её золотого цвета и относительно низкой стоимости, а также хорошей обрабатываемости резанием и возможности применять пайку.

Рассмотрены различные технологии изготовления данного панно. В обоих случаях в полости между латунными перегородками панно будет заливаться эпоксидная смола синих и фиолетовых оттенков, имитирующая лепестки ириса. Также предполагается создание миниатюрной бабочки с использованием технологии литья по

выплавляемым моделям и ее дальнейшее припаивание к одному из цветков. Рама в виде дуги круга представляет собой декоративный пруток из латуни, который впоследствии крепится к основе.

Существенным различием между двумя вариантами является технология изготовления основы - в первом случае предполагается ее выполнение из фанеры при помощи лазерной резки с дальнейшим созданием рельефа на деревообрабатывающем станке, во втором же случае и основа, и все перегородки вместе со стеблями внутри панно будут изготовлены из металла технологией лазерной резки, а затем перегородки будут приклеены к основе при помощи прозрачной эпоксидной смолы.

Рассмотрим преимущества и недостатки каждого способа изготовления основы для панно. В первом случае при выполнении основы из древесины преимуществом является масса изделия по сравнению с металлической основой; при этом существенным недостатком выступает сложность соединения деревянной основы с металлическими элементами панно. Во втором же случае достоинство металлической основы характеризуется единством всех металлических элементов, но при этом ощутимо увеличивается масса изделия.

Так как панно имеет основу, деревянную либо металлическую, при монтаже не возникает проблем. Чтобы не делать отверстия в самом изделии, предпочтительно использовать так называемый скрытый крепеж в виде пластины с тыльной стороны изделия, которая крепится к стене на шурупы. При таком креплении изделие будет отходить от стены на 5 см.

Литература:

1. Панно — эффектное искусство украшения стен любых размеров [электронный ресурс] <https://veryimportantlot.com/ru/news/blog/panno> (дата обращения 04.11.2021)
2. Декоративное панно на стену: виды, формы, тематика, дизайн и стиль [электронный ресурс] <https://design-homes.ru/idei-dlya-doma/panno-na-stenu> (дата обращения 04.11.2021)
3. Панно из металла в дизайне интерьера [электронный ресурс] <https://stroy-podskazka.ru/panno/iz-metalla/> (дата обращения 06.11.2021)
4. Изготовление панно на заказ: современные панно из металла для оформления стен [электронный ресурс] <https://beressta.ru/posts/2656335> (дата обращения 06.11.2021)
5. Декоративные панно на стену [электронный ресурс] <https://xn--80ahmufm.xn--p1ai/panno/vertikalnoe-400h800-mm-01> [дата обращения 06.11.2021]

**Секция АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ
ПРОИЗВОДСТВ**

**Секция ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ**

**ТОНКОСТРУЙНАЯ ПЛАЗМЕННАЯ РЕЗКА
ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**

В.В. Гусева

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, valeriya.180999@gmail.com
Научный руководитель: Рахимьянов А.Х., к.т.н., доцент**

Современные термические методы обработки позволяют значительно снизить технологическую себестоимость изготовления деталей. Одним из таких методов является тонкоструйная плазменная резка, которая широко используется для раскроя различных видов стали и алюминиевых сплавов. Однако в машиностроительном производстве отсутствуют рекомендации по выбору оборудования, оптимизации технологических режимов по раскрою современных материалов, в частности – титановых сплавов.

Modern thermal processing methods can reduce the technological cost of manufacturing parts. One of these methods is plasma thin jet cutting, which is widely used for cutting various types of steel and aluminum alloys. However, in mechanical engineering there are no recommendations for the selection of equipment, optimization of technological processes for cutting modern, in particular, titanium alloys.

Совершенствование технологического процесса изготовления деталей направлено на выбор наиболее оптимальных для конкретных условий производства методов обработки. Любой технологический процесс должен рассматриваться как с точки зрения целесообразности и реализации, так и с точки зрения экономики. На этапе заготовительного производства применяют современные термические методы обработки, которые позволяют снижать себестоимость технологического процесса, а также повышать качества реза. К таким методам относятся: лазерная резка, тонкоструйная плазменная резка, струйная гидравлическая резка, электроэрозивная резка.

При сравнении технологий термической обработки было выявлено, что технология тонкоструйной плазменной резки обладает оптимальным сочетанием качества реза, производительности и эксплуатационных затрат при широком диапазоне толщин материала и конкурентоспособной цене оборудования [1].

В современном производстве переходят на использование перспективных материалов: металлические и неметаллические композиционные материалы, листовые титановые сплавы, керамика, полимеры и т.д. Высоко зарекомендовал себя титан и сплавы на его основе за совокупность таких свойств, как: высокая прочность, хорошая коррозионная стойкость, низкий коэффициент теплового расширения, высокая температура плавления, относительно небольшая масса. Данные особенности обуславливают его применение в таких областях, где важно получение изделий с высокими показателями механических свойств при относительно малом весе. Даже учитывая достаточно высокую стоимость, титан получил широкое распространение в самолето-, двигателе-, кораблестроении, химическом машиностроении и медицине [2].

Для раскроя металлических материалов в машиностроительной отрасли широкое применение нашел метод тонкоструйной плазменной резки. Существуют научные исследования, практические рекомендации по выбору оборудования и оптимизации технологических режимов раскроя различных сталей, алюминиевых сплавов, но отсутствуют рекомендации по раскрою листовых титановых сплавов.

В рамках моей магистерской диссертации поставлены следующие задачи:

1. Оценка титанового сплава с точки зрения его химического состава, физических, механических и эксплуатационных свойств.
2. Анализ и выбор технологических режимов раскроя для проведения экспериментов.
3. Проведение экспериментальных исследований по раскрою листового титанового сплава с целью оптимизации производительности и качества обработки.
4. Анализ результатов проведенных экспериментов.

Литература:

1. *Рахмьянов А.Х.* Тонкоструйная плазменная резка биметаллических композиций: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07. – Новосибирск, 2014. – 181 с.
2. *Белов С.П.* Металловедение титана и его сплавов / С.П. Белов, М.Я. Брун, С.Г. Глазунов; под ред. С.Г. Глазунова. – Москва: Металлургия, 1992. – 356 с.

АЛГОРИТМ БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

Н.Д. Ерещенко

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, niker217@mail.ru

Научный руководитель: Котин Д.А., к.т.н., доцент

Для обеспечения согласованной работы различных устройств, а так же точного выполнения математических операций, необходима точная расшифровка входного сигнала.

Очевидно, что для его детального анализа наиболее удобно разложить его на составляющее и проанализировать совокупность более простых сигналов. Эта задача решается путем применения преобразования Фурье.

To ensure the consistent operation of various devices, as well as the accurate execution of mathematical operations, an accurate decoding of the input signal is necessary.

Obviously, for its detailed analysis, it is most convenient to decompose it into components and analyze a set of simpler signals. This problem is solved by applying the Fourier transform.

Преобразование Фурье – это семейство математических методов, основанных на разложении исходной непрерывной функции от времени на совокупность базисных гармонических функций (в качестве которых выступают синусоидальные функции) различной частоты, амплитуды и фазы. Из определения видно, что основная идея преобразования заключается в том, что любую функцию можно представить в виде бесконечной суммы синусоид, каждая из которых будет характеризоваться своей амплитудой, частотой и начальной фазой [1].

Иными словами преобразование Фурье позволяет преобразовать функцию времени $f(t)$ в функцию частоты $F(\omega)$.

Связь функции и ее Фурье-образа, определяется равенством

$$F(\omega) = \int f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (1)$$

Так как мы говорим о сигналах, то более предпочтительной будет частота в герцах[2]. Для преобразования зависимости проведем замену $\omega = \nu \cdot 2\pi$, тогда преобразование Фурье примет вид.

$$F(\omega) = \int f(t)e^{-iv2\pi t} dt \quad (2)$$

На входе в устройство сигнал из функции превращается в матрицу значений состояния сигнала, взятых с одинаковой частотой, т.е. происходит дискретизация сигнала[2].

В таком случае мы переходим от интеграла к ряду

$$F(k) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n)e^{-i\frac{2\pi}{N}nt}, \text{ где } k = 0 \dots N - 1 \quad (3)$$

Дискретное преобразование Фурье (далее ДПФ) N отсчетов сигнала $f(n), n = 0 \dots N - 1$ (в общем случае комплексного) ставит в соответствие N комплексных спектральных отсчетов $f(k), k = 0 \dots N - 1$ [3]. Для нахождения одного спектрального отсчета требуется N операций комплексного умножения и сложения. Следовательно, для реализации ДПФ потребуется N^2 операций комплексного умножения и сложения, что является весьма большой нагрузкой на процессор вычислительного устройства и сказывается на задержке результатов разложения относительно входного сигнала[3].

Для упрощения поставленной задачи, как и ранее мы можем разбить существующую матрицу на 2 более простых, что уменьшит количество операций в 2 раза. Таким образом, если $N = 2^L$, мы можем уменьшить число операций в 2^{L-1} раз, т.е. до $\frac{N^2}{2^{L-1}} = \frac{2^{2L}}{2^{L-1}} = 2^{L+1} = 2N$, такой подход называется быстрым преобразованием Фурье (БПФ)[4].

Алгоритм быстрого преобразования Фурье, был реализован в среде TwinCAT, а также была оценена точность проводимых вычислений.

Зададим на входе сумму 3 синусоид, пусть несущей частотой будет 50 Гц. Тогда разобьем ее период на 32 значения, что даст нам разложение на 32 частоты с шагом 50 Гц, однако в разложении учитываются как положительные, так и отрицательные частоты. Как известно синусоида, взятая с противоположной по знаку частотой и сдвигом на половину периода, будет полностью совпадать с исходной по мгновенным значениям. Исходя из этого, половина полученных значений не несёт смысловой нагрузки, те из 32 точек мы получаем разложение на 16 гармоник, где $\nu = 0 \dots (16 - 1) \cdot 50 = 0 \dots 750$ Гц.

Входные характеристики синусоид представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Входные характеристики синусоид

№	Величина		
	A	φ	ν
1	100	70	50
2	50	30	250
3	10	150	350

Рассмотрим полученные значения фаз и амплитуд (рисунки 1 и 2 соответственно).

```

-----S_grof_fi
E--S_grof_fi
---S_grof_fi[0] = 90
---S_grof_fi[1] = 70
---S_grof_fi[2] = 142.9441
---S_grof_fi[3] = 50.00252
---S_grof_fi[4] = 22.5
---S_grof_fi[5] = 30
---S_grof_fi[6] = -45.66443
---S_grof_fi[7] = 150
---S_grof_fi[8] = 54.46233
---S_grof_fi[9] = 109.9931
---S_grof_fi[10] = 50.71908
---S_grof_fi[11] = -159.444
---S_grof_fi[12] = 67.49398
---S_grof_fi[13] = 57.6353
---S_grof_fi[14] = 65.86945
---S_grof_fi[15] = 124.992

```

Рис. 1 – Матрица значений фаз базисных гармоник

```

-----S_grof_A
E--S_grof_A
---S_grof_A[0] = 2.145767e-006
---S_grof_A[1] = 1.00
---S_grof_A[2] = 9.368465e-007
---S_grof_A[3] = 2.062899e-006
---S_grof_A[4] = -1.10135e-006
---S_grof_A[5] = -49.99999
---S_grof_A[6] = -2.148816e-006
---S_grof_A[7] = 10.00001
---S_grof_A[8] = 1.025477e-006
---S_grof_A[9] = 2.790618e-006
---S_grof_A[10] = -1.131902e-006
---S_grof_A[11] = 8.148197e-006
---S_grof_A[12] = -4.581941e-007
---S_grof_A[13] = 3.444043e-006
---S_grof_A[14] = 9.17929e-007
---S_grof_A[15] = -2.328216e-005

```

Рис. 2 – Матрица значений амплитуд базисных гармоник

Как видно по результатам вычислений амплитуды найдены с точностью до 4 знака после запятой (позиции 1, 5 и 7), фазы же были определены без погрешностей.

Однако можно наблюдать присутствие побочных гармоник, но значения их амплитуд стремятся к нулю, а значит и их влияние можно не учитывать.

Добавим во входной сигнал помехи, амплитуда которых не будет превышать амплитуду несущей гармоники. В таком случае получим следующие значения (Рисунки 3 и 4).

Из новых результатов можно наблюдать снижение точности определения амплитуд заданных гармоник и увеличение влияния остальных базисных синусоид. Самое большое отклонение (146%) у гармоники с частотой 150 Гц и амплитудой, равной 10. Это связано с тем, что амплитуда шумов многократно превышает значение амплитуды данной гармоники, а именно в 10 раз.

```

S_gref_I
S_gref_I[0] = 90
S_gref_I[1] = 63.86022
S_gref_I[2] = 43.45333
S_gref_I[3] = 71.27168
S_gref_I[4] = 71.38174
S_gref_I[5] = 22.88729
S_gref_I[6] = 144.5777
S_gref_I[7] = 144.4308
S_gref_I[8] = 90
S_gref_I[9] = 154.365
S_gref_I[10] = 63.59859
S_gref_I[11] = 142.5318
S_gref_I[12] = 143.278
S_gref_I[13] = 22.9251
S_gref_I[14] = 19.15398
S_gref_I[15] = 30.61054

```

Рис. 3 - Матрица значений фаз базисных гармоник с помехами

```

S_gref_A
S_gref_A[0] = 101.25
S_gref_A[1] = 95.38953
S_gref_A[2] = 2.649905
S_gref_A[3] = 7.79368
S_gref_A[4] = 14.98939
S_gref_A[5] = 58.33353
S_gref_A[6] = 6.495325
S_gref_A[7] = 24.55495
S_gref_A[8] = 12.5
S_gref_A[9] = 5.425381
S_gref_A[10] = 11.11954
S_gref_A[11] = 13.4671
S_gref_A[12] = 2.851405
S_gref_A[13] = 8.863407
S_gref_A[14] = 4.900957
S_gref_A[15] = 13.58155

```

Рис. 4 - Матрица значений амплитуд базисных гармоник с помехами

На значения фаз же шумы повлияли не так сильно, здесь самое большое отклонение имеет гармоника с частотой 250 Гц и составляет 24%.

В заключение можно сделать вывод, что написанная программа по БПФ имеет достаточно высокие показатели точности и устойчивости к помехам и во многом определяется размерностью используемого типа данных.

Литература:

1. *Оппенгейм А., Шаффер Р.* Цифровая обработка сигналов. Москва, Техносфера, 2012. 1048 с. ISBN 978-5-94836-329-5
2. *Рабинер, Л., Гоулд, Б.* Теория и применение цифровой обработки сигналов. Москва, Мир, 1978. 848 с.
3. *Сергиенко А.Б.* Цифровая обработка сигналов СПб, Питер, 2002.
4. *Лапинова С.А., Саичев А.И.* Учебно-методический материал по программе повышения квалификации “Применение современных информационно-телекоммуникационных систем и технологий для обработки сигналов различной природы”. Нижний Новгород, 2006, 89 с.

ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ЕГО ПОВЕРХНОСТИ

В.В. Ерунцов¹, К.А. Просолов², М.А. Химич^{2,3}

¹Национальный исследовательский

Томский политехнический университет,

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

³Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск, eruntsov.98@gmail.com

Научный руководитель: Шаркеев Ю.П., д.ф.-м.н., профессор,
г.н.с. лаборатории физики наноструктурных
биокomпозитов ИФПМ СО РАН

Для улучшения эксплуатационных свойств металлических изделий для медицины применяют различные методы модификации поверхности, которые в свою очередь вносят в металл упругие, пластические деформации и дефекты, изменяют рельеф поверхности, шероховатость и величину остаточных напряжений. Эти изменения оказывают значительное влияние на формирование биоактивных покрытий и реакцию живых клеток. В работе представлены результаты исследования влияния методов модификации поверхности металлов на тип и величину формируемых остаточных напряжений в сплаве VT1-0.

To improve the performance properties of metal products for medicine, various methods of surface modification are used, which, in turn, make elastic, plastic deformations and defects into the metal, change the surface topography, roughness and the value of residual stress. These changes have a significant impact on the formation of bioactive coatings and the reaction of living cells. The paper presents the results of the study of the influence of metal surface modification methods on the type and magnitude of the formed residual stress in VT1-0 alloy.

На данный момент, основным материалом при изготовлении медицинских имплантатов являются металлические материалы, такие как: коррозионностойкая (нержавеющая) сталь, сплавы на основе кобальта или титана [1-3]. Титан является наиболее предпочтительным для производства медицинских изделий металлом за счет высокой биосовместимости, оптимального соотношения механических свойств и удельного веса, а также высокой коррозионной стойкости [2].

Выполнение имплантатом своих функций в течении всего срока службы зависит от характеристик его поверхности. На остеоинтеграцию и адгезию клеток влияют топология и шероховатость поверхности, которые можно варьировать путем применения различных методов модификации поверхности: шлифовка, полировка, электрохимическая

полировка, струйно-абразивная обработка (CAO), химическое травление, прокатка и нанесение покрытия [4,5]. Все вышеперечисленные методы модификации поверхности формируют в металле остаточные напряжения. Остаточные напряжения – упругая деформация, сохраняющаяся в объеме материала даже без внешнего воздействия. До сих пор не исследованы численные значения величины остаточных напряжений, которые вносят те или иные методы модификации поверхности в структуру сплава ВТ1-0, применяющегося в медицинских изделиях. Цель данной работы – исследование методов модификации поверхности сплава ВТ1-0 и их влияния на остаточные напряжения.

Исследование проводилось на 6-ти группах образцов. Образцы представляют собой пластины из титанового сплава ВТ1-0 площадью 10×10 мм² и толщиной 1 мм. Обработка поверхности образцов была выполнена с использованием следующих методов: шлифовка, полировка, электрополировка, струйно-абразивная обработка (CAO), химическое травление, прокатка и магнетронное напыление кальцийфосфатного покрытия. Топология модифицированной поверхности исследовалась на металлографическом инвертированном микроскопе Altami MET 1 MT.

На рис. 1 приведены изображения поверхности обработанных образцов при 20-ти кратном увеличении. Более рельефной оказалась поверхность образцов, обработанных с помощью CAO и химического травления, это также отражается и на значениях шероховатости (рис. 2(а)).

Оценка сформировавшихся остаточных напряжений проводилась методами рентгеноструктурного анализа на рентгеновском дифрактометре ДРОН-7 в CoK_α -излучении. Съёмки для идентификации фазового состава осуществлялись в диапазоне углов 2θ 10-165° с шагом сканирования 0,05° и временем экспозиции 5 с. Съёмки для количественного определения остаточных напряжений проводились в диапазоне углов 2θ 148-160° с шагом 0,1° и временем экспозиции 20 с, при этом значения угла поворота образца ψ составляли 0, 10, 20, 30, 40, 50 и 60° [6].

Результаты расчета величины остаточных напряжений приведены на рис. 2(б). Исходное состояние образцов после шлифовки и полировки характеризуется наибольшим значением сжимающих напряжений, что связано с методом изготовления сплава и индуцированной пластической деформацией в ходе механической обработки. Важным фактором в формировании остаточных напряжений после шлифовки и полировки является температурное воздействие во время обработки [7].

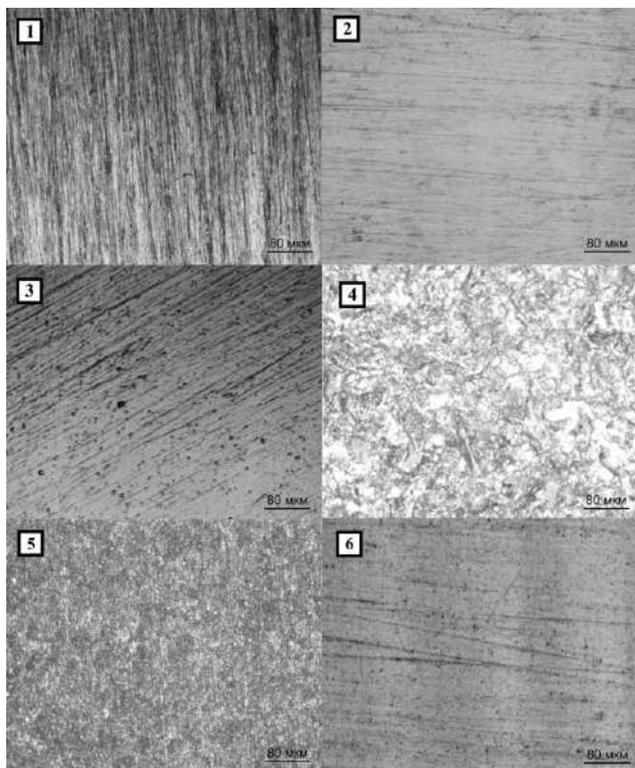


Рис.1 – Оптические изображения поверхности обработанных образцов после: 1 – шлифовки, 2 – полировки, 3 – электрополировки, 4 – САО, 5 – химического травления, 6 – напыления покрытия из гидроксиапатита

При холодной прокатке во внутренних слоях металла образуются сжимающие напряжения, а поверхностный слой растягивается, тем самым модуль сжимающих напряжений на поверхности уменьшается и становится равным по модулю 85 МПа. При струйно-абразивной обработке поверхностный слой металла претерпевает еще большие растягивающие деформации, в результате бомбардировки абразивными частицами, что ведет к тому, что значения сжимающих остаточных напряжений уменьшаются по модулю до 79 МПа [8]. Дополнительно в работе определялась величина остаточных напряжений, сформировавшихся в ходе испытаний на растяжение до разрыва. Деформации растяжения, локализованные в области разрыва, характеризовались дальнейшим уменьшением сжимающих напряжений,

что связано с тем, что кристаллическая решетка металла сильно растягивается в одном направлении и сжимается в другом. Как и при перечисленных ранее методах, при нанесении покрытия методом ВЧ магнетронного распыления мишени из гидроксипатита, модуль сжимающих остаточных напряжений снижается, что обусловлено растяжением кристаллической решетки поверхностного слоя атомами материала покрытия, имеющего высокую адгезию к подложке.

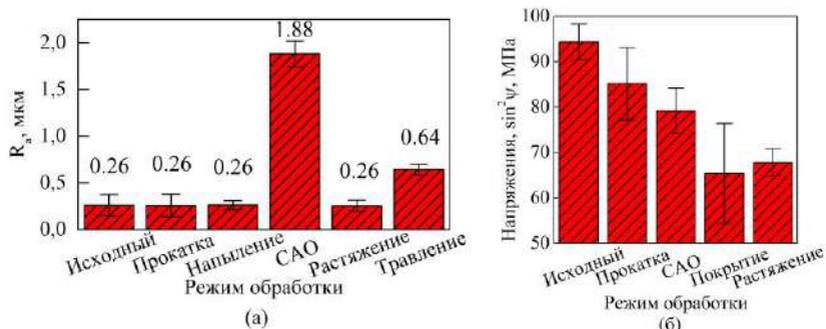


Рис.2 – Изменение шероховатости (а) и остаточных напряжений (б) поверхностного слоя титанового сплава VT1-0 в зависимости от метода обработки

При проведении исследования было определено влияние различных методов модификации поверхности сплава на ее топографию, шероховатость и остаточные напряжения в приповерхностном слое. Величина остаточных напряжений для исходных образцов составила $\sigma = -94 \pm 4$ МПа, после прокатки – $\sigma = -85 \pm 8$ МПа, после CAO – $\sigma = -79 \pm 5$ МПа, после растяжения до разрыва – $\sigma = -68 \pm 3$ МПа и после нанесения покрытия методом магнетронного напыления $\sigma = -65 \pm 11$ МПа.

Литература:

1. Трофимов В.В., Федчишин О.В., Клименов В.А. Титан, сплавы титана и их применение в стоматологии // Сибирский медицинский журнал. – 2009. – №7. – С. 10–12.
2. Модификация поверхности титановых имплантатов и ее влияние на их физико-химические и биомеханические параметры в биологических средах / В.В. Савич, Д.И. Сарока, М.Г. Киселев, М.В. Макаренко; под науч. ред. В.В. Савича. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 244 с.
3. ГОСТ Р ИСО 5832-3-2020. Имплантаты для хирургии. Металлические материалы. Часть 3. Деформируемый сплав титан-6

алюминия-4 ванадия. – Введ. 2020–08–04. – М.: Стандартинформ, 2020. – 8 с.

4. Influence of surface characteristics on bone integration of titanium implants. A histomorphometric study in miniature pigs / D. Buser, R. Schenk, S. Steinemann, J. Fiorellini, C. Fox, H. Stich // J. Biomed Mater Res. – 1991. – №25. – P. 889–902.

5. Теория прокатки. Справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин, А.В. Третьяков, Г.С. Никитин. – М.: Металлургия, 1982. – 335 с.

6. Chimmatt M., Srinivasan D. Understanding the Residual Stress in DMLS CoCrMo and SS316L using X-ray diffraction // Procedia Structural Integrity. – 2019. – Vol. 14. – P. 746–757.

7. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М.: МАШГИЗ, 1963. – 232 с.

8. Totten G., Howes M., Inoue T. Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel // ASM International. – 2002. – 499 p.

ФОРМИРОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ФРИКЦИОННОГО ЛАТУНИРОВАНИЯ

К.А. Жукова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ksi38544@gmail.com**

Научный руководитель: Гилета В. П., к. т. н., доцент

Данная работа посвящена влиянию рабочей среды на шероховатость поверхности при фрикционном латунировании. Изучена технология нанесения антифрикционного латунного покрытия. В статье проанализирована эффективность 5 рабочих сред на результат получаемых покрытий. Установлено, что рабочая среда влияет на полученную микрогеометрию, минимальная шероховатость была получена при использовании смеси глицерина и олеиновой кислоты.

This work is devoted to the influence of the working environment on the surface roughness during frictional brass plating. The technology of application of antifriction brass coating has been studied. The article analyzes the effectiveness of 5 working environments on the result of the resulting coatings. It was found that the working environment affects the resulting microgeometry, the minimum roughness was obtained using a mixture of glycerol and oleic acid.

Приоритетным направлением повышения качества рабочих или контактных поверхностей различных деталей машин является разработка антифрикционных покрытий. Из различных методов получения антифрикционных покрытий предпочтение отдается тем,

которые имеют оптимальные значения твердости и модуля упругости и высокие антифрикционные свойства, чтобы обеспечить благоприятные внутренние напряжения и максимальные характеристики сцепления покрытия с основным материалом [1]. Такое покрытие может быть получено трением, такая технология получила название финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) [2].

Среди покрытий, получаемых по технологии ФАБО, широкое распространение получил метод, когда в качестве материала пары трения используется латунь. Натирающий латунный элемент (стержень или трубка), вращаются относительно своей продольной оси и натирает слой латуни на покрываемую поверхность (из стали, чугуна). ФАБО осуществляется в присутствии специальных технологических сред на основе глицерина. Нанесение покрытий фрикционным методом не требует специального оборудования и высокой квалификации рабочего и может быть произведено на обычном токарном станке [3].

Цель работы – изучение влияния состава рабочей среды на шероховатость поверхности детали после фрикционного латунирования.

Для получения ровного и сплошного наносимого слоя необходимо соблюдать следующие условия:

1. Поверхность детали должна быть без окисных и масляных плёнок;
2. Материал детали пластифицировался ПАВ в процессе нанесения покрытия;
3. Давление при трении обеспечивает полное прилегание поверхностей инструмента к поверхности детали [4].

При соблюдении вышеперечисленных условий перенос материала с инструмента на деталь образуется сплошным слоем, который состоит из очень мелких частиц. Эти частицы хорошо сцеплены между собой и со стальной поверхностью.

На практике перед нанесением антифрикционного пленочного покрытия широко применяется точение, обеспечивающее формирование регулярного микрорельефа с регулярным чередованием остаточных выступов и впадин микрошероховатостей. Следовательно, форма и размер микрошероховатостей зависят от геометрии режущего инструмента, параметры резания, жесткость процесса (станок - инструмент - заготовка) и т. д [5].

Для испытания было подготовлено 5 образцов из стали 45. В качестве наносимого материала использовался прутки латуни марки Л63, который закреплялся на приспособлении к токарному станку 1А616. Скорость образца – 0,5 м/с; давление инструмента на деталь – $P = 400$ Н. Перед фрикционным латунированием поверхность образца

подвергалась обработке – шлифованию наждачной бумагой зернистостью 800. Далее производилось ее обезжиривание бензином Галоша. При фрикционном латунировании осуществлялось за 4 прохода при прямой и обратной подачах. При проведении опытов использовалось 5 рабочих сред.

На рисунках 1 и 2 представлены латунные покрытия, полученные на образцах из стали 45.

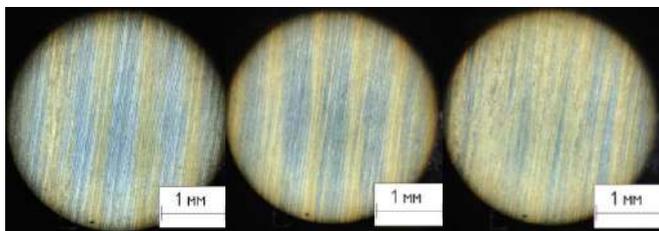


Рис. 1 – Пример латунного покрытия:

- а - рабочая жидкость – глицерин; б - рабочая жидкость – глицерин + 10% ортофосфорной кислоты; в - рабочая жидкость – глицерин + 20% ортофосфорной кислоты

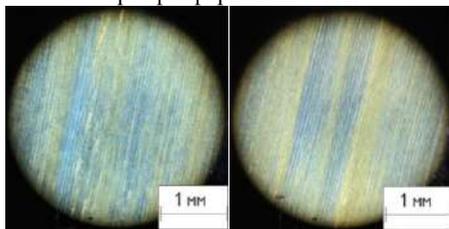


Рис. 2 – Пример латунного покрытия:

- а - рабочая жидкость – глицерин + 10% олеиновая кислота; б - рабочая жидкость – глицерин + 20% олеиновая кислота

Микрогеометрия поверхности полученного латунного покрытия представлена на рисунке 3. Как видно из полученных профилограмм, происходит сглаживание вершин микрогеометрии за счет совмещения двух одновременно протекающих процессов: статического давления инструмента и переноса его материала на поверхность обрабатываемого образца. Причем заполнения латунью глубин микрогеометрии не происходит, ввиду отсутствия контакта инструмента и поверхности впадины. В таблице 1 представлены значения среднеарифметического отклонения профиля.

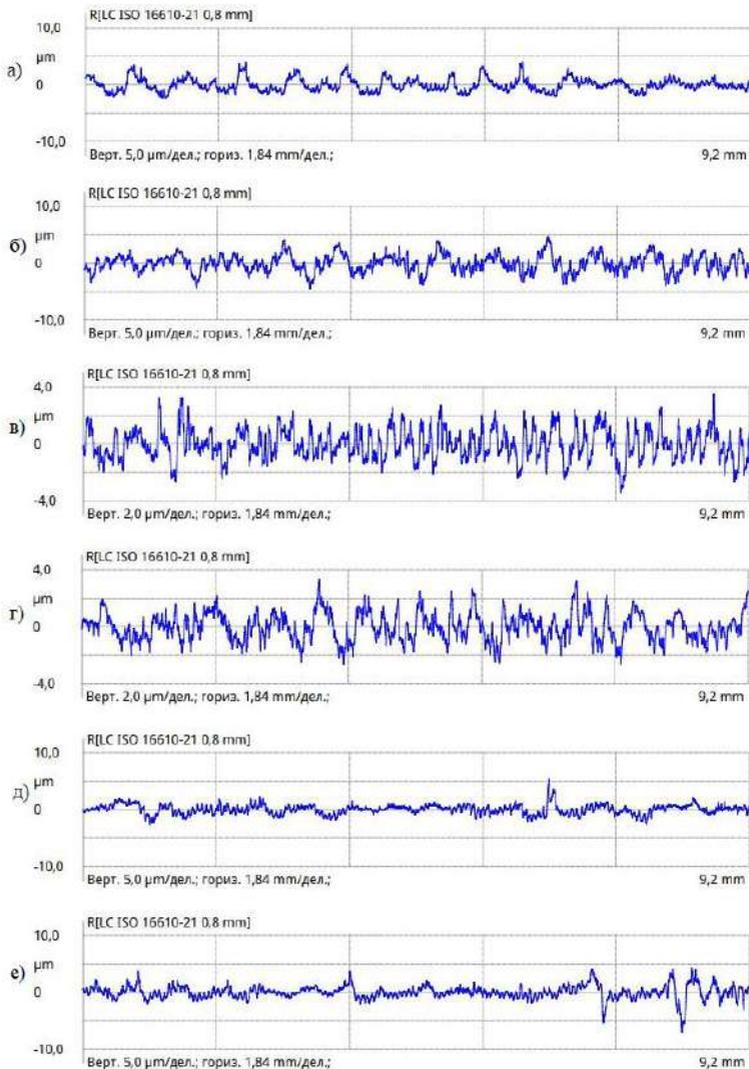


Рис. 3 – Микрогеометрия на образце:

а – исходная поверхность; б – латунное покрытие, рабочая жидкость - глицерин; в – латунное покрытие, рабочая жидкость – глицерин и 10%-ортофосфорная кислота; б – латунное покрытие, рабочая жидкость - глицерин и 20%-ортофосфорная кислота; б – латунное покрытие, рабочая жидкость – глицерин и 10%-олеиновая кислота; б – латунное покрытие, рабочая жидкость – глицерин и 20%-олеиновая кислота

Таблица 1 – Полученные данные шероховатости из профилограмм

L, мм	Ra, мкм	Исходная	Гц	Гц + ОФК 10%	Гц + ОФК 20%	Гц + ОК 10%	Гц + ОК 20%
		1,5	0,365	0,505	0,430	0,391	0,275
4,8	0,944	1,251	0,782	0,889	0,734	0,585	
10	0,897	1,245	0,879	0,798	0,637	0,804	

L – длина трассирования, Гц – глицерин, ОФК - ортофосфорная кислота, ОК - олеиновая кислота

По полученным данным можно сделать вывод, что при одинаковой нагрузке и режимах обработки, но при разной рабочей жидкости, микрогеометрия поверхности меняется. Также можно отметить, что при использовании глицерина и олеиновой кислоты шероховатость полученной поверхности ниже исходной, а наихудший результат показал образец с рабочей средой-глицерин.

Литература:

1. *Ляшенко Б.А., Соловых Е.К., Мирненко В.И., Рутковский А.В., Черновол М.И.* Оптимизация технологии нанесения покрытий по критериям прочности и износостойкости. -Киев: Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, 2010.- 193 с.
2. *А. В. Рагуткин, М. И. Сидоров, М. Е. Ставровский* (2019) Некоторые аспекты эффективности нанесения антифрикционных покрытий технологиями финишной антифрикционной безабразивной обработки. Записки Горного Института. Том 236. С. 239. DOI: 10.31897/rmi.2019.2.239
3. *Сорокин, В.М.* Основы триботехники и упрочнения поверхностей деталей машин // В.М. Сорокин, А.С. Курников / Курс лекций по дисциплине «Основы триботехники и технология упрочнения деталей» и задания для выполнения контрольной работы – Н. Новгород. Издательство ФГОУВПО ВГАВТ. 2006.
4. *Андреева А.Г., Бурумкулов Ф.Х., Толоконников В.И. и др.* Финишная антифрикционная безабразивная обработка как средство повышения срока службы машин и оборудования./Долговечность трущихся деталей машин. Вып. 4. М.: Машиностроение, 1990, С. 34-59.
5. *Триботехника / Д. Н. Гаркунов.* - М. : Машиностроение, 1985. - 424 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЁРДЫХ СМАЗОК И ЭПИЛАМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Д.А. Категова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, dashakategova@mail.ru

Научный руководитель: Гилета В. П., к. т. н., доцент

Статья посвящена использованию твердых смазок и эпилам для получения антифрикционных покрытий. Рассмотрены технологии нанесения однокомпонентных и двухкомпонентных покрытий на поверхности деталей машин. Выбран метод нанесения синтетической кистью. Изучена возможность создания покрытий на основе двух компонентов. В статье проанализированы поверхности после нанесения покрытий. Установлено, что выбранный метод нанесения не гарантирует равномерный слой смазки.

The article is devoted to the use of solid lubricants and epilam to obtain antifriction coatings. The technologies of applying one-component and two-component coatings on the surface of machine parts are considered. The method of application with a synthetic brush has been selected. The possibility of creating coatings based on two components has been studied. The article analyzes the surfaces after coating. It was found that the selected application method does not guarantee a uniform lubrication layer.

В настоящее время повышение надежности и долговечности в промышленности машиностроения являются одной из наиболее актуальных проблем. Применение смазочных покрытий является одним из решений позволяющим снижать потери на трении и повышать сроки эксплуатации деталей машин [1].

Цель работы – изучение возможности создания покрытий на основе твердых смазок и эпилам, обладающих триботехническими свойствами.

В рамках данной работы необходимо выполнить ряд задач:

1. Изучить номенклатуру твердых смазок и выбрать наиболее используемые представители.
2. Изучить особенности взаимодействия дисульфида молибдена и эпилама при их смешивании.
3. Изучить способы нанесения используемых смазочных композиций на поверхности деталей машины и выбрать их наиболее технологичный в рамках данной работы.
4. Исследовать шероховатость поверхностей, сформированных антифрикционных слоёв.

Основное назначение смазочных материалов – уменьшение сопротивления трению и обусловленной им потери энергии, снижение износа поверхностей трения [1].

Твердые смазочные материалы (ТСМ) – это материалы, которые обеспечивают смазку между двумя поверхностями в условиях сухого или граничного трения в экстремальных условиях [2].

На сегодняшний день наиболее распространенными ТСМ являются дисульфид молибдена и графит. Своё востребование в мире машиностроения эти ТСМ обеспечивают благодаря таким качествам, как: низкий коэффициент трения, широкий диапазон рабочих температур, устойчивость к коррозии, высокая износостойкость, высокая адгезия к металлам, работоспособность в вакууме [2].

В качестве материалов для проведения эксперимента использовались стальные валы Ø50 мм и длиной 100 мм. Часть образцов перед нанесением смазочных составов обрабатывалась точением (серия 105), другая (серия 104) была обработана рифлёными роликами с получением сетки углубления определенного шага.

Перед нанесением смазочных составов поверхности подготавливались следующим образом:

1. Имеющиеся на обрабатываемой поверхности окислы были удалены механическими методами: образец 105 перед проведением экспериментов готовился точением на станке: модель 1А616. Точением проходило при параметрах: количество оборотов – 2000, подача – 0,0039 мм/об. Образец 104 подготовлен накаткой рифлёным роликом.

2. Очищение от механических загрязнений и обезжириванию.

3. Мойка моющими составами с использованием тампонов до полного удаления жировых загрязнений.

4. Сушка, которая проводилась при комнатной температуре в течение 24 часов.

Следующим этапом работы являлось нанесение антифрикционных покрытий на подготовленные образцы.

В эксперименте использовались три вида смазки: дисульфид молибдена; эпилам; 50 % Дисульфида молибдена и 50 % эпилама

Работа осуществлялась следующим образом. В первую очередь была проведена работа с образцом, подготовленный точением. Подготовленная деталь была разделена на 4 части. 1 часть осталась нетронутой и использовалась, как эталон. Вторая часть была покрыта дисульфидом молибдена, третья часть - эпилам, на последнюю часть образца наносилась смесь дисульфида молибдена и эпилама в соотношении 1:1.

Антифрикционные, гидрофобные, химстойкие и антиадгезийные покрытия могут наноситься с помощью щетки, кисти, валиков. Если покрытие должно наноситься только на часть детали, то целесообразно применять способ трафаретного нанесения. Перед высыханием маскирующие трафареты или защитная пленка удаляются [3].

В работе нанесение смазочного состава на поверхность образца осуществлялось синтетической кистью.

Толщина пленки оказывает существенное влияние на срок службы, коэффициент трения и антикоррозионные свойства поверхности [3]. Толщину пленки оценили оптическим методом с помощью светового сечения.

С помощью микроскопа была исследована поверхность после нанесения смазок. На рис.1 представлены покрытия для образца 105:

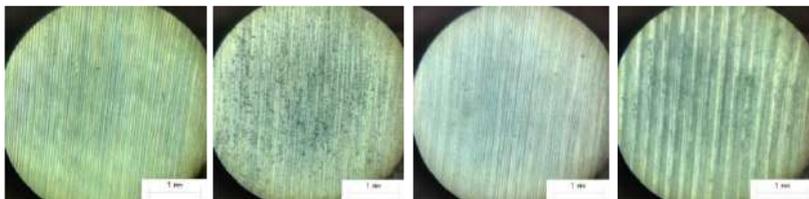


Рис. 1 – Покрытия для образца 105: эталон; дисульфид молибдена; эпилам; 50 % дисульфид молибдена и 50 % эпилам

На рис.2 представлены покрытия для детали, накатанной рифленным роликом:



Рис. 2 – Покрытия для образца 104: эталон; дисульфид молибдена; 50% дисульфид молибдена и 50% эпилам

Изучение шероховатости полученных покрытий осуществлялось с помощью профилографа-профилометра Marsuoft PS 10.

Шероховатость эталонной поверхности для образца 105 составляет $R_a = 1,502$. На рисунках 3,6 представлены профилограммы для образца 105 с нанесенным покрытием эпилам (шероховатость $R_a = 1,788$). На рисунках 4,5 представлены профилограммы для образца 104. Эталонная поверхность имеет шероховатость $R_a = 16,362$, эпилам – $R_a = 9,162$, дисульфид молибдена – $R_a = 9,193$.



Рис. 3 – Шероховатость образца 105 (эпилам)

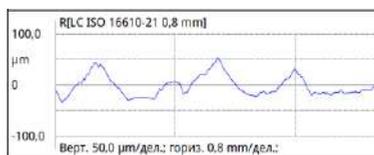


Рис. 4 – Шероховатость образца 104 (эталон)

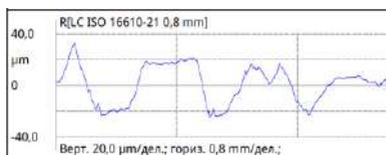


Рис. 5 – Шероховатость образца 104 (эпилам)

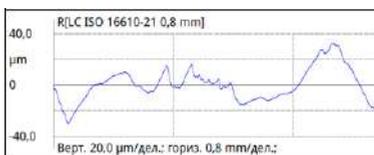


Рис. 6 – Шероховатость образца 105 (дисульфид молибдена)

Проведенные исследования показали, что двухкомпонентный состав смазки 50 % дисульфид молибдена и 50 % эпилам имеет возможность нанесения на поверхности деталей машин, но в связи с результатами опыта, требуется дальнейшее изучение данной смеси, а также отработка методов нанесения.

Также можно сказать, что смесь дисульфида молибдена и эпилама не оказывает значительного влияния на толщину наносимых покрытий данным методом, так как не выявлено разницы между свойствами дисульфида молибдена и смазки (50 % эпиламов+50 % дисульфида молибдена). Это может быть связано с выбором метода нанесения твердых смазочных покрытий. Нанесение кистью не позволяет нанести слой смазки равномерно и точно по поверхности, так как нет значительного давления, которое будет оказывать на поверхность. Также при смешивании дисульфида молибдена и эпилама, твердая смазка поглощала эпилам и смесь приобретала порошкообразную консистенцию, напоминающую порошок дисульфида молибдена. Такое поведение смеси может объясняться тем, что при смешивании выбранных компонентов их объем был достаточно невелик, возможно, при увеличенном объеме компонентов, смесь приобретала бы более равномерную консистенцию, и результат был бы более эффективным.

Для более детального изучения возможности создания двухкомпонентных покрытий требуется проведение дальнейших исследований. Возможны следующие решения: необходимо заменить метод нанесения твердых смазочных покрытий. Для этого ведется разработка приспособлений для механического нанесения ТСМ. Также

рассматривается вариант увеличения процентного соотношения эпилама относительно дисульфида молибдена или использование связующего элемента в виде клея.

Литература:

1. Триботехника / Д. Н. Гаркунов. - М. : Машиностроение, 1985. - 424 с.
2. Финишная антифрикционная обработка деталей узлов трения машин [Текст] / А. А. Корнеев [и др.]. - М.: МГУДТ, 2015. - 97 с.: ил. - Библиогр: с. 92-97 4. Сутягин О. В. Моделирование триботехнических систем с твердосмазочными покрытиями в машиностроении [Текст]: монография / О. В. Сутягин. - Тверь: Твер. гос. техн. ун-т, 2016. - 195 с
3. *Сорокин В.М.* Основы триботехники и упрочнения поверхностей деталей машин // В.М. Сорокин, А.С. Курников / Курс лекций по дисциплине «Основы триботехники и технология упрочнения деталей» и задания для выполнения контрольной работы – Н. Новгород. Издательство ФГОУВПО ВГАВТ. 2006.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Т.Е. Мусалина

Ульяновский государственный университет,

г. Ульяновск , musalina2011@yandex.ru

**Научный руководитель: Блюменштейн А.А., старший
преподаватель**

В статье представлена методика автоматизированного проектирования вспомогательных переходов технологических процессов для механической обработки деталей на станках с ЧПУ. Разработаны алгоритмы функционирования программного обеспечения. Представлены макеты модуля системы автоматизированного проектирования программных технологических процессов.

This article presents a method for computer-aided design of auxiliary transitions of technological processes for machining parts on CNC machines. Algorithms of software functioning have been developed. Layouts of the module for computer-aided design of software technological processes are presented.

В условиях автоматизированного производства наиболее актуальной задачей является комплекс мероприятий по разработке технологических

процессов и созданию на их основе высокопроизводительных машин [1].

В современном производстве возникает необходимость автоматизации формирования документации для ТП для станков с ЧПУ. Наиболее важным элементом технологической подготовки цифрового производства является наличие ТП в электронном виде. Постепенно ТП в текстовом виде утрачивает свой смысл и, поэтому, в большинстве случаев, заменяется визуальным представлением в виде анимированной последовательности действий с сопроводительной информацией. Информация должна иметь структурированный вид и быть доступной для систем планирования управления производством. Однако на большинстве предприятий имеются регламенты на формирование ТП в бумажном виде. В таком случае требуется сократить время разработки ТП за счет автоматизированного формирования перечня операций и переходов.

Проанализировав существующие решения разработки ТП в системах Вертикаль, Timeline, СПРУТ-ТП и ТеМП-2. САПР ТП «ТеМП-2» оказалась наиболее приближена для разработки ТП в данной отрасли. У данной системы существует единая база информационного обеспечения и интеграция с единым информационным пространством АО «Авиастар-СП. Ключевую роль в этой работе играет интеграция САПР ТП «ТеМП2» с САМ-модулем Siemens NX в части проектирования ТП обработки детали. Так, было выявлено, что часть технологических процессов может быть сформирована в автоматическом и полуавтоматических режимах. Кроме того, часть данных должна передаваться из САМ-модуля Siemens NX в операции и переходы технологического процесса САПР ТП «ТеМП2».

Условием для создания методики проектирования программных ТП является большая длительность технологической подготовки производства на этапе разработки ТП для механообработки на станках с ЧПУ. Ранее был выявлен ряд недостатков существующей методики, применяемой в цехах механо-каркасного производства на АО «Авиастар-СП».

В Научно-исследовательском центре CALS-технологий УлГУ была разработана методика автоматизированного проектирования программной части ТП для механообработки на станках с ЧПУ.

Методика разработки ПТП состоит из следующих этапов:

1. Получение исходных данных на деталь.
2. Выбор файлов управляющих программ, в которых заложена обработка детали, и последующее проектирование операций и переходов обработки детали на станке с ЧПУ.
3. Формирование перечня вспомогательных операций и переходов.
4. Импорт и привязка за операциями и переходами эскизов.

5. Автоматическое создание и привязка электронных сопроводительных документов.

Основными данными для автоматизированного формирования программных ТП служат дерево операций Siemens NX и файлы управляющих программ. Для каждого файла управляющей программы проектируется переход «Обработать по УП» с использованием базовых технологических модулей, далее спроектированные переходы объединяются в операции и установки согласно структуре дерева траекторий обработки детали в модуле обработки Siemens NX.

ТП изготовления детали характеризуется содержанием подготовительных, основных, вспомогательных и заключительных операций, их количеством и последовательностью выполнения. Исходя из этого, существует начальное положение ТП с несколькими установками и переходами с обработкой. Для того, чтобы автоматизировано сформировать программный ТП пользователю необходимо пройти несколько этапов. На первом этапе автоматизировано будут спроектированы подготовительные переходы в ТП, а именно, перед переходами обработки.

На втором этапе необходимо сформировать перечень вспомогательных переходов на станочное приспособление.

Формирование вспомогательных переходов происходит в определенной последовательности. Для каждого установка или технологического останова пользователю необходимо выбрать тип приспособления. В зависимости от того, какое приспособление будет выбрано, автоматически будут подставляться переходы. Далее необходимо выбрать подходящие переходы или подкорректировать их вручную для каждой стадии. Также необходимо указать номера прихватов, если они будут задействованы в закреплении заготовки. После этого необходимо назначить ресурсы, которые будут задействованы для закрепления/снятия заготовки [2].

На третьем этапе инженеру-технологу необходимо сформировать перечень заключительных переходов. Данные переходы представляют собой совокупность действий, необходимых после основных операций обработки.

На четвертом этапе происходит формирование перечня переходов сборки/разборки инструментальных наладок. Существуют переходы сборки и разборки инструментальной наладки. На каждую инструментальную наладку существует свой шаблон. На каждый шаблон инструментальной наладки настроены пара переходов сборки и разборки инструментальной наладки. Переходы по сборке инструментальной наладки будут автоматизировано спроектированы перед подготовительными переходами в ТП. А переходы по разборке

инструментальной наладки будут спроектированы после заключительных переходов.

В данной статье была предложена методика автоматизированного проектирования вспомогательных переходов ТП для механической обработки самолетных деталей на станках с ЧПУ.

Основной экономической эффект от предлагаемой методики и разработанного на ее основе программного обеспечения заключается в улучшении экономических показателей работы предприятия, прежде всего за счет сокращения трудоемкости выполнения работ. А именно, за счет автоматизации проектирования ТП.

Литература:

1. *Маслов В.Д., Сачков И.Н.* Актуальные проблемы автоматизации в современном мире // ВЕСТНИК НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ № 2(56). Часть 1. 2019.С 48-50.

2. *Евсеев А.Н.* Теоретические основы технологии производства :Методическое пособие для студентов, изучающих дисциплину «Основы технологических процессов и производств» / А.Н. Евсеев. - Ульяновск :УлГУ, 2013. – 83 с.

3. *Маданов А.В., Лотоцкий А.М., Кораблева А.А.* Особенности проектирования технологических процессов механообрабатывающего производства в условиях импортозамещения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016, т.18, № 4(3), с. 1464.

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ И ДЮРОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АРМКО-ЖЕЛЕЗА

А.Г. Самуль, А.А. Потапов

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, potapov.2017@stud.nstu.ru

Научный руководитель: Гилета В.П., к.т.н., доцент

Статья посвящена исследованиям влияния ультразвукового поверхностного пластического деформирования (УЗПД) по касательной схеме к поверхности на формирование поверхностного слоя металла, его геометрию и механические свойства. Особенное внимание уделено отличиям в структуре исходных шлифов от обработанных УЗПД. Помимо металлографического анализа были проведены дюрометрические испытания по методу Виккерса. Также был проведен микроструктурный анализ полученных результатов, на основании

которого сделан вывод о том, что рассматриваемый метод поверхностной обработки образует более твердый и стабильный поверхностный слой, чем исходный.

The paper analyses the effect of ultrasonic surface machining process (USM) in the direction of introducing vibrations tangentially to the surface on the formation of surface layer of the metal, its geometry and mechanical properties. Particular attention paid to identification of the nature of the percentage ratio of differences in controlled values between processed and unprocessed parts. Hypotheses based on the results of metallographic studies confirmed by the results of microhardness tests. It was concluded that the use of USM allows obtaining advanced surface layers.

В настоящее время одной из задач современного машиностроения является улучшение эксплуатационной надежности и долговечности промышленных изделий и повышение их эффективности.

Наиболее простым методом улучшения эксплуатационных свойств, получившим широкое применение, является поверхностное пластическое деформирование.

Поверхностный слой металла имеет отличные от основной массы детали структуру, механические свойства, фазовый и химический составы. Он является ответственной частью, которая подвергается наибольшим физико-химическим воздействиям, таким как: тепловое, механическое химическое и другие. В процессе эксплуатации у детали снижаются служебные свойства, которые напрямую зависят от поверхностного слоя, которому и предъявляются более высокие требования, чем к основной части металла [1].

В конкретной работе применяется метод ультразвукового поверхностного пластического деформирования (УЗПД), результатом которого прогнозируется изменение структуры и механических свойств поверхностного слоя, которые в свою очередь приведут к изменению геометрии и физико-механического состояния.

Исследования проводились на цилиндрических образцах, изготовленных из АРМКО-железа обработанных на токарном станке, режим обработки которого представлен в таблице 1. В роли деформатора выступал индентор изготовленный из твердого сплава ВК8, его рабочая часть выполнена с радиусом 5 мм. Поверхность обрабатывалась по касательной схеме ультразвукового поверхностного пластического деформирования.

Для анализа изменения микроструктуры поверхностного слоя после обработки УЗПД были подготовлены металлографические шлифы предварительно подверженные химическому травлению 4 % раствором азотной кислоты в этиловом спирте для проявления четкой зеренной структуры (рис. 1), на электронном световом микроскопе *Axiocvert 40 MAT*, с увеличением $\times 50$ с помощью программного обеспечения *AxioVision*.

Таблица 1 – Режим обработки

Нагрузка P , Н	Скорость главного движения V , м/мин	Подача S , мм/об	Радиус деформатора r , мм	Частота f , кГц	Амплитуда A , мкм	Диаметр детали d , мм
100	63	0,1	5	20	12	50

Для обработки полученных результатов применяется метод стереометрического микроанализа Салтыкова, основанный на подсчете числа элементов на единице площади двумерной структуры на шлифе (u). Единицей площади является произвольно выявленный квадрат или прямоугольник, в рамках которого производится расчет [2].

При определении числа элементов микрочастиц подсчитывают три основных параметра: x – сечения, целиком попавшие внутрь участка шлифа, ограниченного квадратом, y – сечения, пересеченные данным квадратом и z – сечения, на которые попали точки вершин квадрата.

Определение вышеупомянутого числа u элементов микрочастиц производится по формуле 1 [2]:

$$u = x + 0,5 * y + 0,25 * z. \quad (1)$$

Расчет числа элементов структуры на единице площади шлифа исходной поверхности и после УЗПД приведены на рисунке 1.

Для исходного состояния образца параметры $x = 13$, $y = 23$, $z = 0$, тогда $u_{исх}$:

$$u_{исх} = 13 + 0,5 * 23 + 0,25 * 0 = 24,5.$$

Для обработанного состояния образца параметры $x = 17$, $y = 20$, $z = 0$, тогда $u_{обр}$:

$$u_{обр} = 17 + 0,5 * 20 + 0,25 * 0 = 27.$$

Таким образом процентное соотношение между исходным состоянием и после УЗПД составило 10,2 %, это свидетельствует о том, что ультразвуковое поверхностное пластическое деформирование повлияло на микроструктуру АРМКО-железа таким образом, что плотность зерен в структуре увеличилась, на основании чего можно предположить, что твердость поверхностного слоя после УЗПД повысилась.

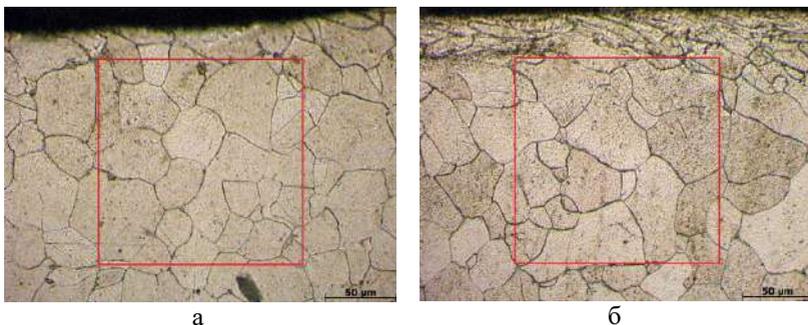


Рисунок 1 – Подсчет числа элементов структуры на единице площади шлифа до обработки (а) и после обработки (б)

На рисунке 1 представлены металлографические картины, на которых прослеживается различия геометрических размеров, формы и упорядоченности зерен в поверхностном слое после поверхностного пластического деформирования. В исходном состоянии микроструктура представляет собой хаотичную, разнородную структуру с большими зернами. А исходя из полученной картины после обработки (рис. 1, б) наблюдается направленность зерен в поверхностном слое под углом в соответствии с направлением обработки по касательной схеме УЗПД.

Рассматривая геометрические размеры зерна наблюдается его уменьшение в обработанной структуре, что свидетельствует об образовании более плотноупакованной микроструктуры. Для сравнения средний размер зерна в обработанном шлифе составил 18 мкм, а в необработанном 21 мкм, что в процентном соотношении на 16,6 % меньше.

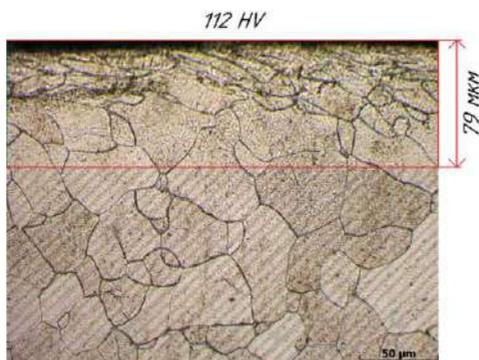


Рисунок 2 – Глубина поверхностного слоя после УЗПД

Чтобы оценить изменения механических свойств проводились дюрOMETрические испытания по методу Виккерса на установке *Wolpert*

Group 402 MVD, где в качестве индентора выступала четырехгранная алмазная пирамидка. Результаты подтвердили гипотезу о повышении твердости в поверхностном слое, таким образом до обработки значение микротвердости составило 89 *HV*, а после обработки 112 *HV*.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- применение ультразвукового поверхностного пластического деформирования по касательной схеме внедрения деформатора позволяет формировать поверхностный слой, с упорядоченной, плотной микроструктурой;

- УЗПД в случае с АРМКО-железо позволило создать поверхностный слой толщиной до 79 мкм с повышенной твердостью по Виккерсу составившей 112 *HV*, что на 25,8 % больше, чем в исходном состоянии.

Литература:

1. *Попова В.В.*, Поверхностное пластическое деформирование и физико-химическая обработка: Учебное пособие по дисциплине «Процессы и операции формообразования» для студентов всех форм обучения направления подготовки 151900 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2013. – 98 с.

2. *Салтыков С.А.*, Стереометрическая металлография. – М.: «Металлургия», 1976. – 400 с.

РЕЗОНАНСНЫЙ РЕГУЛЯТОР С КОМПЕНСАЦИЕЙ ЗАДЕРЖКИ ПО ВРЕМЕНИ

В.О. Рахвалов, О.В. Нос

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, rahvalov.sl@mail.ru

Научный руководитель: Нос О.В., д.т.н., доцент

Резонансные регуляторы широко используются для уменьшения пульсаций напряжений и токов в трехфазные системах с силовыми электронными преобразователями. Техническая реализация резонансного регулятора на базе DSP приводит к появлению задержки по времени из-за эффекта дискретизации, которая вызывает запаздывание по фазе и является причиной снижения запасов устойчивости системы. В докладе описаны модифицированные структуры резонансного регулятора для исключения задержки по времени для данного случая.

The resonant controllers are widely applied to reduce voltage and current ripples in three-phase systems with power electronic converters. The implementation of a digital processor as a resonant controller implies a time delay due to the sampling effect, which produces in a phase lag and causes a decrease in system stability. The paper presents a modification of the resonant controller to avoid time delay for a given case.

В настоящее время пропорционально-резонансные (ПР) и пропорционально-интегрально-резонансные (ПИР) регуляторы широко используются в трехфазных системах с силовыми электронными преобразователями, например, в автономных четырехпроводных системах генерации электроэнергии с инвертором напряжения, высокоточных электроприводах, активных силовых фильтрах и др.

Для получения передаточной функции резонансной составляющей необходимо перейти к двухфазной системе координат d-q с ориентацией по опорному вектору на основании преобразования Парка [1].

Основой для резонансного компонента служит классическое интегрирующее звено

$$W_{DC}(s) = \frac{K_I}{s}$$

Применяя метод обратного преобразования Парка по отношению к данной передаточной функции, получим следующее выражение [2]:

$$W_{\alpha\beta}(s) = W_{dq}(s + i\omega_0) + W_{dq}(s - i\omega_0)$$

в результате чего окончательно получаем:

$$W_R(s) = \frac{2K_I s}{s^2 + \omega_0^2} \quad (1)$$

где K_I – коэффициент интегрального усиления; ω_0 – резонансная частота; s – оператор Лапласа.

Использование нескольких резонансных блоков вместе, настроенных таким образом, чтобы они резонировали с желаемыми частотами, может исключить наличие гармоник в трехфазных переменных и соответствовать обычному интегральному регулятору в частотной области.

Принимая во внимание тот факт, что на вход резонансного регулятора подается синусоидальный сигнал, временная зависимость выходного сигнала регулятора может быть получена путем использования обратного преобразования Лапласа. [3]

$$y(t) = L^{-1}\{W_r(s)L\{\sin\omega_0\}\} = \frac{1}{2}t\sin\omega_0 t$$

$$y(t) = L^{-1}\{W_r(s)L\{\cos\omega_0\}\} = \frac{1}{2}\left(\frac{\sin\omega_0 t}{\omega_0} + t\cos\omega_0 t\right)$$

Как можно наблюдать в вышеуказанных выражениях, выходные сигналы также являются синусоидальными, но их линейно возрастающие пиковые значения равны половине аналогичной входной величины.

Резонансный регулятор в пространстве состояний может иметь две временные модели: непрерывную модель и дискретную модель. В первом случае для получения временной характеристики регулятора осуществляется замена оператора Лапласа на дифференциальный оператор.

Для преобразования (1) во временную область используется обыкновенное дифференциальное уравнение:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \omega_0^2 y = 2K_i \frac{du}{dt} \quad (2)$$

Векторно-матричная форма записи (2) со скалярными входными и выходными сигналами имеет следующий вид [3]:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx \end{cases} \quad (3)$$

где $x = (x_1 x_2)^T$ – вектор столбец состояния;

$A = \begin{pmatrix} 0 & \omega_0 \\ -\omega_0 & 0 \end{pmatrix}$ – собственная матрица;

$B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ – матрица при скалярном входе;

$C = (0 \quad 2K_i)$ – матрица выхода.

Дискретная модель же имеет отличительные свойства при построении резонансного регулятора на базе цифрового процессора. Передаточная функция дискретной модели имеет следующий вид:

$$\begin{cases} x(k+1) = A_d x(k) + B_d u(k) \\ y(k) = Cx(k) \end{cases}$$

Представление входного сигнала резонансного регулятора в виде последовательности дискретных значений вызывает задержку по времени выходного сигнала, которая равна половине периода дискретизации. Соответственно при довольно больших значениях

резонансной частоты ω_0 , качество переходных процессов ухудшается из-за снижения запасов устойчивости системы.

Для предотвращения данного недостатка вектор состояния должен быть смещен на рассматриваемый фазовый угол $\Delta = 0.5\omega_0 T_s$ по часовой стрелке [3].

Предлагаемый фазовый угол компенсации временной задержки может быть представлен в виде квадратичной матрицы в следующем виде:

$$\Phi = \begin{pmatrix} \cos \Delta & \sin \Delta \\ -\sin \Delta & \cos \Delta \end{pmatrix}$$

Предположим, что координаты состояния резонансного регулятора в непрерывной модели являются гармоническими, тогда:

$$x_1 = A \sin(\omega_0 t + \varphi), \quad x_2 = A \cos(\omega_0 t + \varphi).$$

где A – это амплитуда, φ – это сдвиг фазы

Тогда в любой момент времени матричное произведение находится как:

$$\Phi x = \begin{pmatrix} \cos \Delta & \sin \Delta \\ -\sin \Delta & \cos \Delta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$$

Используя тригонометрические формулы получаем следующие выражения:

$$x_1(t) = A \sin(\omega_0 t + \varphi + \Delta), \quad x_2(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi + \Delta)$$

Выходная переменная резонансного регулятора имеет следующий вид:

$$y = C\Phi x = 2K_i(x_2 \cos \Delta - x_1 \sin \Delta)$$

В дифференциальной форме данное выражение имеет следующий вид:

$$y = 2K_i(\cos \Delta - p^{-1}\omega_0 \sin \Delta)x_2$$

Если входное значение равно нулю, то:

$$\dot{x}_2 = -\omega_0 x_1$$

Тогда выходное значение резонансного регулятора можно также представить как

$$y = 2K_i(\cos \Delta + p^{-1}\omega_0 \sin \Delta)x_2$$

В силу того, что вторая координата состояния x_2 в соответствии с (3) связана с входным воздействием при помощи следующего выражения:

$$x_2 = \frac{p}{p^2 + \omega_0^2} u$$

Окончательные расчетные формулы для цифровой реализации резонансных регуляторов имеют следующий вид:

$$y = \frac{2K_i(p \cos \Delta + \omega_0 \sin \Delta)}{p^2 + \omega_0^2}$$

Или

$$y = \frac{2K_i(\cos \Delta - p^{-1}\omega_0 \sin \Delta)}{p^2 + \omega_0^2}$$

Которые иллюстрируют рисунок 1 и рисунок 2 соответственно.

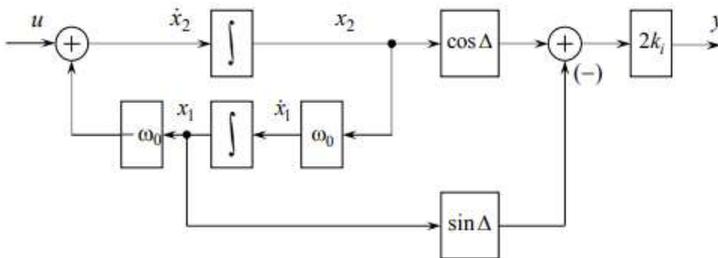


Рис. 1 – структурная схема резонансного регулятора с компенсацией задержки по времени при нулевом входном сигнале

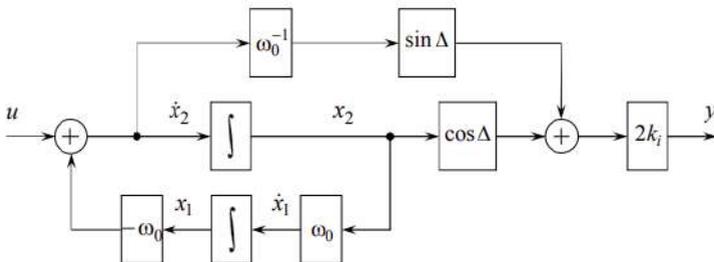


Рис. 2 – структурная схема резонансного регулятора с компенсацией задержки по времени при ненулевом начальном условии

В данной статье представлен способ компенсации задержки по времени, возникающей при использовании резонансного регулятора с

целью подавления пульсаций токов и напряжений трехфазных систем с силовым электронным преобразователем.

Литература:

1. D. N. Zmood, D. G. Holmes and G. Bode Frequency domain analysis of three phase linear current regulators// Conf. Rec. IEEE-IAS pp. 818–825 1999.

2. Нос О.В., Штейн Д.А., Г.С. Леус, Н.И. Нос, Е.Е. Абрамушкина, Е.А. Игнатъев. The Simplified Control Technique for PMSM Torque Ripple Reduction// EDM, 2020.

3. Нос О.В., Харитонов С.А. Modified Resonant Controllers with Tide Delay Compensation//2021 XVIII International Scientific Technical Conference Alternating Current Electric Drives (ACED), Ekaterinburg, Russia, May 24-27, 2021

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ НА ДЕТАЛЯХ ИЗ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

С.В. Станкевич

Новосибирский государственный технический университет,

Новосибирск, email – fvrjhl777@yandex.ru

Научный руководитель: Никитин Ю.В., к.т.н, доцент

Статья посвящена разработке модели ультразвуковой поверхностной пластической деформации деталей из железо-углеродистых сплавов при помощи универсальной программы конечно-элементного анализа ANSYS.

The article is devoted to the development of a model of ultrasonic surface plastic deformation of parts made of iron-carbon alloys using the ANSYS universal finite element analysis program.

Долговечность и надежность металлопродукции, оборудования, деталей машин, инструмента в первую очередь определяется состоянием поверхности и поверхностных слоев, являющихся местом зарождения трещин при нагружении и коррозионных процессах. Особо следует отметить роль поверхности в процессах пластической деформации.

Одним из параметров качества материала поверхностного слоя, определяющего его физико-механические свойства, являются технологические остаточные напряжения. Исследования на данную

тому имеют актуальность, поэтому целью данной работы является повышение сопротивления материала деталей упруго-пластическим деформациям путем формирования остаточных напряжений при обработке ППД.

Впервые информация об ультразвуковом способе обработки появилась в работах профессора И.И. Муханова в 1964 году. Дальнейшее развитие технологии и доказательство ее эффективности было представлено в работах Х.М. Рахимянова, Ю.В. Холопова и других [1, 2, 3, 4, 5]. Другое название этого способа металлообработки – безабразивная ультразвуковая финишная обработка.

Ультразвуковая обработка применяется после чистовой обработки. Ультразвуковой инструмент пластически деформирует и упрочняет поверхностный слой детали, увеличивает микротвердость, формирует сжимающие остаточные напряжения, сглаживает неровности поверхности и создает в итоге улучшенный поверхностный слой с регулярным характером микрорельефа.

Основными параметрами режима являются: усилие прижима, амплитуда колебаний, скорость перемещения инструмента, подача, радиус кривизны индентора.

В работах Рахимянова Х.М. [1, 4, 5] на основе теоретических зависимостей действующих сил от параметров стержневой колебательной системы и экспериментальных данных были разработаны модель ультразвуковой обработки по схеме УЗО, а также модель напряженного состояния при этой обработке. Данные модели позволили установить взаимосвязь между кинематическими и динамическими характеристиками УЗО и параметрами единичного отпечатка, а также оценить напряженно-деформированное состояние в точках, лежащих на центральной оси очага деформации. В данных моделях приняты следующие допущения:

1. Не учитывается эффект проскальзывания инструмента по движущейся детали в процессе деформирования.
2. Поверхность в пределах одного фрагмента необходимо представить плоскостью.
3. Модель оценивает напряжения и деформации только в центральной оси деформатора.

Для более точного прогнозирования свойств поверхностного слоя необходимо представлять распределение деформаций и напряжений по всему объему очага деформации, а не только по центральной оси. Для решения данной задачи может быть использована программная система конечно-элементного анализа ANSYS.

Для построения модели ультразвуковой обработки в программе ANSYS были использованы параметры единичного отпечатка, полученные из уже существующей модели.

Описание модели УЗО

На первом этапе построения модели была рассмотрена схема формирования отпечатка от единичного удара при контакте сферы с плоскостью. Входными данными являются: 3D модель индентора, 3D модель обрабатываемой детали, величина максимального внедрения индентора в поверхность детали, диаметр сферической поверхности индентора, размерность расчетной сетки и материал детали. Кинематические параметры движения индентора устанавливаются операторами «Displacement» (перемещение) и «Velocity» (скорость).

Результаты

В качестве примера на рисунке 1 представлена, полученная с помощью разработанной модели, расчетная схема распределения интенсивности деформации в очаге деформации после внедрения деформатора диаметром 5 мм на глубину, равную 0,0025 мм.

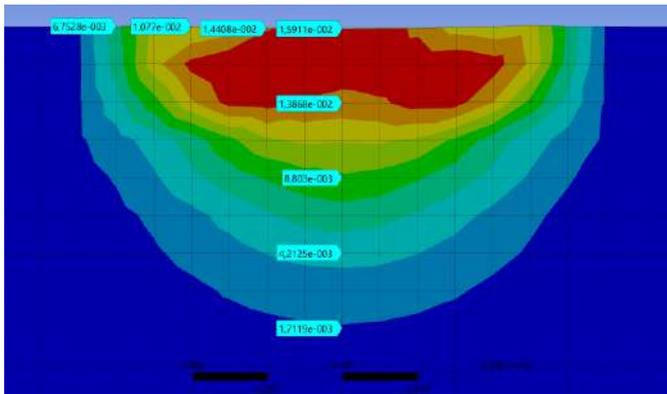


Рис. 1 — Распределение интенсивности деформации, мм/мм

Как видно на рисунке 1, данная схема позволяет оценить состояние материала во всем объеме очага деформации. Управление размером расчетной сетки позволяет управлять точностью и производительностью расчета. В дальнейшем исследования будут направлены на доработку модели в части исследования состояния материала при перекрытии очагов деформации, которое происходит при перекрытии пластических отпечатков от единичных ударов инструмента при его движении вдоль поверхности обрабатываемой детали.

Заключение

Модель ультразвукового пластического деформирования, разработанная с помощью программной системы конечно-элементного анализа ANSYS позволила расширить возможности существующих моделей ультразвуковой обработки в части прогнозирования состояния материала в объеме очага деформации. Она позволяет с заданной точностью описывать напряженно-деформированное состояние в любой точке очага деформации. Применение данной модели создает новые возможности повышения качества управления процессами ультразвукового пластического деформирования.

Литература:

1. *Рахимьянов Х.М., Никитин Ю.В.* Прогнозирование состояния материала в очаге деформации при ультразвуковом поверхностном пластическом деформировании / Упрочняющие технологии и покрытия. М.: Изд-во Машиностроение, 2005. № 4. С. 41–46.
2. Технологические процессы поверхностного пластического деформирования / под ред. С.А. Зайдеса. Иркутск: Издво ИрГТУ, 2007. 404 с.
3. *Рахимьянов Х.М.* Моделирование процесса формирования регулярного микрорельефа при ультразвуковом пластическом деформировании [Текст] / Х.М. Рахимьянов // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2010. - №2. - С. 3-9.
4. *Рахимьянов Х.М.* Разработка математической модели процесса ультразвукового воздействия в схемах комбинированной обработки [Текст] / Х.М. Рахимьянов // Сборник научных трудов НГТУ Новосибирск : Изд-во НГТУ, 1998 Вып. 1 (10). – С. 95-104.
5. *Рахимьянов Х.М.* Теоретическое исследование процесса ультразвукового пластического деформирования поверхностного слоя металлов и сплавов [Текст] / Х.М. Рахимьянов // Сборник научных трудов НГТУ Новосибирск : Изд-во НГТУ, 1998 Вып. 1 (10). – С. 105-112.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ СИСТЕМОЙ ОЧИСТКИ ГАЗА НА КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

Н.А.Терпугова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Мятёж С.В. к.т.н., доцент

Рассмотрен процесс автоматизации системы очистки и сепарации газа, его контроль и повышение производительности, качества выпускаемого газа, унификации путем максимального освобождения человека от участия в процессе, а также дистанционный контроль всех параметров.

The process of automation of the gas purification and separation system, its control and improvement of productivity, the quality of the gas produced, unification by maximizing the release of a person from participation in the process, as well as remote control of all parameters is considered.

Исследование процесса очистки газа от примесей, жидкости, пыли с помощью использования системы двухступенчатой очистки газа, требующего качественного контроля и поддержания всех параметров, приводит к необходимости реализации автоматизированного управления системой с установленными требованиями к ней. [4] В основе проектирования системы стоит поддержание указанных показателей давления газа на всех входных и выходных точках оборудования и контроль уровня загрязнения пылеуловителя.

Контроль и наблюдение за давлением и уровнем загрязнения по регламенту был реализован наблюдением и ручным методом очистки пылеуловителя, с этими методами возникают сложности в их несовершенстве и не точности.

В процессе работы реализована двухступенчатая система очистки газа. [1] В качестве первой ступени очистки стоят циклонные пылеуловители, работающие на принципе использования инерционных сил для улавливания взвешенных частиц, эффективность очистки зависит от количества циклонов, и эксплуатации. Во второй ступени приняты фильтр-сепараторы, их ставят в систему последовательно после циклонных пылеуловителей.

Данная система очистки необходима станции, для предотвращения аварий, для повышения качества выходящего газа. [1].

Каждый фильтр-сепаратор и пылеуловитель снабжён датчиками давления для слежения разницы между входным и выходным

давлением, во всех пылеуловителях процесс загрязнения контролируется датчиком уровня.

Количество пылеуловителей и фильтр-сепараторов в установке определяется по упрощенной формуле N, шт.:

$$N = \frac{Q_{\Gamma}}{365 \cdot Q_{\Pi}} \quad (1)$$

где Q_{Γ} – подача газа, млрд. м³/г; Q_{Π} – пропускная способность циклонного пылеуловителя, млн. м³/сут.

В данном случае принимается по 3 аппарата работающих и по 2 резервных.

Качество очищение газа зависит от исходного газа, скорости прохождения газа в аппарате, оседание пыли и количества влаги на поверхности твёрдых веществ. После очистки, состав механических примесей в газе не должно превышать 5 мг/м³.

В процессе работы возникает улавливание механических примесей на поверхности фильтр-элемента, что приводит к возрастанию перепада давлений на фильтр-сепараторе. При достижении перепада, равного 0,04 МПа, фильтр - сепаратор нужно выключить и переключить на резервный такой же переход у пылеуловителей.

После очистки, состав механических примесей в газе не должно превышать 5 мг/м³.

Выбор исполнительных механизмов реализован в таблице 1.

Таблица 1-Технические характеристики аппаратов очистки газа

Наименование	Тип	Производительность млн м ³ /сут.	Расчетное рабочее давление, МПа	Диаметр аппарата, мм	Число циклонных элементов шт.	Максимальный дренируемый объём, м ³
Пылеуловитель мультициклонный вертикальный	ГП 167.00.000	8,2	4,9	1600	187	2,3
Газосепаратор сетчатый	ГС-2-4,0-2000	15,07	4	2000	-	16

Работа газосепаратора контролируется по разности давлений между секциями. Номинальная разность давлений - 0,044 МПа, максимальная - до 0,078 МПа. Процесс промоделирован на рисунке 1.

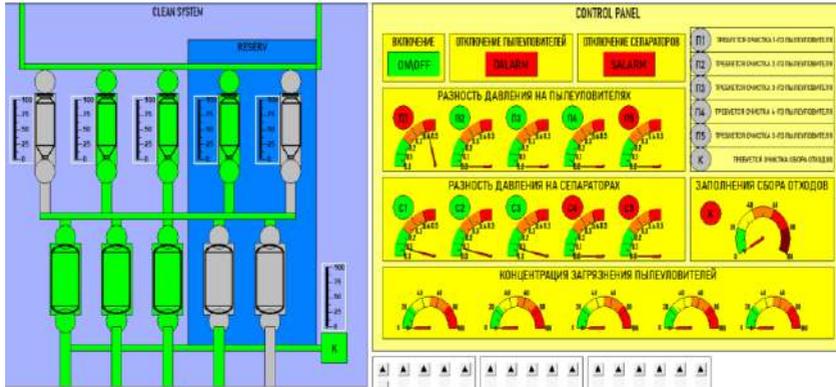


Рис.1 – Визуализация и работа системы в программе CoDeSys

Данная модель очистки газа реализована трёх уровневой системой автоматизации

- 1 уровень: произведён выбор контрольно-измерительных устройств:
 - 1) датчик давления модели AMZ 5050 для корректной работы в широком диапазоне давлений с необходимым классом взрывозащиты;
 - 2) ультразвуковой радарный уровнемер модели РИЗУР-2090, для измерения отстоя загрязнений, бесперебойной работы системы, динамикой наполнения загрязнений;

2 уровень: выбор модульного контроллера ПЛК NLSB-1, а также необходимый набор модулей расширения: дискретных входов NLS-16DI-CAN, дискретных выходов NLS-16DO-CAN, аналоговых входов NLS-8AI-CAN., источника питания и преобразователей интерфейсов, связанных между собой посредством шины питания, шины данных на основе интерфейса RS-485 и протокола Modbus RTU.

Для данной системы разработан алгоритм и программный код управления на языке ST для ПЛК в среде CODESYS. Визуализация программы проверена на правильность работы.

- 3) уровень: разработка автоматизированного рабочего места оператора, реализованный в пакете SCADA-системы Wonderware InTouch.

За создания управляющей программы отвечает среда программирования CoDeSys, их связь через приложение OPCLink.

Созданы экранные формы всей системы контроля в фильтр-сепараторах и пылеуловителях. Представлено развернутое описание анимированных связей и действий в соответствии с требуемым функционалом системы. Разработаны экранные формы АРМ оператора, а также создана анимация АРМ с использованием скриптов и свойств объектов. Осуществлена настройка сигнализации и архивирования данных. Произведено конфигурирование системы для отображения и квитирования тревог (алармов), а также настройки архива тревог. Реализовано использование архивных трендов для анализа истории технологического процесса.

Вывод

Данная система позволяет повысить в несколько раз производительность, и эффективность труда, усовершенствовать качество выпускаемой продукции, а также обезопасить человека от опасных факторов производства путем автоматизации данного процесса.

Увеличится рентабельность проекта, а также его эффективность, которая позволяет достичь множества преимуществ: снизить аварии, устанавливать контроль и управление давлением и конденсатом дистанционно.

Литература:

1. *Земенков Ю.Д.* Эксплуатация оборудования и объектов газовой промышленности в 2-х томах [Текст]: учебное пособие / Ю.Д. Земенков, 2008. – 1216 с.

2. *Берлин М.А.* Переработка нефтяных и природных газов [Текст]: учебное пособие / М. А. Берлин, В. Г. Гореченков, Н. П. Волков. – М.: Химия, 1981. – 472 с.

3. Измерение и контроль уровня конденсата [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.rospribor.com/questions/izmerenie-urovnya-kondensata/>– Загл. с экрана.

4. Очистка технологических газов / Под ред. Т. А. Семеновой и И. Л. Лейтеса. 2-е изд. М.: Химия, 1977. – 120с.

5. *Страус В.* Промышленная очистка газов / Пер. с англ. М.: Химия, 1981. – 124с.

6. Датчик давления [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://systempribor.ru/files/uploads/b03dbc5cf0fdc8930bfc644d8c8f9c74.pdf> – Загл. с экрана.

7. Уровнемер бесконтактный ультразвуковой РИЗУР-2090 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://videolast.ru/play/7X4J_R0fxcY– Загл. с экрана.

8. ПЛК NLSB-1 [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://www.reallab.ru/catalog/modular-plc/nlsb-1/>- Загл. с экрана.

9. Шувалов В.В., Огаджанов Г.А., Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. - М.: Химия 1991. - С. 480.

10. Основы автоматизации типовых технологических процессов в химической промышленности и в машиностроении : учеб. пособие / М. А. Трушников [и др.] ; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. - Волгоград : ВолгГТУ, 2012. - 107 с.

11. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка [Текст]: учебно-практическое пособие. – М.: ИнфраИнженерия, 2009. - 939 с.

12. Типовая структура АСУ ТП [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://foraenergy.ru/poleznye-stati/tipovaja-struktura-asu-tp/> – Загл. с экрана.

13. Приборы и средства автоматизации: Каталог. Т.5. Приборы для определения состава и свойства газа, жидкости, твердых и сыпучих веществ. Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://internet-law.ru/gosts/21994/> – Загл. с экрана. 2004. –368 с.

АНАЛИЗ СИСТЕМ С НУЛЕВОЙ ТОЧКОЙ БАЗИРОВАНИЯ

И.А. Тимофеев

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ivan1234ivan00@yandex.ru**

Научный руководитель: Верещагина А.С., к.т.н., доцент

В данной статье представлены результаты анализа систем с нулевой точкой базирования. Описан принцип работы данных систем, а также выделены основные преимущества и недостатки. Итогом статьи является рекомендации по применению приспособлений данного типа.

This article presents the results of the analysis of zero-point systems. The principle of operation of these systems is described, as well as the main advantages and disadvantages are highlighted. The result of the article is recommendations for the use of devices of this type.

С автоматизацией машиностроительных производств появляется необходимость в применении специальных приспособлений и инструментов, способных максимально повысить производительность оборудования. Как правило, под автоматизацией понимают процесс, при котором функции управления и контроля, ранее выполнявшиеся

человеком, передаются приборам и автоматическим устройствам. Станок с числовым программным управлением (ЧПУ) является примером автоматизации производства. Данные станки имеют ряд преимуществ над универсальным оборудованием, одним из таких преимуществ является повышенная точность обработки. Под точностью обработки понимают степень приближения действительных значений размеров и геометрических параметров обработанной поверхности требованиям чертежа и технических условий. Так как точность обработки зависит не только от применяемого оборудования, но и применяемой технологической оснастки, появляется необходимость в анализе систем, способных обеспечить максимальную точность, без использования большой номенклатуры специальных приспособлений, а также понять, насколько экономически-целесообразным будет их использование в зависимости от условий производства.

В качестве примера будет рассматриваться фрезерование на станках с ЧПУ в условиях мелкосерийного и единичного производства, которые характеризуются большой номенклатурой выпускаемой продукции. Фрезерное оборудование способно справляться с любыми производственными объемами и решать широкий круг задач: от создания уникальных штучных изделий до массового выпуска однотипной продукции. Обработка деталей выполняется с помощью режущего инструмента - концевых, дисковых и торцевых фрез, свёрл, где главным движением является вращение инструмента. Заготовка неподвижно закреплена на рабочей плоскости станка и совершает движение подачи, в качестве рабочих плоскостей может выступать стол станка, либо технологическая оснастка (трёхкулачковый патрон, тисы, и т.д.) [1].

Перед началом выполнения управляющей программы, необходимо учесть положение механизмов и узлов станка. В случае, если не будет произведена предварительная настройка, может произойти поломка или повреждение оборудования.

Задача взаимной ориентировки станка и заготовки решаются базированием. Базирование — это придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат [2]. При фрезеровании, базирование обеспечивает требуемое положение заготовки относительно движения подачи режущего инструмента. Базирование, так же исключает возможные смещения заготовки во время обработки. При наложении геометрических связей заготовка лишается трех перемещений вдоль координатных осей OX , OY , OZ и трех поворотов вокруг этих осей, т.е. она становится неподвижной в выбранной системе координат $OXYZ$ (рисунок 1) [1].

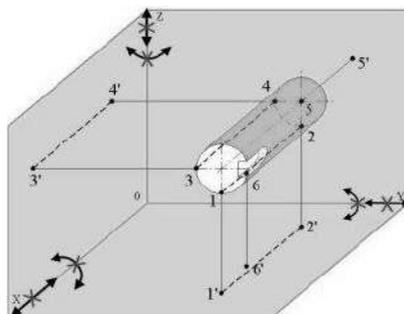


Рис. 1 – Базирование детали по 6 точкам

По причине того, что используемые приспособления не всегда могут исключить возможные смещения детали, либо сам станок обладает всего 3-мя осями для обработки, приходится выполнять обработку детали с несколькими переустановками, это приводит к тому, что погрешность установки становится слишком высока и выполнение детали с требуемой точностью становится невозможным. Погрешность — величина фактического отклонения изделия от заданных начальных характеристик. Погрешность установки основана на геометрической сумме погрешностей базирования, закрепления и приспособления (несовпадение баз, смещение детали, точность установки). Таким образом, подобрав приспособление с необходимыми характеристиками, мы сведём погрешность к минимуму.

Системы с нулевой точкой базирования представляет собой модульную конструкцию для закрепления на столах станков приспособлений, тисков или деталей, которая гарантирует высокую оперативность, надёжность крепления и точность. Системы базирования по нулевой точке обеспечивают значительное снижение затрат времени на переналадку, замену и вспомогательные операции, что очень важно при частой переналадке оборудования, при изготовлении единичных или небольших партий деталей.

На примере оснастки фирмы «AVEA Basis», рассмотрим систему, представленную на рисунке 2.



Рис. 2 - Технология закрепления заготовок с помощью соединения «ласточкин хвост»

специальному покрытию обеспечена защита от коррозии. - До 90 % уменьшения вспомогательного времени.

Таким образом, исходя из требуемых условий, был проведён анализ системы с нулевой точкой базирования. Исходя из этого анализа, было выяснено, что данные системы применимы для 3-х, 4-х и 5-ти осевых станков, а сокращение вспомогательного времени на 90% является экономически выгодным для производства. Также был разобран принцип работы и выявлены преимущества использования данной системы, основным из которых является обеспечение базирования с повторяемостью < 0,005 мм.

Литература:

1. *Халилуллин Р. Р.* Исследование и разработка измерительных циклов для компенсации погрешностей базирования на станках фрезерной группы / Р. Р. Халилуллин. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2018. — № 21 (207). — С. 96-99. — URL: <https://moluch.ru/archive/207/50646/> (дата обращения: 19.11.2021).

2. *Сосонкин В. Л., Мартинов Г. М.* Концепция числового программного управления мехатронными системами: реализация диагностической задачи управления // Мехатроника, автоматизация, управление. 2001. № 3. с. 26–29.

СРАВНЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНИЗМА И ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ

М.С. Черемискина, Е.Н. Пашков
Томский политехнический университет
г. Томск, cms1@tpu.ru

В статье рассматривается кинематика планетарного механизма. Изучены конструкция и принцип действия подшипника. Приведена теорема Уиллиса для определения передаточного числа планетарного механизма. Влияние кинематических параметров на износ.

The article considers the kinematics of the planetary mechanism. The design and operating principle of the bearing are studied. The Willis theorem for finding the gear ratio of a planetary mechanism is given. The influence of kinematic parameters on the wear.

Из курса теории машин и механизмов и теоретической механики известно, что в планетарном механизме (рисунок 1), сателлит 2

совершает сложное движение, абсолютное по отношению к стойке, относительное по отношению к водилу Н.

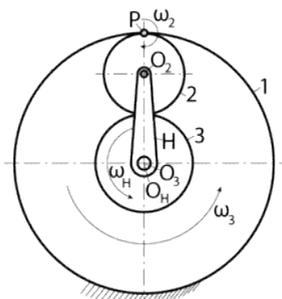


Рис. 1 – Планетарный механизм

Рассматривая кинематику для плоского механизма с n зубчатыми колесами относительную угловую скорость ω_i^H ($i = 1, 2 \dots n$) вращения любого зубчатого колеса можно определить как $\omega_i - \omega_H = \omega_i^H$ ($i = 1, 2 \dots n$). При анализе относительного движения зубчатых колес, водило Н можно считать неподвижным, а планетарный механизм – зубчатым рядом, то есть данный механизм будет многоступенчатым зубчатым механизмом с неподвижными осями. Передаточное отношение такого механизма определяется по формуле Виллиса:

$$U_{ij}^H = \frac{\omega_i - \omega_H}{\omega_j - \omega_H} = \frac{\omega_i^H}{\omega_j^H} = \pm \frac{Z_j}{Z_i}, \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

где Z_j и Z_i – число зубьев i -того и j -того колес соответственно.

Применяя данную формулу, учитывают направление вращения зубчатых колес. При вращении по часовой стрелке принимают отрицательное значение, против – положительное.

Рассмотрим конструкцию подшипника (рисунок 2).

Тогда в соответствии с теоремой Виллиса: $\frac{n_B - n_C}{n_H - n_C} = -\frac{D_H}{D_B}$,

где n_B, n_C, n_H – частота вращения внутреннего кольца, сепаратора и внешнего кольца;

D_H, D_B – диаметр окружностей расположения точек контактов тел качения на наружном и внутреннем кольцах.

Из геометрии (рисунок 3) $D_H = D_{pw} + D_w \cos \alpha, D_B = D_{pw} - D_w \cos \alpha$.

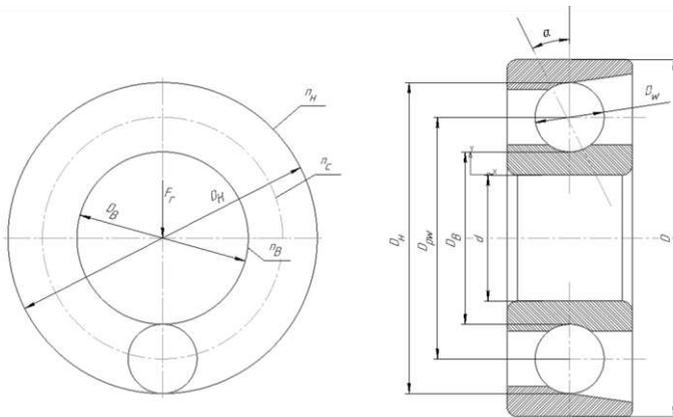


Рис. 2 – Радиально-упорный шарикоподшипник

Поскольку шарикоподшипник совершает планетарное движение, то его угловую скорость вокруг его оси определяют как: $\omega_{ш} = \frac{2(v_1 - v_0)}{D_w} = \frac{0,5\omega D_B}{D_w}$, а угловую скорость шарика относительно оси вала по формуле: $\omega_c = \frac{2v_0}{D_m} = \frac{0,5\omega D_B}{D_B + D_w} \approx 0,5\omega$. Угловая скорость сепаратора ω_c имеет прямую зависимость от диаметра шарика.

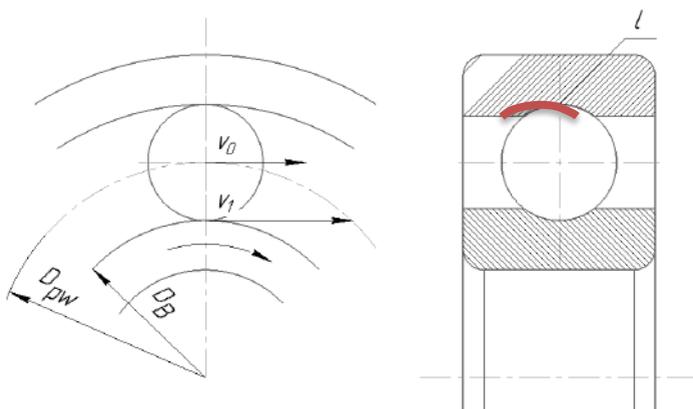


Рис. 3 – Радиальный шариковый подшипник

Большой важностью при изготовлении подшипника обладает точность изготовления шарика. Неточное изготовление шариков может приводить к ускорению или торможению сепаратора, вызывая тем самым значительное давление и силы трения, что приводит к повышению износа сепаратора и его поломке.

Шарик контактирует по дуге l , при этом скорость в точках дуги будет отличаться. Если в одной из точек дуги нет скольжения, то оно появится в другой, тем самым наряду с трением качением появляется трение скольжение, что приводит к повышению износа и потерям. Из показанного выше можно сделать вывод, о том, что, в роликовых шарикоподшипниках износ и потери меньше, так как все точки контакта шарика с поверхностью одинаково удалены от оси ролика.

Изучая конструкцию и принцип работы подшипника можно сделать вывод о сходстве его кинематики с планетарным механизмом, где роль водила выполняет сепаратор, а тела качения – сателлиты.

Литература:

1. *Мамаев А.Н.* Определение передаточного отношения планетарных механизмов /Мамаев А.Н., Балабина Т.А., Маринкин А.П.// МГТУ "МАМИ". - 2004. - С 39.
2. *Артоболевский И.И.* Теория механизмов и машин М. 1988г. – 639 с.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ

Секция ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ, БИОЛОГИЧЕСКИХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ; ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Акулов А.А., Ершов В.С., Птицын Д.А. Москва	3
Плюсин П.Е., Агаркин С.А., Буланова У.Э.	7
Алигасанова К.Л., Еремин И.В.	Томск 11
Белоусова В.Д., Зима Т.М.	Новосибирск 15
Бессонова Н.В., Зирка А.А., Решетников С.И.	Новосибирск 17
Бочанов А.Д., Грачева Д.К., Чуркин А.А.	Северск 21
Брестер А.Е., Жуков В.И., Павленко А.Н.	Новосибирск 23
Головахин В.В., Новгородцева О.Н., Брестер А.Е.	Новосибирск 26
Грачев Е.К., Карташов Е.Ю., Клопотов А.А.	Северск, Томск 30
Грачева Д.К., Чуркин А.А., Бочанов А.Д.	Северск 33
Гудыма Т.С., Крутский Ю.Л.	Новосибирск 36
Ким Е.Ю., Максимовский Е.А.	Новосибирск 38
Киселева Н.Н., Турло Е.М.	Новосибирск 42
Кладиева Е.В., Тютюньков Д.В., Турло Е.М.	Новосибирск 44
Лазаренко Н.С., Головахин В.В., Трегубова К.В.	Новосибирск 47

Лапекин Н.И., Грачев И.А., Ануфриева Т.В.	Новосибирск	50
Логинов А.В., Апарнев А.И., Уваров Н.Ф.	Новосибирск	54
Мамаев И.С., Максимовский Е.А.	Новосибирск	56
Мочалов А.Д., Апарнев А.И., Логинов А.В.	Новосибирск	60
Степанов К.И., Нижегородов Д.С.	Северск	62
Козлов М.А., Головахин В.В., Баннов А.Г.	Новосибирск, Москва	66
Попова Е.А., Афонина Л.И.	Новосибирск	68
Рейх Э.А., Макаров А.Ю.	Новосибирск	72
Родригес Л.А., Алексеев Д.В., Матейшина Ю.Г.	Новосибирск	76
Романов Д.А., Панченко В.Н.	Новосибирск	79
Савинцева Д.В., Ухина А.В., Уваров Н.Ф.	Новосибирск	82
Свистельникова Ю.В., Синельникова Ю.Е.	Новосибирск	85
Синельникова Ю.Е., Уваров Н.Ф.	Новосибирск	88
К.Д. Сушкова ¹ , Л.И. Афонина	Новосибирск	90
Н.А. Тарасова, Е.М. Турло	Новосибирск	94
Чуркин А.А., Грачева Д.К., Бочанов А.Д.	Северск	97
Шабалина С.Е., Фахрутдинова А.А., Алюнина Ю.Ю.	Новосибирск	101
Швецов Д.А., Павленко А.Н., Жуков В.И.	Новосибирск	104
Шевченко Н.С., Гусев А.А., Тихонова О.В.	Новосибирск	108
Шестаков А.А., Воробьева А.Е., Рыбкина А.С.	Новосибирск	113
Шивцов Д.М., Коскин А.П., Бедило А.Ф.	Новосибирск	117

**СЕКЦИЯ АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
СОВРЕМЕННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ:
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

Щепетков А.В., Абабков Н.В.	Кемерово	121
Александрова Н.С.	Новосибирск	126
Антропова К.А.	Новосибирск	129
Ахтамьянов Р.М.	Самара	132
Бадретдинова В.Т., Серых Т.А.	Санкт-Петербург	135
Кривопапов И.В., Ерисов Я.А., Батулин А.П.	Самара	137
Биттер С.М., Жеронкина К.А.	Томск	140
Богомолов Д.Б., Петрушков М.О., Преображенский В.В.	Новосибирск	143
Бычкова С.А.	Новосибирск	146
Гапич Д.И., Буинов А.С., Холхоев Б.Ч.	Новосибирск, Улан-Удэ	148
Грушкова А.Н., Мировой Ю.А.	Томск	152
Гумовская А.А.	Томск	155
Деулина Д.Е., Пайгин В.Д., Илела А.Э.	Томск	158
Долгова С.В.	Новосибирск	160
Егошин К.Д., Мозгачева К.Ю.	Новосибирск	165
Ерутин Д.П., Суфияров В.Ш.	Санкт-Петербург	168
Дюльдина М.В., Калиновский Д.С.	Самара	172
Снежко А.А., Щербина Е.В., Карелина Е.А.	Железногорск	176
Ковалева А.Д.	Новосибирск	178
Манцуров Н.Д., Капогузов К.Е., Яковкина Л.В.	Новосибирск	180
Масс А.В., Хабилов Р.Р., Фелюфьянова А.В.	Новосибирск	184
Миллер Ю.А., Каранский В.В.	Томск	188
Миллер Ю.А., Каранский В.В.	Томск	191
Михайлова Т.С.	Таганрог	195
Михалев Р.И., Скороход К.А.	Новосибирск	200

Мозгачева К.Ю., Егошин К.Д.	Новосибирск	204
Муравьев М.А.	Томск	207
Насенник И.Е., Иванов И.В.	Новосибирск	211
Насырова А.К., Корниенко Е.Е.	Новосибирск	214
Никулин В.Е., Левченко А.М.	Санкт-Петербург	218
Ягрушкина И.Н., Пересунько Д.А.	Самара	222
Потеряев Д.А.	Новосибирск	226
Пухова Е.А., Бушуева Е.Г.	Новосибирск	229
Руденя Е.А.	Новосибирск	233
Сафарова Д.Э.	Новосибирск	237
Сафарова Д.Э.	Новосибирск	241
Серых Т.А., Бадретдинова В.Т.	Санкт-Петербург	244
Снежко А.А., Васильева Е.К., Семенова А.Ю.	Красноярск, Железногорск	246
Федорино А.С.	Новосибирск	250
Хабиров Р.Р., Масс А.В., Гудыма Т.С.	Новосибирск	253
Царенко А.Д., Ульяновкина А.А.	Новочеркасск	256
Чжоу В.Р., Ворнакова Е.А.	Томск	260
Юргин А.Б.	Новосибирск	264

**Секция ТЕХНОЛОГИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ
ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**

Боброва О.В., Вовкудан А.В., Буравлев И.Ю.	Владивосток	268
Вовкудан А.В., Боброва О.В., Буравлев И.Ю.	Владивосток	271
Бурмакина Д.М.	Новосибирск	275
Верещак М.А.	Новосибирск	277
Абоимова О.В.	Новосибирск	279
Зеленских С.А.	Новосибирск	282
Куфельд К.О.	Новосибирск	284

Макаева Е.А., Моисеенко Д.В., Андреев В.В.	Владивосток	287
Мальцева В.А., Веселова Ю.В.	Новосибирск	291
Мурзаева А.А.	Новосибирск	293
Нестеров В.В.	Новосибирск	295
Попова Т.С.	Новосибирск	297
Острикова Т.К.	Новосибирск	300
Тарасова Т.Д., Шмыголь В.В.	Новосибирск	302
Сушкова В.С., Куликов В.Ю., Терентьев Д.С.	Новосибирск	306
Сотникова Д.А., Веселова Ю.В.	Новосибирск	308
Пряничникова А.М., Веселова Ю.В.	Новосибирск	311
Ходанова В.А.	Новосибирск	313

**Секция АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ
ПРОИЗВОДСТВ**

**Секция ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ**

Гусева В.В.	Новосибирск	316
Ерещенко Н.Д.	Новосибирск	318
Ерунцов В.В., Просолов К.А., Химич М.А.	Томск	322
Жукова К.А.	Новосибирск	326
Категова Д.А.	Новосибирск	331
Мусалина Т.Е.	Ульяновск	335
Самуль А.Г., Потапов А.А.	Новосибирск	338
Рахвалов В.О., Нос О.В.	Новосибирск	342
Станкевич С.В.	Новосибирск	347
Терпугова Н.А.	Новосибирск	351
Тимофеев И.А.	Новосибирск	355
Черемискина М.С., Пашков Е.Н.	Томск	359

НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ

**XV Всероссийская научная конференция молодых ученых,
посвященная Году науки и технологий в России
г. Новосибирск, 06-10 декабря 2021 г.**

Сборник научных трудов в 10 частях

Часть 3

Под редакцией Соколовой Д.О.

Подписано в печать 15.12.2021. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Уч.-изд. л. 21,39. Печ. л. 23,00. Тираж 100 экз. Заказ № Р-00572

Отпечатано в типографии

Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20