

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



Новосибирск
2024

Всероссийская научная
конференция молодых ученых

НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

Сборник
научных трудов

Часть 3

г. Новосибирск, 04-08 декабря 2023 г.

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

НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

**XVII Всероссийская научная конференция молодых ученых
г. Новосибирск, 04-08 декабря 2023 г.**

**Сборник научных трудов
в 11-и частях**

Часть 3

НОВОСИБИРСК
2024

УДК 62(063)
ББК 72.5я431
Н34

Н34 НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ: XVII Всероссийская научная конференция молодых ученых (г. Новосибирск, 04-08 декабря 2023 г.) // Сборник научных трудов в 11 ч. / Под ред. Соколовой Д.О. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2024.

ISBN 978-5-7782-5128-1
Часть 3: – 324 с.
ISBN 978-5-7782-5131-1

В сборнике опубликованы материалы научных исследований, представленных на XVII Всероссийской научной конференции молодых ученых.

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». В части 11 сборника представлены материалы по направлению «Экология и техносферная безопасность».

УДК 62(063)
ББК 72.5я431

ISBN 978-5-7782-5131-1 (Ч.3)
ISBN 978-5-7782-5128-1

© Коллектив авторов, 2024
© Новосибирский государственный
технический университет, 2024

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

**МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИЕ КАРКАСНЫЕ СТРУКТУРЫ
ТИПА MOF-199 И MIL-100(Fe)
В КАЧЕСТВЕ АДСОРБЕНТОВ ФУНГИЦИДОВ**

Н.А. Анистратов, Ю.М. Зайцева, А.Г. Муштаков
Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы,
г. Москва, anistratov.2013@mail.ru
Научный руководитель: Маркова Е. Б., к.х.н., доцент

В данной работе были получены образцы FeBTC и CuBTC, сформированные металлоорганическими каркасными структурами типа MOF-199 и MIL-100(Fe), что подтверждено с помощью РФА и ИК-спектроскопии. Установлены оптимальные методы получения FeBTC и CuBTC, адсорбционные характеристики и потенциальное применение в качестве адсорбентов фунгицидов.

In this work, FeBTC and CuBTC samples, formed by metal-organic frameworks MOF-199 and MIL-100(Fe) that was proved by XRD and IR-spectroscopy, were obtained. Optimal synthesis ways for FeBTC and CuBTC? Adsorption characteristics and potential applications as fungicides adsorbents were determined.

Азольные фунгициды являются наиболее широко используемыми агрохимикатами для борьбы и профилактики различных заболеваний, вызываемых патогенными грибами, благодаря их высокой эффективности, широкому спектру действия и экономичности [1].

Однако в ряде исследований было [2-4] выявлено, что данные соединения способны накапливаться в сельскохозяйственных растениях, оказывая неблагоприятное воздействие на окружающую среду.

Вышеуказанные исследования указывают на необходимость разработки эффективного метода удаления избытка азольных фунгицидов из почвы и тканей растений.

Всё больше исследований сосредоточено на изучении адсорбционных свойств металлоорганических каркасных соединений (Metal-Organic Frameworks – MOFs) – вследствие их настраиваемой большой удельной поверхности, структурного и функционального разнообразия [2]. Одним из наиболее распространенных MOF является образец CuBTC (здесь и далее BTC – 1,3,5-бензолтрикарбоксилат-анион

или тримезат-анион) – координационный полимер, полученный на основе ионов двухвалентной меди и 1,3,5-бензолтрикарбоновой кислоты, - который может быть применён для адсорбции гостевых молекул и ионов тяжелых металлов [5].

Целью работы является установление состава и строения структур типа MOF-199 и MIL-100(Fe) для дальнейшего практического применения в качестве сорбентов фунгицидов.

FeBTC получен методом обратного осаждения. Особенности данной методики являются комнатная температура синтеза, проведение синтеза без увеличения давления реакционной смеси, контроль pH реакционной среды (5,89), а также отсутствие в реакционной среде экологически вредных органических растворителей (таких как ДМФА, ДМСО, ацетонитрил и др.). CuBTC получен сольвотермальным методом с применением системы растворителей ДМФА-этанол-вода в объемном соотношении 1:1 при температуре 120°C в течение 16 часов.

Полученные образцы соответствуют структурам MIL-100(Fe) и MOF-199 для FeBTC и CuBTC соответственно (Рисунки 1 и 2).

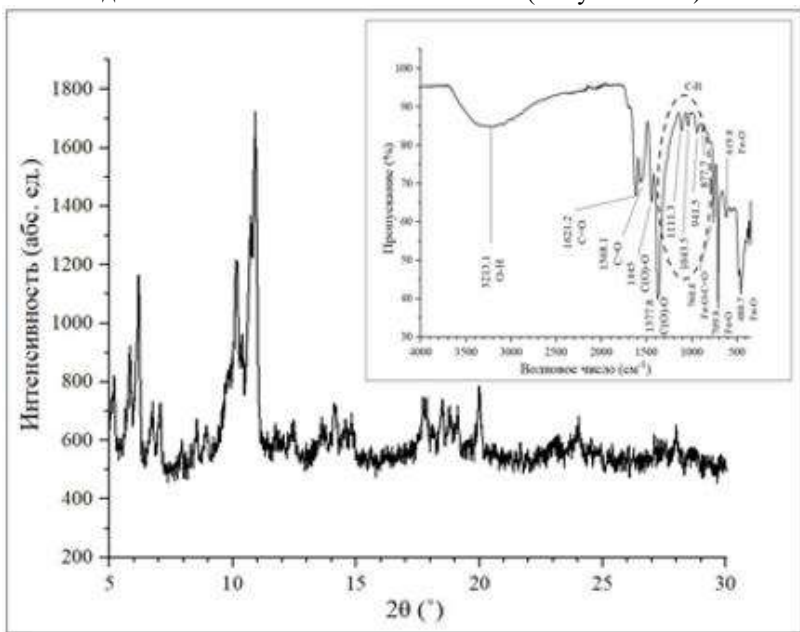


Рис. 1 – Дифрактограмма и ИК-спектр образца FeBTC

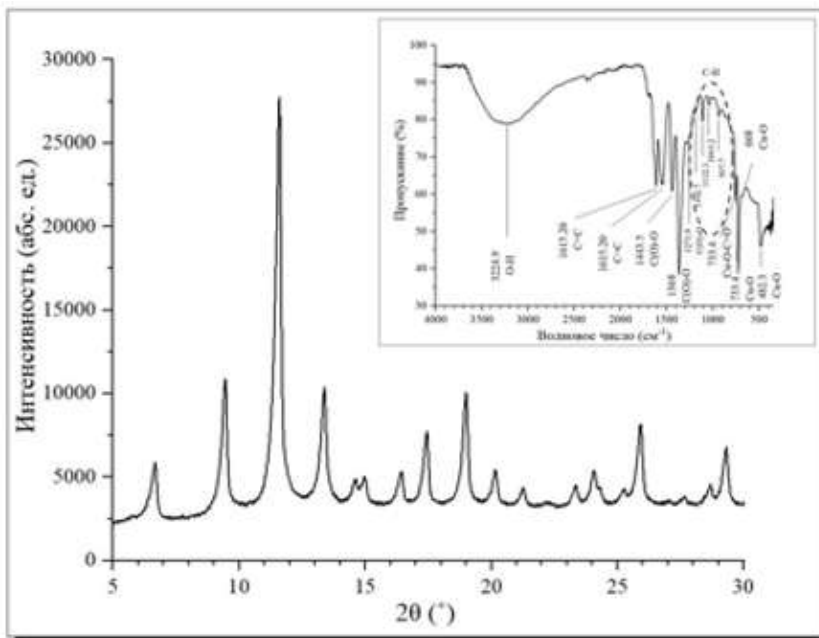


Рис. 2 – Дифрактограмма и ИК-спектр образца CuBTC

По результатам РФА рассчитаны параметры ячейки – $a = 73.43 \text{ \AA}$ и 26.33 \AA для FeBTC и CuBTC соответственно – и размер области когерентного рассеяния – $D = 38.0 \text{ нм}$ и 41.5 нм для FeBTC и CuBTC соответственно. Данный размер хорошо коррелирует с кинетическими размерами пенконазола ($10\text{-}12 \text{ \AA}$), который является примером фунгицидов. Это говорит о перспективе использования MIL-100(Fe) и MOF-199 в качестве адсорбентов фунгицидов.

На спектре образца CuBTC наблюдаются характерные для MOF-199 полосы 482.3 , 668 и 733.4 см^{-1} – связь Cu-O; 760.8 см^{-1} – медь в карбоксильной группе; 937.7 , 1043.2 , 1122.3 и 1192.7 см^{-1} – арильные связи C-H; 1368 и 1443.5 см^{-1} – карбоксильная группа; 1615.2 см^{-1} – связь -C=O в карбоксильной группе; 3224.9 см^{-1} – O-H связь, что указывает на наличие воды, которая объясняет изменение интенсивностей дифракционных пиков для CuBTC.

На ИК-спектре FeBTC наблюдаются характерные для MIL-100(Fe) полосы 480.7 , 619.8 , 709.8 см^{-1} – связь Fe-O; 760.8 см^{-1} – связь железа с карбоксильной группой; 877.7 , 941.5 , 1043.5 и 1111.3 см^{-1} – арильные связи C-H; 1377.8 и 1445 см^{-1} – карбоксильная группа; 1568.1 и 1612.2

cm^{-1} – связь $\text{C}=\text{O}$ в карбоксильной группе; 3213.1 cm^{-1} показывает колебание $\text{O}-\text{H}$ связи, что указывает на наличие воды.

В совокупности состав группировки FeBTC говорит о некотором соответствии с составом MIL-100(Fe) $[\text{Fe}^{3+}_3\text{O}^{2-}\text{X}^{1-}(\text{C}_6\text{H}_3(\text{COO}^-)_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2] \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где X^{1-} – судя по условиям синтеза – гидроксид анион OH^- .

Благодаря высокой удельной поверхности MOF-199 и MIL-100(Fe) ($1000\text{-}1300 \text{ м}^2/\text{г}$ и $2251 \text{ м}^2/\text{г}$ соответственно), способны эффективно адсорбировать фунгициды. Помимо этого, поскольку адсорбция несет физический характер, за счет концентрирования на поверхности раздела фаз во внутриспоровом пространстве, наблюдается постепенный выход фунгицида из адсорбента [6]. Такие особенности позволяют говорить о возможности использования такого адсорбента в качестве датчика для контроля качества почвы. Стоит отметить, что MIL-100(Fe) и MOF-199 безопасны для организма человека [7-8].

В результате работы были получены образцы FeBTC и CuBTC, принадлежность которых к MOF типов MOF-199 и MIL-100(Fe) была доказана при помощи РФА и ИК-спектроскопии. Также были определены параметры кристаллической решётки и размеры области когерентного рассеяния. Помимо этого, показана эффективность использования данных MOF в качестве адсорбентов фунгицидов, что может быть использовано для контроля качества почвы.

Литература:

1. A novel magnetic double MOF composite is synthesized for removing azole fungicides economically and efficiently / *D.-D. Zhou, Z.-H. Lu, M. Chen, L.-Y. Zhuang, Y.-W. Cao, X. Liu, I. A. Senosy, Z.-H. Yang* // *Applied Surface Science*. – 2022. – Vol. 594. – P. 153441. – doi: 10.1016/j.apsusc.2022.153441.
2. Stereoselective metabolomic and lipidomic responses of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposing to chiral triazole fungicide tebuconazole / *L. Zhao, Y. Zhang, L. Wang, X. Liu, J. Zhang, Z. He* // *Food Chemistry*. – 2022. – Vol. 371. – P. 131209. – doi: 10.1016/j.foodchem.2021.131209
3. Occurrence, fate and ecological risk of five typical azole fungicides as therapeutic and personal care products in the environment: a review / *Z. F. Chen, G. G. Ying* // *Environment International*. – 2015. – Vol. 84. – P. 142-153. doi: 10.1016/j.envint.2015.07.022
4. Toxic mechanism of three azole fungicides and their mixture to green alga *Chlorella pyrenoidosa* / *Q. Y. Nong, Y. A. Liu, L. T. Qin, M. Liu, L. Y. Mo, Y. P. Liang, & H. H. Zeng* // *Chemosphere*. – 2021. – Vol. 262. – P. 127793. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127793

5. The current status of MOF and COF applications / R. Freund, O. Zaremba, G. Arnauts, Prof. Dr. R. Ameloot, G. Skorupskii, Prof. Dr. M. Dincă, Dr. A. Bavykina, Prof. Dr. J. Gascon, A. Ejsmont, Prof. Dr. J. Goscianska, Dr. M. Kalmutzki, Dr. U. Lächelt, Dr. E. Ploetz, Dr. C. S. Diercks, Prof. Dr. S. W. Angewandte // *Chemie International Edition*. – 2021. – Vol. 60, iss 45. – P. 23975-24001. – doi: 10.1002/anie.202106259.

6. Iron-based porous metal–organic frameworks with crop nutritional function as carriers for controlled fungicide release / Y. Shan, L. Cao, B. Muhammad, B. Xu, P. Zhao, C. Cao, Q. Huang // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2020. – Vol. 566. – P. 383-393. – doi: 10.1016/j.jcis.2020.01.112.

7. Encapsulation of Imazalil in HKUST-1 with Versatile Antimicrobial Activity / H. Dong, Y. He, C. Fan, Z. Zhu, C. Zhang, X. Liu, K. Qian, T. Tang // *Nanomaterials*. – 2022. – Vol. 12, iss. 21. – doi: 10.3390/nano12213879.

8. Metal–organic framework MIL-100(Fe) for artificial kidney application / Yang, C.-X., Liu, C., Cao, Y.-M., & Yan, X.-P // *RSC Adv*. – 2014. – Vol. 4, iss. 77. – P. 40824–40827. – doi: 10.1039/C4RA05111D.

ПОЛУЧЕНИЕ ТРИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ В СИСТЕМЕ PT-RH-IR ТЕРМИЧЕСКИМ РАЗЛОЖЕНИЕМ ДВОЙНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ СОЛЕЙ [Pt(NH₃)₅Cl][Rh_xIr_{1-x}(NO₂)₆]

П.В. Аршавская^{1,2}, П.Е. Плюснин^{1,2}

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

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

Научный руководитель: Плюснин П.Е., к.х.н.

В данной работе произведен синтез двойных комплексных солей и их твердых растворов, состава [Pt(NH₃)₅Cl][Rh_xIr_{1-x}(NO₂)₆], где x=0–1. Методами ТГА, РФА, ИК-спектроскопии и элементного анализа изучены различные физикохимические свойства полученных соединений. Показано, что конечными продуктами термолитиза ДКС и их твердых растворов являются наносплавные частицы Pt-Rh-Ir.

In this work was shown out the synthesis of double complex salts and their solid solutions, [Pt(NH₃)₅Cl][Rh_xIr_{1-x}(NO₂)₆], where x=0-1. Various physicochemical properties of the obtained compounds were studied using methods such as TG analysis, XRD, IR-spectroscopy, and elemental analysis. The present study has demonstrated that the thermal decomposition of the double complex salts and their solid solutions yields nanocrystalline particles composed of Pt, Rh, and Ir.

Для нейтрализации автомобильных выхлопных газов применяют трехмаршрутные катализаторы. Такие катализаторы предназначены для одновременного превращения CO , C_xH_y и NO_x в CO_2 , H_2O и N_2 . В качестве активных компонентов в них применяют палладий или платину для окисления продуктов неполного сгорания топлива и родий для восстановления оксидов азота. Основная проблема использования трехмаршрутных катализаторов связана с относительно быстрой дезактивацией, происходящей в результате длительного высокотемпературного воздействия. Повышение термической стабильности этих катализаторов возможно, если металлические компоненты будут распределены на поверхности носителя в виде сплавных мелкодисперсных частиц – наносплавов. Одним из перспективных способов получения наносплавов, в том числе на поверхности оксидных носителей является термолиз двойных комплексных солей (ДКС).

В данной работе проведен синтез и исследование физико-химических свойств ДКС состава $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}][\text{Rh}_x\text{Ir}_{1-x}(\text{NO}_2)_6]$, где $x=0-1$. Соединения такого типа позволяют достаточно просто задавать определенное соотношение компонентов в синтезируемых триметаллических сплавах. Изучены процессы термического разложения ДКС в различных газовых атмосферах, приводящие к образованию сплавных частиц. Установлено влияние условий проведения процессов термолиза ДКС на фазовый состав и размер полиметаллических частиц. Показана возможность создания сплавных металлических частиц с заданным соотношением металлов Pt, Rh и Ir в том числе на оксидных носителях. Синтезированные наносплавы исследованы методом РФА. Активность и стабильность полученных каталитических композиций исследованы в модельных реакциях окисления CO и гидрогенолиза $\text{C}-\text{C}$ связи.

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ФТОРИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК АЗОТСОДЕРЖАЩИМИ ГРУППАМИ НА СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА

Ю.А. Ахмадулина^{1,2}, В.И. Сысоев², А.В. Окотруб²

¹Новосибирский государственный технический университет,
² Институт Неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН
г. Новосибирск, yulia.akhmadulina@vandex.ru
Научный руководитель: Сысоев В.И., к.х.н., с.н.

В данной работе представлена химическая процедура модификации одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) азотсодержащими группами для применения в газовых сенсорах. Тестирования влияния влажности на проводимость исходных и ковалентно модифицированных ОУНТ показали хорошую стабильность материалов. В результате функционализации поверхности ОУНТ происходит изменение характера кривой отклика и регенерации. Все датчики работают при комнатной температуре.

This work presents a chemical procedure for modification single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) with nitrogen-containing groups for use in gas sensor. Tests of the effect of humidity on the conductivity of the original and covalently modified SWCNTs showed good stability of the materials. Functionalization of the SWCNT surface resulted in a change in the nature of the response curve and regeneration. All sensors operate at room temperature.

Углеродные нанотрубки (УНТ) обладают уникальными свойствами, что делает их пригодными для применения в различных областях деятельности. В настоящее время мониторинг загрязнения окружающей среды, контроль качества воздуха и контроль процессов на предприятиях являются актуальными вопросами, для решения которых возникает необходимость создания чувствительных газовых датчиков.

УНТ являются перспективной основой для создания газовых сенсоров, благодаря своим сорбционным и электрохимическим характеристикам [1]. Представляя собой устройство, избирательно реагирующее на конкретный аналит, газовый датчик может использоваться для определения низких концентраций легковоспламеняющихся, взрывоопасных или токсичных газов, контроля влажности воздуха, а также мониторинга загрязнения окружающей среды [2]. В данной работе в качестве датчика влажности используются одностенные УНТ (ОУНТ) в форме тонких пленок. Для придания ОУНТ свойств, необходимых для конкретного применения, целесообразно применять процедуру модификации с целью адаптации чувствительности и селективности сенсоров к заданным анализам.

В работе представлена химическая процедура для ковалентной функционализации ОУНТ, которая заключается в замещении фтор-групп на аминогруппы, поскольку прямое аминирование ОУНТ приводит к присоединению небольшого количества азот-содержащих групп к крайевым атомам углерода. Двухступенчатая функционализация включает в себя фторирование ОУНТ, которое проводилось при комнатной температуре с использованием смеси BrF_3 и Br_2 в качестве фторирующего агента и последующий отжиг фторированных ОУНТ (F-ОУНТ) в атмосфере аммиака при температурах 200, 400 и 600°C.

Полученные образцы были охарактеризованы с помощью таких методов анализа как инфракрасная (ИК) спектроскопия; рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) и спектроскопия комбинационного рассеяния света. ИК-спектроскопия показывает, что на первом этапе функционализации произошло присоединение фтор-групп, а при дальнейшем аминировании – дефторирование ОУНТ и замещение фтор-групп на аминогруппы. Однако некоторое количество фтора осталось из-за неполного замещения на аминогруппы. По результатам РФЭС было определено, что при фторировании было присоединено 26,6% фтора, а после термической обработки при 400°C F-ОУНТ в атмосфере аммиака образец, содержит 3,7% азота и 1,3% фтора. На основании данных спектроскопии комбинационного рассеяния света, для каждого образца была рассчитана величина I_D/I_G , характеризующая дефектность графеновой структуры, которая, в свою очередь, связана с наличием функциональных групп. Результаты показывают, что после фторирования появляется большое количество sp^3 -дефектов, связанных с присоединением фтор-групп по $\text{C}=\text{C}$ -связям. Увеличением температуры отжига в аммиаке дефектность уменьшается, что связано с более эффективным удалением фтора.

Приготовление тонких пленок ОУНТ включает следующие стадии: приготовление суспензий с использованием ультразвуковой обработки в водном растворе додецилсульфата натрия; центрифугирование полученных суспензий ОУНТ для удаления нерасщепленных агломератов; вакуумное фильтрование суспензии на мембране из нитрата целлюлозы; перенос пленки на целевую подложку методом горячего прессования.

Влияние влажности на проводимость тонких пленок изучалось при циклическом воздействии влажного воздуха на образец. Стандартный цикл испытаний состоял из двух стадий: (1) воздействие влажного воздуха в течение 5 минут для записи электрического отклика, (2) регенерация сенсора посредством продува сухим воздухом 5 минут для возвращения его к исходному состоянию.

Средний относительный отклик исходных ОУНТ на воздействие насыщенных паров воды равен 7,8%; фторированных ОУНТ – 21,3%; фторированных ОУНТ, отожженных в атмосфере аммиака при 200°C – 10,2%, при 400°C – 9,7% и при 600°C – 7,0%. В соответствии с представленными результатами можно сделать вывод, что при фторировании отклик увеличивается, а при увеличении температуры аммонолиза F-ОУНТ – уменьшается. Увеличение относительного отклика пленок связан с электрическими свойствами материала и наличием специфичных адсорбционных центров, что возможно контролировать путем изменения дефектности материала. Увеличение температуры отжига в атмосфере аммиака приводит к уменьшению сигнала и изменению характера кривой отклика и регенерации. Изменение проводимости пленок ОУНТ в ответ на изменение влажности может быть связано с допированием/поляризацией нанотрубки при адсорбции молекул воды или модификации контактов между нанотрубками.

Исследование сенсорных свойств полученных образцов по отношению к влажности указывают на хорошие перспективы УНТ для создания датчиков влажности. Процедура химической модификации ОУНТ способствует увеличению относительного электрического отклика на воздействие насыщенных паров воды в 3 раза по сравнению с исходными ОУНТ, а азот-содержащими группами до 2 раз.

Литература:

1. Сенсорные свойства углеродных нанотрубок / И. В. Запороцкова, Н. П. Борознина, Ю. Н. Пархоменко, Л. В. Кожитов // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. – 2017. – Т. 20, № 1. – С. 5–21.
2. Лагутин А.С., Васильев А.А. Твердотельные газовые сенсоры // Журнал аналитической химии. – 2022. – Т. 77, № 2. – С. 100–116.

ПОЛУЧЕНИЕ СТАННАТА ЦИНКА, ДОПИРОВАННОГО МЕДЬЮ

С.А. Батавская, А.И. Апарнев, А.В. Логинов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, sabatavskaya@mail.ru
Научный руководитель: Апарнев А.И., к.х.н., доцент

Методом химического осаждения получен сложный гидроксид цинка-олова(IV)-меди(II). Методами рентгенофазового и термического анализа охарактеризованы продукты осаждения и термоллиза.

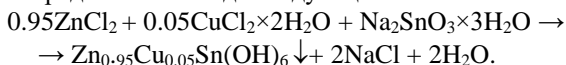
Complicated hydroxide was obtained by chemical precipitation method zinc-tin(IV)-copper(II). The products of precipitation and thermolysis were characterised by X-ray phase and thermal analysis.

Станнат цинка $ZnSnO_3$ – полупроводниковый материал *n*-типа, наряду с другими перовскитными материалами типа ABO_3 обладает рядом функциональных свойств, что обуславливает их использование в качестве анодных материалов для литий-ионных аккумуляторов, электродных материалов для суперконденсаторов, фотокатализаторов, анионообменников, обменников и адсорбентов [1–2]. В последнее время станнат цинка $ZnSnO_3$ и композиты на его основе, такие как $ZnSnO_3/ZnO$, $ZnSnO_3/SnO_2$, $ZnSnO_3/Fe_2O_3$, $ZnSnO_3/CuO$, нашли применение в качестве газочувствительных материалов для обнаружения летучих органических соединений (ацетона, этанола, *n*-бутанола, формальдегида), сероводорода, аммиака и др. [3–5].

Для получения станната цинка и нанокompозитов на его основе используют различные химические методы: гидротермальный, золь-гель синтез, твердофазный синтез из оксидов, низкотемпературный ионный обмен и др. Большинство из используемых методов получения характеризуются продолжительным временем синтеза, трудным проведением, дорогим сырьем, что ограничивает их использование. Проведение метода совместного осаждения солей является наиболее оптимальным.

В настоящей работе методом химического осаждения был синтезирован прекурсор гексагидроксо-станната цинка-меди состава $Zn_{1-x}Cu_xSnO_3$ ($x = 5$ мол.%).

Прекурсор был получен методом совместного осаждения из раствора, содержащего 0.95 моль $ZnCl_2$, 0.05 $CuCl_2 \times 2H_2O$ моль и 1 моль $Na_2SnO_3 \times 3H_2O$ при добавлении 1М раствора $NaOH$ до pH ~8. Данный процесс можно представить в виде следующей схемы:

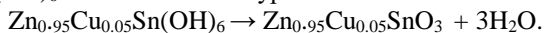


Полученный свежесажженный осадок отделяли фильтрованием от маточного раствора, промывали дистиллированной водой до достижения отрицательной качественной реакции на присутствие ионов Cl^- в растворе и высушили при температуре 100°C в течение 8 ч. Термическую обработку порошка проводили в муфельной печи SNOL 6.7/1300 при температурах 300, 500 и 800°C в течение 4 ч при каждой температуре.

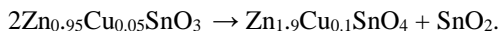
Рентгенофазовый анализ (РФА) порошков проводили на приборе Bruker D8 Advance с использованием $\text{CuK}\alpha$ -излучения. Качественную идентификацию образующихся в системе фаз проводили с помощью программы Crystallographica Search-Match, Version 2.1 и базы данных PDF2. Дифференциальный термический анализ (ДТА) проводили с помощью синхронного термоанализатора SNA 449 F/1/1 JUPITER при скорости нагрева 10 К/мин в атмосфере смеси аргона и воздуха.

По данным РФА (PDF4, cards 73-2384), продукт осаждения из водного раствора соответствует двойному гидроксиду гексагидроксо-станный цинка $\text{ZnSn}(\text{OH})_6$. С рефлексами $2\theta = 19.76; 22.86; 31.68; 32.54; 36.53; 38.38; 40.16; 45.42; 46.71; 46.82; 52.61; 52.74; 58.09; 58.23; 62.16; 66.20; 68.19; 68.39$. При этом наблюдается уширение полос и сдвиг рефлексов, что можно судить об образовании твердого раствора на основе $\text{ZnSn}(\text{OH})_6$.

По данным ДТА и термогравиметрического анализа исходного образца при нагревании на воздухе при температуре 270°C наблюдается ярко выраженный эндотермический эффект, связанный с потерей массы (~19%) в результате дегидратации сложного гидроксида $\text{Zn}_{0.95}\text{Cu}_{0.05}\text{Sn}(\text{OH})_6$ в соответствии с уравнением



По данным РФА образец представляет собой рентгеноаморфный продукт. В процессе прокаливания при 570°C наблюдается экзотермический эффект и при температуре прокаливания 800°C происходит разложение $\text{Zn}_{0.95}\text{Cu}_{0.05}\text{SnO}_3$, которое можно представить следующим уравнением



Работа выполнена в рамках Тематического плана № ТП-ХХТ-1_23.

Литература:

1. Wei, J.-L.; Jin, X.-Y.; Yu, M.-C.; Wang, L.; Guo, Y.-H.; Dong, S.-T.; Zhang, Y.-M. Electrospun ZnSnO_3/C Nanofibers as an Anode Material for Lithium-Ion Batteries. Journal of Electronic Materials. 2021. V. 50(8), 4945–4953. p. 9 doi:10.1007/s11664-021-09036-x.

2. Sim, C.-K.; Majid, S. R.; & Mahmood, N. Z. ZnSnO₃/mesoporous biocarbon composite towards sustainable electrode material for energy storage device. *Microchemical Journal*. 2021. V. 164, 105968. p.7 doi:10.1016/j.microc.2021.105968.
3. Kim, J.-H.; Mirzaei, A.; Kim, H. W.; Kim, S. S. Low Voltage Driven Sensors Based on ZnO Nanowires for Room Temperature Detection of NO₂ and CO Gases. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2019. V 11. 24172-24183. p.12. doi:10.1021/acsami.9b07208.
4. Yang, J.; Liu, J.; Xu, Y.; Li, X.; Wu, J.; Han, Y.; Zhang, X. Enhanced Selective Acetone Sensing Performance of Hierarchical Hollow SnO₂/α-Fe₂O₃ Microcubes. *Journal of Materials Chemistry C*. 2019. p.9 doi:10.1039/c9tc03879e.
5. Yu, S.; Jia, X.; Yang, J.; Wang, S.; Li, Y.; Song, H. Highly sensitive ethanol gas sensor based on CuO/ZnSnO₃ heterojunction composites. *Materials Letters*. 2021. V. 291. 129531. p.4. doi:10.1016/j.matlet.2021.129531.

ИОНООБМЕННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ВАНАДИЯ ИЗ РАСТВОРОВ КИСЛОТНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ОТРАБОТАННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

А.С. Башкирова, В.П. Тарасов, И.М. Комелин

**Национальный исследовательский технологический
университет «МИСИС»,**

г. Москва, sasha.shimanecz@mail.ru

Научный руководитель: Тарасов В.П., д.т.н., профессор

В данной работе исследован процесс кислотного выщелачивания ванадия из отработанных катализаторов нефтехимии. Достигнуто извлечение ванадия в раствор на уровне 95,7 % при использовании 18 % раствора соляной кислоты, соотношении Т:Ж = 1:3, температуры пульпы 100°C и продолжительности около 3 часов. Установлена возможность сорбционного извлечения ванадия из очищенных растворов кислотного выщелачивания отработанных катализаторов при pH 3,5 сильноосновной смолой SBA 900 в СГ форме.

The process of acid leaching of vanadium from spent petrochemical catalysts was investigated in this work. The extraction of vanadium into solution at the level of 95.7 % was achieved using 18 % hydrochloric acid solution, the ratio S:L = 1:3, pulp temperature 100°C and duration of about 3 hours. The possibility of sorption extraction of vanadium from purified solutions of acid leaching of spent catalysts at pH 3.5 by strongly basic resin SBA 900 in CF form was established.

Ванадий является рассеянным редким элементом и находится под номером 23 в периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева. По внешнему виду представляет металл серебристого цвета, похожий на сталь. По данным источника [1] массовое содержание металла в земной коре составляет $1,6 \times 10^{-2} \%$, в мировом океане – $3 \times 10^{-7} \%$, однако в свободном виде ванадий не встречается.

На рисунке 1 представлена структура применения ванадия в мире [2].

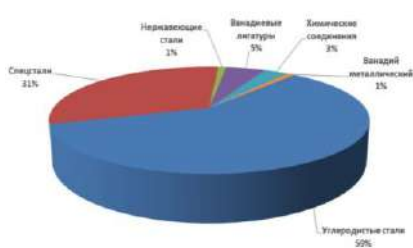


Рис.1 – Структура применения ванадия в мире

Как видно из рисунка 1, основной областью применения ванадия является применение как легирующей добавки при производстве сталей (до 90 %). Так, например конструкционные и рельсовые стали содержат 0,05–0,15 %, быстрорежущие 1-3 %, прецизионные стали и справы 2-14 % ванадия [3]. Оксид ванадия высокой чистоты используется для производства катализаторов синтеза фталевого и малеинового ангидридов – широко применяемых в химической промышленности [4].

Одним из перспективных источников ванадия являются отработанные (деактивированные) ванадиевые катализаторы, в которых содержание ценного компонента в пересчете на пентаоксид (V_2O_5) может достигать 8–10 %, что значительно выше, чем в большинстве перерабатываемого рудного сырья. Существует несколько способов утилизации отработанных катализаторов, такие как пирометаллургические (обжиг исходного сырья, хлорирование), гидromеталлургические (выщелачивание, осаждение, экстракция) и различное сочетание этих способов [5].

В качестве объекта исследований в данной работе был выбран образец отработанного катализатора нефтехимии следующего состава, %: 35,66 Al; 11,09 V; 4,44 Ni; 2,5 Mo; 0,01 W; 0,164 Si; 0,438 P.

Перед проведением экспериментов по определению режимов выщелачивания представительная проба образца отработанного катализатора подвергалась прокаливанию при температуре 400°C в течение 15 минут для удаления лишней влаги.

В качестве реагента для выщелачивания использовалась соляная (18 %) кислота. Для проведения выщелачивания подготовленные

навески катализаторов массой 100 г выщелачивались в течение 3 часов с непрерывным перемешиванием реакционной массы и постоянным нагревом. Полученная пульпа после охлаждения фильтровалась под вакуумом, и нерастворимые осадки промывались дистиллированной водой. Раствор после выщелачивания объединялся с промывным раствором, и отбиралась проба для определения содержания основных элементов и примесей.

Результаты экспериментов показали, что максимальное извлечение ванадия 95,7 % из отработанных катализаторов достигается при соотношении твердой фазы к жидкой Т:Ж = 1:3, температуре 100°C и продолжительности процесса около 3 часов.

Для очистки растворов от содержащихся в них примесей (фосфора, молибдена) исследован способ сорбционной очистки. В качестве сорбентов были исследованы слабо- и сильноосновные аниониты в СГ- и ОН- форме. Наилучшие результаты были получены при использовании анионита «Lewatit» M800 в СГ- форме (табл. 1).

Таблица 1 - Состав растворов до и после сорбции анионитом «Lewatit» M800 в СГ- форме при pH 1,1

Наименование	Концентрация, г/л						
	Al	Mo	V	Ni	P	Fe	Cr
Исходный раствор	2,70	0,57	1,70	0,45	0,151	0,250	0,161
После сорбции	0,28	0,44	1,54	0,44	0,009	0,243	0,155

Результаты показали, что анионообменная смола «Lewatit» M800 в СГ- форме сорбирует только примесь фосфора из раствора при pH 1,1. В результате проведенных исследований лучшие показатели дополнительной очистки были выявлены у катионообменной смолы TP220 TICOEP LGT SV (табл. 2).

Таблица 2 - Состав фильтрата после сорбции анионитом TP220 в Н⁺ форме

Наименование	Концентрация, г/л						
	Al	Mo	V	Ni	P	Fe	Cr
Исходный раствор	2,6	0,45	1,60	0,440	0,008	0,243	0,157
После сорбции	1,8	0,43	1,60	0,150	0,009	0,160	0,080

В результате процесса сорбции анионообменной смолой TP220 существенно снижается содержание катионов (никеля, железа, хрома и других) в исследуемом растворе.

В качестве сырья для исследований сорбционного извлечения ванадия использовались растворы, полученные в результате кислотного выщелачивания отработанного катализатора и прошедшие двухстадийную очистку от примесей. Так как в составе очищенных растворов присутствуют ванадий и молибден, то необходимо их разделение. Результаты сорбционного извлечения молибдена из очищенных растворов представлены ниже (рис. 2).

Таким образом, смола MP62WS в Cl^- форме преимущественно сорбирует молибден и подходит для очистки ванадиевого раствора от молибдена. Фильтрат после сорбционной очистки от молибдена направляется на сорбционное извлечение ванадия (рис.3).

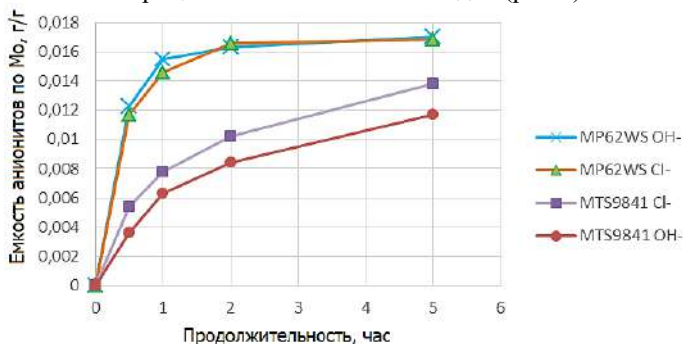


Рис.2 - Кинетическая кривая сорбции молибдена из растворов выщелачивания отработанных катализаторов (рН 1,1)

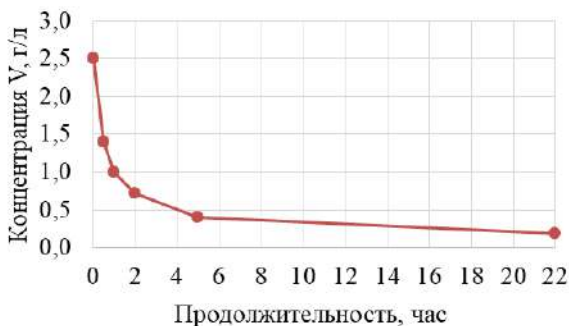


Рис.3 - Изменение концентрации ванадия в очищенном от молибдена растворе при контакте со смолой SBA 900 (рН 3,5)

По результатам сорбции в динамических условиях наиболее эффективной ионообменной смолой для сорбционного извлечения ванадия из растворов, очищенных от молибдена слабоосновным макропористым анионитом на основе третичного амина MP62WS в Cl^-

форме, представляется сильноосновный макропористый анионит на основе сополимера стирол-дивинилбензола SBA 900 в Cl^- форме.

Таким образом, исследован процесс кислотного выщелачивания ванадия из отработанных катализаторов и показана возможность его сорбционного извлечения из очищенных растворов выщелачивания. Полученный ванадийсодержащий раствор может быть пригоден для получения оксида ванадия высокой чистоты.

Литература:

1. Ванадий: свойства и применение [Электронный ресурс] // Метотехника 2018. – URL: https://www.metotech.ru/articles/art_vanadiy_2.pdf (дата обращения: 02.11.2023).

2. Обзор рынка ванадия и ванадийсодержащей продукции в России, СНГ и мире [Электронный ресурс] // Черные и легирующие металлы. – URL: <http://www.infomine.ru/research/2/7> (дата обращения: 02.11.2023).

3. Викторов В.В, Сирина Т.П, Красненко Т.И. Свойства ванадатов в водно-солевых системах и их практическое применение / Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та. – Челябинск, 2015. – 136 с.

4. Полотнюк О.Я. О создании катализатора КТ-1-СН производства фталевого ангидрида окислением о-ксилола в неподвижном слое // Катализ в промышленности. – 2012. – № 5. – С. 74-80.

5. Мизин В. Г., Рабинович Е. М. Комплексная переработка ванадиевого сырья: химия и технология / УрО РАН. – Екатеринбург, 2005. – 416 с.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ХАРАКТЕРНЫХ СТРУКТУР ПРИ КИПЕНИИ НА ГЛАДКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ КРИЗИСНЫХ РЕЖИМАХ ТЕПЛООБМЕНА

Е.А. Бурова¹, Д.А. Швецов¹, В.И. Жуков^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,
г. Новосибирск, elizavetaburova2003@mail.ru

В данной работе приводятся данные по измерению диаметров паровых столбов и длин волн Рэлей-Тейлоровской неустойчивости при кипении в слое диэлектрической жидкости Novac 7100 на гладкой поверхности.

This paper reports measurements of vapor column diameters and Rayleigh-Taylor instability wavelengths during boiling in a Novac 7100 dielectric liquid layer on a smooth surface

Диэлектрические жидкости используются для иммерсионного охлаждения чипов электронных устройств [1–2]. Температура насыщения при атмосферном давлении используемых для этих целей диэлектрических жидкостей составляет примерно $\sim 30\text{--}65^\circ\text{C}$. Температура нагрева, до которой допускается нагревать элементы электроники составляет ($\sim 80\text{--}85^\circ\text{C}$) [3]. Различные исследования, выполненные при кипении в условиях большого объема, показали высокую эффективность диэлектрических жидкостей для охлаждения элементов микроэлектроники. Применение тонких слоев жидкости позволяет уменьшить массогабаритные характеристики теплообменного оборудования и сократить расход теплоносителя. Для интенсификации теплообмена применяются капиллярно-пористые поверхности. Величина критических тепловых потоков ограничивает максимальные тепловые потоки, которые можно отвести от поверхности нагрева как в случае капиллярно-пористых поверхностей, так и в случае гладких поверхностей. Сравнительной базой для получения количественных значений величины интенсификации теплообмена и увеличения критических тепловых потоков служат данные, полученные для гладкой поверхности. В [4] приводятся результаты расчетов критических тепловых потоков по модифицированной теории Зубера [5]. Для расчета критических тепловых потоков необходимо знать длину волны Рэлей-Тейлоровской неустойчивости между паровыми столбами, образующимися в слое жидкости и диаметры паровых столбов.

Целью данной работы являлось экспериментальное исследование длин волн Рэлей-Тейлоровской неустойчивости между паровыми столбами и диаметров паровых столбов, образующихся в слое при кипении диэлектрической жидкости Novac 7100 на гладкой поверхности в предкризисных режимах теплообмена и после кризиса.

Исследования проводились на экспериментальной установке, состоящей из рабочей камеры, системы охлаждения, системы измерения давления и температуры, системы сбора и обработки данных испытаний, а также системы управления мощностью и питанием нагревателей. Рабочая камера установлена на раме, давление в рабочей камере измерялось двумя датчиками давления. Температура измерялась термопарами; пониженное давление создавалось вакуумным насосом. Расход воды в системе охлаждения рабочей камеры регулировался ротаметром. Для измерения давления использовался деформационно – мембранный датчик давления ASG Edwards. Диапазон измерения

датчика от 133 до $2 \cdot 10^5$ Па. Погрешность измерения составляет $\pm 0.2\%$ от общей шкалы. Фиксирование сигналов датчиков давления и термопар осуществляли при помощи оборудования National Instruments и обрабатывали в среде прикладной программы LabVIEW. Для визуальных наблюдений сверху и сбоку на рабочей камере имелось три смотровых окна. Два окна для визуального наблюдения и одно окно для подсвечивания. Подробное описание установки приведено в [6].

В качестве рабочего вещества использовалась коммерческая жидкость углеводород метокси-нонафторбутан под названием торговой марки $3M^{\text{TM}}\text{Novac}^{\text{TM}} 7100$ (HFE-7100). HFE-7100 представляет собой прозрачную бесцветную жидкость со слабым запахом, является диэлектриком. Физические свойства Novac 7100 вычислялись по [7] Капиллярная постоянная диэлектрической жидкости Novac 7100 при этих давлениях изменяется от $0,9$ мм до $0,85$ мм.

Эксперименты были проведены при высотах слоя (мм): $1,5$; $2,5$; 6 ; 10 ; 16 ; 25 ; 35 , при приведенных давлениях над слоем $0,022$ (50 кПа); $0,045$ (100 кПа); $0,067$ (150 кПа). Одновременно с измерениями эффективности теплообмена и критического теплового потока были проведены визуальные наблюдения и высокоскоростная видеосъемка с регистрацией характерных структур для различных режимов теплообмена и переходных процессов.

В данной работе приводятся результаты обработки визуальных наблюдений процесса пузырькового кипения жидкости в тонких слоях с высотами 6 , 10 , 16 и 35 мм. Процесс снимался на видеокамеру с частотой съемки 24 кадр/сек и 240 кадр/сек. В результате анализа собранного видеоматериала было выявлено, что в предкризисных режимах теплообмена при развитом пузырьковом кипении наблюдаются периодически появляющиеся в слое паровые столбы.

Измерение диаметров паровых столбов, образующихся при кипении на горизонтальной плоской поверхности, и расстояние между их центрами производилось с помощью учебной версии пакета прикладных программ КОМПАС-3D. За объект с известными размерами, необходимый для масштабирования изображения, был принят диаметр дна рабочей камеры $d = 120$ мм.

В слое $10,0$ мм наблюдался гидродинамический кризис, во время которого на поверхности нагрева формировались паровые столбы. Паровые столбы представляли собой крупные пузыри в слое жидкости между мелкими пузырями.

При кризисе в слое высотой $6,0$ мм структура поверхности резко изменяется: в слое жидкости наблюдаются в основном крупные пузыри, а мелкие пузыри отсутствуют.

На рисунке 1 представлены изображения кипящего слоя жидкости до кризиса и после кризиса.

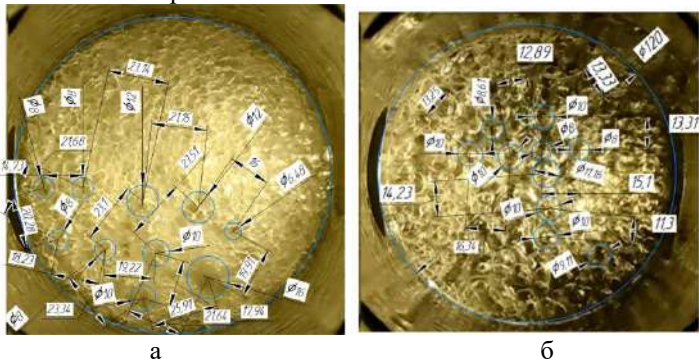


Рис. 1 – Фотографии кипящего слоя жидкости (вид сверху) в предкризисном режиме (а), $h=10,0$ мм, $q=31,92 \cdot 10^3$ Вт/м², $(T_w-T_s)=24,6$ К и после кризиса (б), $h=6,0$ мм, $q=51,35 \cdot 10^3$ Вт/м², $(T_w-T_s)=27,6$ К

Для жидкости Noves 7100 при атмосферном давлении критическая длина волны Рэлей-Тейлоровской неустойчивости равна 5,33 мм, а длина наиболее опасной волны Рэлей-Тейлоровской неустойчивости равна 9,23 мм.

Из рисунка 2а видно, что более 70% длин волн Рэлей-Тейлоровской неустойчивости между паровыми столбами больше как критической волны Рэлей-Тейлоровской неустойчивости, так же больше длины наиболее опасной волны Рэлей-Тейлоровской неустойчивости (в диапазоне от 13,7 мм до 18,6 мм).

Измерение диаметров пузырей в после кризисном режиме показывают, что более 60% попадают в диапазон между длиной критической волны Рэлей-Тейлоровской неустойчивости и длины наиболее опасной волны Рэлей-Тейлоровской неустойчивости (максимум в диапазоне от 5,74 мм до 8,94 мм) (рисунок 2б).

На рисунке 2 представлены гистограммы значений λ и d .

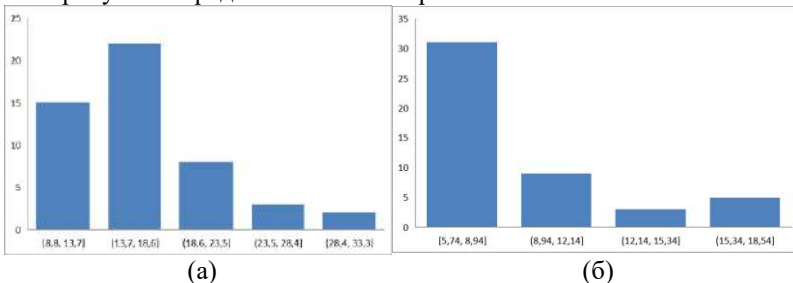


Рис. 2 – Изменение длины волны λ (а) и диаметр размера пузырей d (б)

В результате обработки визуальных наблюдений слоев кипящей жидкости на горизонтальной поверхности нагрева выявлено, что длина волны Рэлей-Тейлоровской неустойчивости в слое кипящей жидкости больше характерных размеров длин волн не кипящей жидкости, а значения диаметров пузырей в послекризисном режиме находятся в диапазоне между характерными размерами длин волн не кипящей жидкости [8].

Исследования выполнены за счёт средств гранта Российского научного фонда (проект № 23-19-00245).

Авторы выражают благодарность чл.-корр. РАН Павленко А. Н. за вклад в постановку задачи исследования и обсуждение полученных результатов.

Литература:

1. Heat transfer prediction and critical heat flux mechanism for pool boiling of NOVEC-649 on microporous copper surfaces // Cao, Z., Wu, Z., Sundén, B // International journal of heat and mass transfer. – 2019. – V. 141. – P. 818–834.
2. Manetti, L. L., Ribatski, G., de Souza, R. R., Cardoso, E. M. Pool boiling heat transfer of HFE-7100 on metal foams // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2020. – V. 113. – P. 110025.
3. Honda H. Enhanced Boiling Heat Transfer From Electronic Components by Use of Surface Microstructures // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2004. – V. 28. – P. 159–169.
4. Zhukov, V.I.; Pavlenko, A.N. Symmetry of structures under two-dimensional instability in a finite-height horizontal layer of boiling liquid // *Symmetry*2023. – 2023. – V. 15. – P. 22.
5. Zuber, N., On the stability of boiling heat transfer. Trans. – 1958. – V. 80. – P. 711–720.
6. 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 Transfer. – 2018. – V. 32. – P. 978–990.
7. Rausch, M.H., Kretschmer, L., Will, S., Leipertz, A., Fröba, A.P. Density, Surface Tension, and Kinematic Viscosity of Hydrofluoroethers HFE-7000, HFE-7100, HFE-7200, HFE-7300, and HFE-7500 // J. Chem. Eng. – 2015. – V. 254. – P. 3759–3765.
8. Hari Pandey, Hamed Mehrabi, Amanda Williams, Carolina Mira-Hernandez, Robert H. Coridan, Han Hu, Acoustic sensing for investigating critical heat flux enhancement during pool boiling on electrodeposited copper foams // Applied Thermal Engineering . – 2023. – V. 236. – P. 31.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ГИДРОКСИДА НИКЕЛЯ(II)

Е.М.Воронов, Е.В. Турло

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, egorka.voronov.2016@mail.ru**

Научный руководитель: Турло Е.В., к.п.н., доцент ХХТ

В данной научно-исследовательской работе изучается получение гидроксида никеля (II) электрохимическим путём. Затем исследуется сущность этого процесса, условия при которых происходил данный процесс и полученный продукт в конце реакции.

In this research paper, the production of nickel (II) hydroxide by electrochemical means is studied. Then the essence of this process is investigated the conditions under which this process took place and the resulting product at the end of the reaction.

Гидроксид никеля Ni(OH) представляет собой химическое соединение никеля с гидроксильными группами. Этот комплекс обычно образуется в результате реакции никеля с гидроксидом водорода.

Электрохимический синтез представляет собой процесс синтеза химических соединений с использованием электрической энергии. Этот метод обычно включает в себя применение электролиза или электрохимических реакций для преобразования веществ в более сложные соединения. Процесс электролиза часто осуществляется в электролизерах, где электроды погружаются в электролит (раствор или расплавленное вещество) и подвергаются электрическому току. Электрический ток приводит к окислительно-восстановительным реакциям, которые приводят к образованию новых веществ. Примеры электрохимического синтеза включают электросинтез органических соединений, электроосаждение металлов из их соединений, электролитическое получение хлора и кислорода, а также другие процессы. Электрохимический синтез может предложить некоторые преимущества, такие как более высокая эффективность в сравнении с традиционными методами синтеза, а также более мягкие условия реакции. Однако он также может требовать специфических условий, контроля параметров и может быть ограничен доступностью подходящих электролитов.

Гидроксид никеля имеет обширные области применения, например, использоваться как электрохимический компонент в химических реакциях, также использование в металлургической промышленности и производств красителей.

В данном эксперименте будет использоваться процесс электролиза для получения гидроксида никеля. Проводится расчет навески для растворения соли NiSO_4 в воде, а также приготовление щелочи определенной концентрации, затем приготавливается оборудование для проведения опыта. Проводится эксперимент в электролитической ячейке и после проведения реакции фиксируем данные которые были получены в опыте и дальнейшее отделение осадка и его промывание.

Работа выполнена в рамках Тематического плана № ТП-ХХТ-1_23.

Литература:

1. Вассерман И. М. //Химическое осаждение из растворов. Л. : Химия, Ленингр. отд-ние, 1980. 280с.
2. Liu B., Wang X. Y., Yuan H. T., Zhang Y. S., Song D. Y., Zhou Z. X. // J. Applied Electrochem. 1999. Vol. 29. P. 855–860.
3. Электролиз: учебно-методическое пособие / Е.А. Елисеева [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МАДИ, 2021 – 40 с.
4. Кожина Л.Ф., Захарова Т.В., Пожаров М.В.// Гидроксиды и их свойства. Учебно-методическое пособие.- Электронный ресурс.- 2015.- 29 с.

ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ МАГНИЯ В НОСИТЕЛЬ Al_2O_3 НА ПРИРОДУ СТАБИЛИЗАЦИИ КАТИОНОВ КОБАЛЬТА В НЕМ

А.Д. Гаркушина¹, А.В. Жужгов², Т.В. Ларина²

¹Новосибирский государственный технический университет

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

г. Новосибирск, nastya_garkushina@mail.ru

Научный руководитель: Ларина Т.В., к.ф.-м.н., с.н.с.

Доклад посвящен исследованию методом спектрофотометрии в ультрафиолетовой и видимой области электронного состояния катионов кобальта в Co-Mg-Al образцах, полученных гидротермальным методом синтеза.

The report is devoted to the study of the electron state of cobalt cations in Co-Mg-Al samples obtained by hydrothermal synthesis by spectrophotometry in the ultraviolet and visible regions.

В современном мире роль электронных состояний атомов d-элементов очень важна, в том числе катионов кобальта. На основе

кобальта готовят катализаторы, которые используются в различных сферах [1]. Для катализатора необходимо понимать природу активного компонента. Чтобы ее понять используют физико-химические методы анализа, в частности метод спектрофотометрии в ультрафиолетовой и видимой области (УФ-Вид спектрофотометрия). Активность катализаторов зависит от количества активных центров, поэтому кобальт наносят на вещества, имеющие высокую удельную площадь поверхности [2]. Оксид алюминия является одним из наиболее распространенных носителей для кобальтсодержащих катализаторов. [3]. В данном случае важно понимать природу состояния катионов кобальта, стабилизированных на модифицированном Mg носителе на основе Al_2O_3 .

Для данной работы был выбран гидротермальный синтез сложных Co-Mg-Al образцов, который был проведен в несколько этапов: обработка суспензий в автоклаве при $150^\circ C$ в течение 4 час.; далее сформированные гели подвергали низкотемпературной сушке длительностью 6 час. в сушильном шкафу при $110^\circ C$ до постоянного веса; затем полученные порошки прокаливали в муфельной печи при $550^\circ C$ в течение 4 час. Синтезируемые образцы были исследованы методом УФ-Вид спектрофотометрии с целью установления особенности локализации и электронного состояния катионов Co^{2+} , стабилизированных в модифицированном Mg носителе на основе Al_2O_3 . Для исследования влияния Mg на состояние катионов кобальта в Co-Mg-Al образцах все катализаторы были разделены на три серии по типу предшественника Mg и его введения в носитель на основе Al_2O_3 .

На рисунке 1 представлены УФ-Вид спектры первой серии образцов, в которых Mg был введен при синтезе в виде соли – нитрата магния.

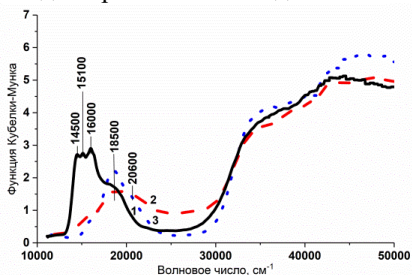


Рис. 1 – УФ-Вид спектры Co-Mg-Al образцов с нитратом магния из трех солей кобальта, обработанных при $110^\circ C$: 1 – $CoCl_2 \cdot 6H_2O$; 2 – $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$; 3 – $CoSO_4 \cdot 6H_2O$

Из анализа УФ-Вид спектров первой серии образцов с нитратом магния видно, что для хлоридного образца при $110^\circ C$ в видимой

области проявляется мультиплет полос поглощения (п.п.) с максимумами 14500 см^{-1} , 15100 см^{-1} и 16000 см^{-1} , что свидетельствует о стабилизации катионов Co^{2+} в тетраэдрической кислородной координации ($\text{Co}^{2+}_{\text{Td}}$), вероятно в виде $\gamma\text{-Co}(\text{OH})_2$. Также для данного образца наблюдается 18500 см^{-1} п.п., что свидетельствует о стабилизации части катионов кобальта в виде $\text{Co}^{2+}_{\text{Oh}}$. Для нитратного образца наблюдается две п.п. 18500 см^{-1} и 20600 см^{-1} , что свидетельствует о стабилизации катионов кобальта в искаженной октаэдрической кислородной координации ($\text{Co}^{2+}_{\text{Oh}}$). Для сульфатного образца наблюдается одна широкая п.п. 18500 см^{-1} , что свидетельствует о стабилизации катионов $\text{Co}^{2+}_{\text{Oh}}$ наиболее вероятно только в структуре $\beta\text{-Co}(\text{OH})_2$.

На рисунке 2 представлены УФ-Вид спектры второй серии образцов, в которых Mg был введён при синтезе в виде MgO

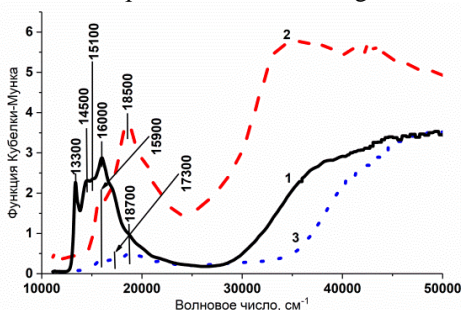


Рис. 2 – УФ-Вид спектры Co-Mg-Al образцов с MgO из трех солей кобальта, обработанных при 110°C : 1 – $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 2 – $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 3 – $\text{CoSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Из анализа УФ-Вид спектров второй серии образцов с MgO видно, что для хлоридного образца при 110°C в видимой области проявляется мультиплет п.п. с максимумами 14500 см^{-1} , 15100 см^{-1} и 16000 см^{-1} , что свидетельствует о стабилизации катионов $\text{Co}^{2+}_{\text{Td}}$, вероятно, в $\gamma\text{-Co}(\text{OH})_2$. Полоса поглощения с максимумом 13300 см^{-1} вероятнее всего свидетельствует о стабилизации части катионов Co^{2+} в структуре MgO. Для нитратного образца наблюдаются п.п. 15900 см^{-1} и 18500 см^{-1} , что свидетельствует о стабилизации катионов кобальта в виде двух состояний: $\text{Co}^{2+}_{\text{Td}}$ и $\text{Co}^{2+}_{\text{Oh}}$. Для сульфатного образца наблюдается мультиплет п.п. 15900 см^{-1} , 17300 см^{-1} и 18700 см^{-1} , что свидетельствует, вероятно, о стабилизации катионов кобальта в виде $\text{Co}^{2+}_{\text{Td}}$ в формирующейся структуре CoAl_2O_4 .

На рисунке 3 представлены спектры третьей серии образцов, в которые Mg был введён при синтезе в виде смеси MgO и ЦТА.

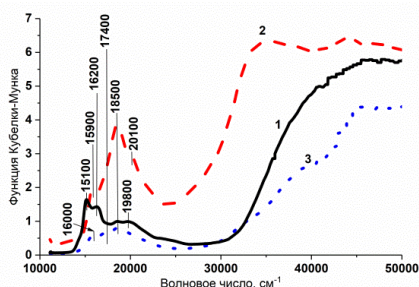


Рис. 3 – УФ-Вид спектры Co-Mg-Al образцов со смесью MgO и ЦТА из трех солей кобальта, обработанных при 110°C:
 1 – $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 2 – $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 3 – $\text{CoSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Из анализа УФ-Вид спектров третьей серии образцов со смесью MgO и ЦТА видно, что для хлоридного образца при 110°C в видимой области проявляется мультиплет п.п. с максимумами 15100 cm^{-1} , 15900 cm^{-1} и 16200 cm^{-1} , что свидетельствует о стабилизации катионов в $\text{Co}^{2+}_{\text{Td}}$, вероятно в виде $\gamma\text{-Co}(\text{OH})_2$. При этом триплет п.п. 17400 cm^{-1} , 18500 cm^{-1} и 19800 cm^{-1} свидетельствует о стабилизации катионов кобальта в виде $\text{Co}^{2+}_{\text{Oh}}$ в искаженном октаэдре. Для нитратного образца наблюдаются п.п. 16000 cm^{-1} , 18500 cm^{-1} и 20100 cm^{-1} , что свидетельствует о стабилизации катионов кобальта в виде $\text{Co}^{2+}_{\text{Td}}$ и $\text{Co}^{2+}_{\text{Oh}}$. Для сульфатного образца наблюдается п.п. 16000 cm^{-1} , 17400 cm^{-1} , 18500 cm^{-1} и 19800 cm^{-1} , что свидетельствует о стабилизации катионов кобальта в виде катионов $\text{Co}^{2+}_{\text{Td}}$, вероятно, в формирующейся структуре CoAl_2O_4 и катионов $\text{Co}^{2+}_{\text{Oh}}$ наиболее вероятно в структуре $\beta\text{-Co}(\text{OH})_2$.

Таким образом, из анализа данных метода УФ-Вид спектrophотометрии следует, что природа введенного Mg в носитель Al_2O_3 оказывает существенное влияние на электронное состояние катионов кобальта и их взаимодействие с ним. При этом высокотемпературные обработки всех серий образцов приводят к стабилизации катионов кобальта в виде оксида Co_3O_4 на поверхности носителя. Проведенный подробный анализ электронного состояния катионов кобальта в Co-Mg-Al образцах может быть очень полезным при исследовании катализаторов синтеза Фишера-Тропша до и после каталитических испытаний.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект АААА-А21-121011490008-3).

Литература:

1. Ломовицкая М.В. Применение кобальтовых катализаторов в реакции гидросилилирования // Молодой ученый. – 2018. – №51 (237). – С. 7–11.
2. Z. Pon, M. Parvari, D.B. Bukur, Topics in catalysis, 2014. №57. – P. 470-478.
- S. Rane, O. Borg, J. Yang, Applied Catalysis A: General, 2010. №388. – P. 160-167.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ В ФОСФАТНО-СОЛЕВЫХ РАСТВОРАХ

Д.И. Гладышева, О.Н. Новгородцева, Е.Г. Бушуева
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, darya.gladysheva@list.ru
Научный руководитель: Новгородцева О.Н., к.х.н., доцент

С помощью электрохимических методов исследованы титановые сплавы, в процессе коррозионных испытаний происходит образование оксидной пленки, одним из компонентов которой является TiO_2 . Образующаяся пленка либо пористая, либо частично покрывает поверхность сплавов, что приводит к возникновению питтинговой коррозии. Из исследуемых сплавов наиболее устойчивым к воздействию коррозии оказался ВТ6.

Titanium alloys have been studied using electrochemical methods; during corrosion tests, an oxide film is formed, one of the components of which is TiO_2 . The resulting film is either porous or partially covers the surface of the alloys, which leads to pitting corrosion. Of the alloys studied, VT6 turned out to be the most resistant to corrosion.

Титан и его сплавы является вторым по распространенности конструкционным материалом. Они обладают высокими коррозионными свойствами, а также благоприятным сочетанием прочностных свойств с малым удельным весом. Титановые сплавы абсолютно устойчивы во всех атмосферах, а также в пресной и морской воде [1]. Такое поведение данных материалов объясняется тем, что титан является самопассивирующимся материалом, то есть формирует устойчивый поверхностный оксидный слой (TiO_2), который защищает основной материал от общей коррозии. Благодаря этим свойствам титан и его сплавы широко применяются в различных областях

промышленности, таких как химическое машиностроение, морское судостроение, самолетостроение, а также возрастает их применение в нефтехимических отраслях промышленности [2].

Цель работы: исследовать коррозионную стойкость титановых сплавов электрохимическими методами и дать оценку стойкости исследуемых сплавов.

Исследована коррозионная стойкость титановых сплавов ВТ1-0, ВТ6 и ВТ22. Установлено, что в процессе электрохимических коррозионных испытаний на поверхности всех исследуемых образцов формируется пассивирующая пленка. Гравиметрическим методом показано, что исследуемые образцы в процессе подвергаются растворению, что можно связать либо с пористостью пленки, либо с неполным покрытием поверхности ею. Образование пленки приводит к стабилизации потенциала во времени. Коррозионные диаграммы, полученные для всех видов сплавов, показывают, что перемешивание и аэрация оказывают несущественное влияние на скорость коррозии.

Методом РЭМ установлено, что в фосфатно-солевом растворе для всех сплавов наблюдается питтинговая коррозия различной интенсивности.

С помощью ИК-Фурье спектроскопии показано, что образующаяся пленка на поверхности сплавов является оксидной. Данные РФА показывают, что оксидные пленки рентгеноаморфны.

Расчет скорости коррозии и оценка коррозионной стойкости по ГОСТ 9.908 – 85 показывают, что наиболее устойчивым для воздействия питтинговой коррозии является сплав ВТ6 [3]. Наиболее корродирующим сплавом в фосфатно-солевом растворе является ВТ22.

Работа выполнена в рамках Тематического плана № ТП-ХХТ-1_23

Литература:

1. Лучкин, Р. С. Коррозия и защита металлических материалов (структурированные и химические факторы): электронное учебное пособие // Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017. – 1 оптический диск.
2. Полькин, И. С., Егорова Ю.Б., Давыденко Л.В. Легирование, фазовый состав и механические свойства титановых сплавов // Технология легких сплавов. – 2022. – № 2. – С. 4-13.
3. ГОСТ 9.908—85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости. – Введ. 01.01.1987. – Москва : ИПК Изд-во стандартов, 1999. – 79 с.

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКООКТАНОВЫХ СПОРТИВНЫХ БЕНЗИНОВ

А.М. Глазунов, А.Г. Мозырев, Д. Худякова
ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет,
г. Тюмень, glazunovam@tyuiu.ru

Автомобильные бензины являются одним из наиболее распространенных видов топлива в мире. В настоящее время существует разнообразие методов и технологий для производства высокооктановых бензинов. Одним из наиболее распространенных методов является использование антидетонаторов и катализаторов, которые позволяют увеличить октановое число топлива. Чем выше октановое число, тем больше сжатия может выдержать топливо без детонации. Эта особенность делает высокооктановый бензин популярным выбором для спортивных и гоночных автомобилей.

Motor gasoline is one of the most common types of fuel in the world. Currently, there are a variety of methods and technologies for the production of high-octane gasoline. One of the most common methods is the use of anti-knock agents and catalysts, which increase the octane number of the fuel. The higher the octane number, the more compression the fuel can withstand without detonation. This feature makes high-octane gasoline a popular choice for sports and racing cars.

В последнее время активно проведено много исследований по созданию экологически чистых высокооктановых бензинов, что позволяет получить эффективное топливо при минимальном негативном воздействии на окружающую среду.

В настоящий момент в городе Тюмени в свободной продаже доступно только два представителя высокооктановых автомобильных бензинов АИ-100 – это G-Drive 100 (АИ-100-К5) «Компания №1» (*названия компаний зашифрованы) и бензин ЭКТО 100 (АИ-100-К5) «Компания №2». Данные образцы бензинов полностью соответствуют нормам экологического класса К5 (ЕВРО-5).

Целью работы является получение высокооктановых спортивных бензинов с добавлением высокооктановых компонентов таких как МТБЭ и толуол, и исследование полученных образцов бензинов.

Параметры качества бензина, такие как октановое число, температура вспышки, плотность, вязкость, содержание серы и других примесей, также должны соответствовать определенным стандартам качества. Некачественный бензин может повредить двигатель и негативно повлиять на экологическую ситуацию [1].

Местные и международные органы регулирования установили нормативы качества для бензина, которым он должен соответствовать.

Для обеспечения соответствия этим нормативам, регулярно проводятся тесты на качество топлива. Это гарантирует, что бензин отвечает установленным требованиям.

Для создания высокооктанового спортивного бензина использовали товарные бензины, такие как АИ-98-К5 «Компания №3», G-Drive 100 (АИ-100-К5) «Компания №1» и бензин ЭКТО 100 (АИ-100-К5) «Компания №2», которые отобраны на заправочных станциях в городе Тюмень весной 2023 года.

В качестве высокооктановых присадок в исследовании использовались химически чистые компоненты: толуол и МТБЭ.

Контроль качества бензинов производили по следующим показателям ГОСТ Р 51105-2020 «Топлива для двигателей внутреннего сгорания». Бензин неэтилированный: октановое число, фракционный состав бензина, плотность, давление насыщенных паров, а также качественным характеристикам бензинов: равномерному распределению октановых чисел по фракционному и индивидуальному составу бензина, индексу испаряемости (ИИ), количественному содержанию олефинов, изопарафинов, ароматических углеводородов, содержанию присадок.

Для исследования выбран метод анализа бензина на аппаратно-программном комплексе «Хроматэк-Кристалл-5000.2». Основным методом анализа выбрана газовая хроматография.

Дополнительно к основному исследованию проводился анализ основных параметров бензина стандартными методами согласно требованиям ГОСТ Р 51105-2020, чтобы подтвердить результаты и исключить возможные ошибки.

1. Определение фракционного состава разгонкой (ГОСТ 2177-99).
2. Давление насыщенных паров Бомбой Рейда (ГОСТ 31874 2012).
3. Определение плотности бензина ареометром (ГОСТ Р 51069-97).
4. Определение октанового числа октанометром.

Произведя анализы испытуемых образцов бензинов, проведенных как на хроматографическом комплексе "Хроматэк-Кристалл-5000.2", так и при помощи стандартных методов, получены следующие результаты (представлены результаты в качестве примера только для бензина «Компании №3. Для компаний №1 и №2 были проведены аналогичные исследования):

1. Бензин АИ-98-К5 «Компания №3»:
 - плотность – 740,6 кг/м³;
 - ДНП – 65,2 кПа;
 - октановое число – 98,2;
 - общее количество компонентов бензина – 177;

- массовый групповой углеводородный химический состав и распределение компонентов в бензине представлены в таблице 1 и на рисунке 2. График ИТК представлен на рисунке 1.

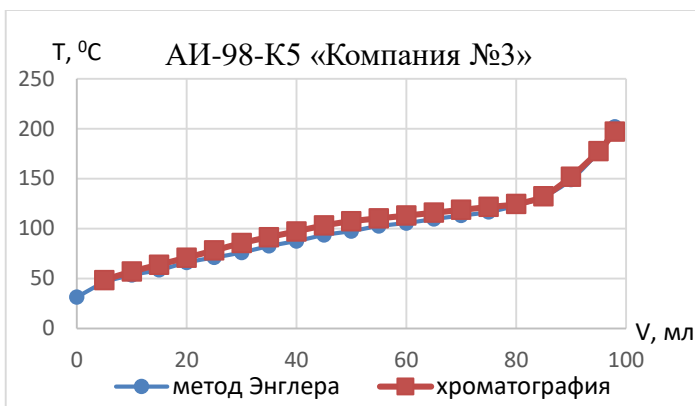


Рис. 1 – ИТК бензина АИ-98-К5 «Компания №3»

Таблица 1 – Массовый групповой состав бензина АИ-98-К5 «Компания №3»

Фракция	Содержание, % масс.	Фракция	Содержание, % масс.
C ₁ -C ₄	4,398	толуол	20,885
изо-C ₄	1,145	изо-C ₇	1,638
изо-C ₅	8,61	изо-C ₈	21,119
олефины C ₃ -C ₅	0,095	ксилолы ар. C ₈ -C ₁₀	13,105
н-пентан	1,127	изо-C ₉	0,813
МТБЭ	6,089	изо-C ₁₀	0,258
олефины C ₆ -C ₁₀	2,568	изо C ₁₁ -C ₁₃	1,037
изо-C ₆	5,766	ар.C ₁₁ -C ₁₃	0,639

Далее для исследований используем исходные бензины и высокооктановые компоненты для получения пробы спортивного бензина с высоким октановым числом.

Для каждого образца рассчитываем необходимое количество МТБЭ и толуола.

Проведя анализ полученных данных, пришли к следующим выводам:

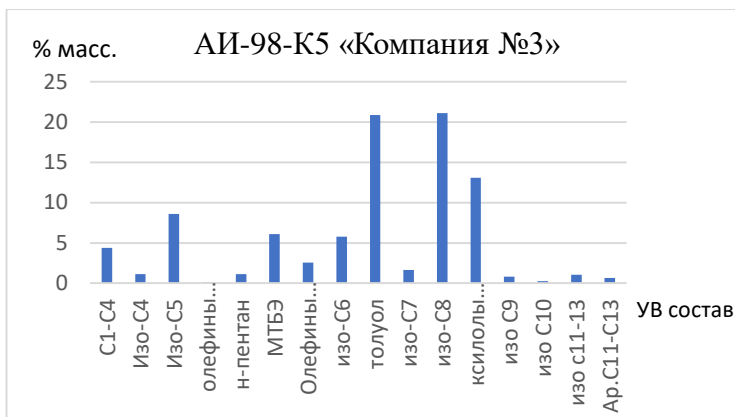


Рис. 2 – Диаграмма распределения углеводородных компонентов по фракционному составу бензина АИ-98-К5 «Компания №3»

- за основу для получения высокооктанового бензина выбраны товарные бензины, АИ-98-К5 «Компания №3», G-Drive 100 (АИ-100-К5) «Компания №1» и бензин ЭКТО 100 (АИ-100-К5) «Компания №2». Высокооктановые компоненты: МТБЭ и толуол.

- проведен анализ товарных бензинов, для выявления образцов пригодных для получения высокооктановых спортивных бензинов.

- путем добавления высокооктановых компонентов МТБЭ и толуола в испытуемые образцы бензинов АИ-98-К5 «Компания №3» и G-Drive 100 (АИ-100-К5) «Компания №1» получили высокооктановые спортивные бензины без превышения норм содержания ароматических углеводородов, соответствующих нормам экологического класса К5 (ЕВРО-5).

Литература:

1. ГОСТ 1510-1984. Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение. Общие положения : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 07 августа 1984 г. № 2776 : введен впервые : дата введения 1986-01-01 / разработан Министерством нефтяной промышленности. – Москва: Стандартинформ, 2010.

АНАЛИЗ РАБОТЫ УСТАНОВОК ПО ПРОИЗВОДСТВУ БЕНЗИНОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ПРОДУКЦИИ НЕФТЕХИМИИ

А.М. Глазунов, А.Г. Мозырев
ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет,
г. Тюмень, glazunovam@tyuiu.ru

Объектом исследования являются различные виды технологических установок каталитического риформинга, различные типы селективных растворителей ароматических углеводородов, технологические схемы экстракции ароматических углеводородов из бензинов риформинга. В работе рассматриваются назначение процесса, условия, влияющие на процесс риформинга, катализаторы, растворители экстракции и направления модернизации установок каталитического риформинга бензиновых фракций. С учётом анализа работы установок риформинга дана рекомендация к реконструкции установки.

The object of the study is various types of technological installations for catalytic reforming, various types of selective solvents for aromatic hydrocarbons, technological schemes for the extraction of aromatic hydrocarbons from reformed gasolines. The paper discusses the purpose of the process, conditions affecting the reforming process, catalysts, extraction solvents and directions for modernizing installations for the catalytic reforming of gasoline fractions. Taking into account the analysis of the operation of reforming units, a recommendation was made for the reconstruction of the unit.

Развитие автомобильного транспорта в области поиска альтернативных видов топлива привело к появлению дизельных двигателей в 1893 году, через 19 лет после появления бензинового двигателя в 1874 году и на долгое время эти два типа двигателей внутреннего сгорания стали основными. Однако с развитием технологий на автотранспорте стали появляться электродвигатели в качестве основной силовой установки.

В перспективе это приведет к снижению спроса на автомобильные бензины и встанет вопрос о дальнейшем использовании существующих мощностей по производству автомобильных бензинов. Так как основным высокооктановым компонентом автобензинов являются ароматические соединения, то вопрос о дальнейшем использовании этого компонента уже не стоит так остро.

Ароматические соединения давно известны людям и помимо использования их в качестве топлива их используют как в качестве растворителей, так и в качестве сырья в нефтехимической промышленности для производства пластмасс и волокон.

Поиск путей использования риформата, получаемого на установке риформинга [1] с учетом мировых тенденций в области использования моторных топлив и разработок в данной сфере. Изучение возможных способов и направлений использования риформата, представление технологических схем, подбор оборудования для действующей установки производства высокооктановых бензинов и оптимизация действующей технологии.

В ходе работе проанализированы различные типы установок риформинга: полурегенеративного, циклического и непрерывного действия с непрерывной регенерацией катализатора и сделан вывод, что на данный момент передовой разработкой в области каталитического риформинга являются установки риформинга бензиновых фракций разработки американской компании Honeywell UOP и Французского института нефти Axens с непрерывной регенерацией катализатора. Данный тип установок превосходит остальные как по выходу ароматических углеводородов, достигающих 68 %масс, так и по его качеству: риформат с данных установок имеет октановое число 102-104 по исследовательскому методу [2].

Данный тип установок рекомендуется использовать как при проектировании новых производств компонентов высокооктановых бензинов, так и комплексов производства ароматических углеводородов.

Следующим этапом проведен сравнительный анализ различных способов разделения катализаторов риформинга, представляющих собой смеси парафинов и ароматических углеводородов и на основании сравнения преимуществ и недостатков, выбран метод экстракции ароматических углеводородов как доказавший на практике наибольшие экономическую целесообразность и эффективность. После выбора метода разделения бензина риформинга проведено сравнение различных селективных растворителей, с целью выявления наиболее подходящего для заданных условий. По результатам сравнительного анализа физических и химических свойств селективных растворителей для усовершенствования имеющейся технологической схемы производства высокооктановых бензинов был выбран диэтиленгликоль, который по совокупности характеристик является наиболее подходящим.

На основании выбора диэтиленгликоля подобрана технологическая схема для разделения бензина риформинга на ароматические и парафиновые углеводороды. В среде программного продукта Aspen HYSYS [3] смоделирована основная колонна экстракции для разделения смесей ароматических и парафиновых углеводородов для расчета

массового расхода продуктовой смеси ароматических углеводородов и оценки применимости данного растворителя.

По итогам работы сделан вывод о том, что усовершенствование установок каталитического риформинга ориентированных на производство компонентов высокооктанового бензина путем добавления в технологическую схему секции экстракции ароматических углеводородов целесообразно. На этом основании, рекомендуется рассмотреть усовершенствование технологической схемы Комбинированной установки производства высокооктановых бензинов путем добавления секции экстракции ароматических углеводородов.

Литература:

1. Патень 59053, МПК С10G 35/09 Российская федерация. Установка для каталитического риформинга бензиновых фракций / Г. С. Фалькевич, М. В. Барильчук – № 59053; заявл. 31.07.2006; опубл. 10.12.2006.

2. А. с. 2487161 Российская Федерация, МПК С10G 59/00(2006.01), С10G 69/08(2006.01). Способ получения высокооктанового бензина / В.Б. Марышев. – № 2487161 С1; заявл. 06.10.08; опубл. 27.04.10.

3. Джонс, Т. HYSYS / Т. Джонс. - Уфа : Татнефть, 2006. - 40 с.

ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ И СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ПОСЛЕ ХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ ДИХРОМОВОЙ КИСЛОТОЙ

В.В. Головахин, А.Г. Баннов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, golovaxin-valera@mail.ru**

Научный руководитель Баннов А.Г. д.х.н., профессор

Проведено исследование влияния обработки многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) дихромовой кислотой на их химические и структурные характеристики. Различные методы, такие как просвечивающая электронная микроскопия и HAADF-STEM, используются для исследования текстурных характеристик, дефектности, степени графитизации и поверхности МУНТ. Обнаружено, что обработка дихромовой кислотой приводит к уменьшению диаметра углеродных нанотрубок и травлению графеновых слоев на их поверхности. При повышении концентрации дихромовой кислоты наблюдается большее воздействие на образец MWCNT-1020 по сравнению с образцом

MWCNT-4060. Обработка раствором дихромовой кислоты также приводит к уменьшению площади поверхности углеродных нанотрубок.

The effect of treatment of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) with dichromic acid on their chemical and structural characteristics was investigated. Various techniques such as transmission electron microscopy and HAADF-STEM are used to investigate the textural characteristics, defectivity, degree of graphitization and surface of MWCNTs. Dichromic acid treatment is found to reduce the diameter of carbon nanotubes and etch the graphene layers on their surface. As the concentration of dichromic acid increases, a greater effect is observed on sample MWCNT-1020 compared to sample MWCNT-4060. Treatment with dichromic acid solution also leads to a decrease in the surface area of carbon nanotubes.

Химическая модификация поверхности углеродных наноматериалов позволяет получать O, N-содержащие функциональные группы. Стандартных способов окисление достаточно и варьируются от кислот (HNO_3 , H_2SO_4), их смесей ($\text{HNO}_3+\text{H}_2\text{SO}_4$, $\text{HCl}+\text{H}_2\text{SO}_4$) и смесей других окислителей ($\text{KMnO}_4+\text{H}_2\text{SO}_4$) [1].

Данная работа посвящена исследованию обработки многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) дихромовой кислотой. Дихромовая кислота была получена путем растворения в воде CrO_3 различной концентрации [2]. Влияние концентрации дихромовой кислоты на изменение текстурных характеристик, элементного состава, дефектности, степени графитизации и химии поверхности МУНТ исследовалось с помощью различных физико-химических методов, таких как просвечивающая электронная микроскопия и HAADF-STEM.

Было обнаружено, что после химической обработки диаметр углеродных нанотрубок уменьшается. Это может быть вызвано травлением графеновых слоев на поверхности углеродных нанотрубок. Увеличение концентрации дихромовой кислоты приводило к уменьшению среднего диаметра УНТ. Следует отметить, что травление поверхностного графенового слоя было более сильным для образца MWCNT-1020 по сравнению с образцом MWCNT-4060. Наконец, средний диаметр углеродных нанотрубок, обработанных 6M дихромовой кислотой, был примерно одинаковый – 22 нм.

Наблюдались две основные полосы: полоса D, обусловленная образованием sp^3 -связанных атомов углерода, примерно при 1340 см^{-1} и полоса G, связанная с тангенциальными модами sp^2 -связанных атомов углерода, примерно при 1570 см^{-1} . Полоса D является двухрезонансной рамановской модой, на которую влияют дефекты в структуре графена. Эта полоса вместе с G-полосой может быть использована для характеристики материалов, чтобы проанализировать и проконтролировать структурные изменения боковых стенок нанотрубок, возникающие в результате внедрения дефектов и

присоединения различных химических веществ. Все материалы, подвергнутые функционализации показали увеличение отношения $I(D)/I(G)$ по сравнению с исходным образцом. Исключение составляет образец обработанный в 6М растворе дихромовой кислоты. Прямым доказательством более сильного окисления образцов в 6М растворе $H_2Cr_2O_7$ является наименьший средний диаметр УНТ и степень графитизации. При обработке раствором дихромовой кислоты площадь поверхности обоих типов МУНТ имеет тенденцию к уменьшению. Обычно площадь поверхности УНТ растет. Графически полученные результаты представлены на рисунке 1.

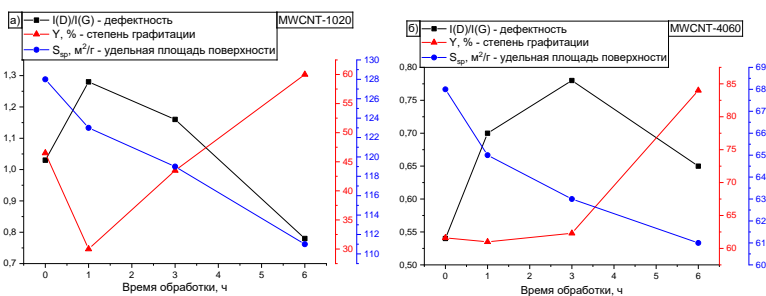


Рис. 1 – Графическое представление экспериментальных данных для: а) MWCNT-1020, б) для MWCNT-4060

Кроме того, с помощью HAADF-STEM было обнаружено наличие Cr в межслоевом пространстве МУНТ [3].

Применение растворов дихромовой кислоты приводит к изменению поверхностных и структурных характеристик, что в свою очередь положительно сказывается на электронных свойствах материала, что также показано в [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания Министерства науки и высшего образования России (FSUN-2023-0008)

Литература:

1. Saito, T.; Matsushige, K.; Tanaka, K. Chemical treatment and modification of multi-walled carbon nanotubes. // Phys. B Condens. Matter 2002, 323, 280–283, doi:[https://doi.org/10.1016/S0921-4526\(02\)00999-7](https://doi.org/10.1016/S0921-4526(02)00999-7).
2. Р.А. Лидин. Химические свойства неорганических веществ. Учебное пособие для вузов / Р.А. Лидин, В.А. Молочко, Л.Л. Андреева – под. ред. Р.А. Лидина. – М.: Химия, 2000. – 480 с.

3. Treatment of multi-walled carbon nanotubes with dichromic acid: oxidation and appearance of intercalation / V. Golovakhin, E. Y. Kim, O. Novgorodtseva, E. Maksimovskiy, A. Ukhina, A. Ishchenko, A. Bannov. – DOI 10.3390/membranes13080729. – Text : electronic // Membranes. – 2023. – Vol. 13, iss 8. – Art. 729.

**ИЗВЛЕЧЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ИЗ ОТВАЛЬНОГО ФОСФОГИПСА
АО «ВОСКРЕСЕНСКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ**

**А.С. Гончаров, А.А. Рязанцев, П.И. Иванов
Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева, г. Москва, andru8xa@gmail.com
Научный руководитель: Либерман Е.Ю., д.х.н., доцент**

Исследован процесс извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса АО «Воскресенские минеральные удобрения» способом серноокислотного выщелачивания с последующим осаждением из маточного раствора гидроксидом аммония. Установлено, что наиболее полное извлечение РЗЭ: Ce, Gd, La, Nd, Pr, Y – происходит в интервале pH 3-7.

The process of extraction of rare earth elements from phosphogypsum of JSC "Voskresensk Mineral Fertilizers" by sulfuric acid leaching followed by precipitation from the mother liquor with ammonium hydroxide is investigated. It was found that the most complete extraction of REE: Ce, Gd, La, Nd, Pr, Y – occurs in the pH range 3-7.

Вследствие роста численности населения на Земле, возникает необходимость обеспечения человечества достаточным объёмом продовольствия, что, в свою очередь, вызывает потребность в интенсификации сельского хозяйства путем рационального землепользования. Проблема истощения посевных площадей обосновывает актуальность применения удобрений NPK-триады, в частности фосфорных удобрений, для производства которых необходимо применение экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК). Побочным продуктом производства ЭФК является дигидрат сульфата кальция - фосфогипс. Так, при производстве ЭФК из апатитов и фосфоритов образуется до 5 тонн фосфогипса в пересчёте на одну тонну ЭФК. На сегодняшний день в России складировано около 13 млн тонн фосфогипса, что представляет существенную угрозу для окружающей среды [1].

Растущие темпы производства с каждым годом обостряют проблему размещения фосфогипса, что обусловлено расширением объектов хранения продукции химической промышленности и крупных городов, что ограничено отсутствием доступных площадей и ужесточением природоохранных мер.

Однако фосфогипс – продукт, обладающий внушительным потенциалом для повторного использования в различных сферах хозяйственной деятельности. Например, в развитых странах использование образующегося фосфогипса составляет около 30% (для сравнения, в России этот показатель не превышает 4%). Фосфогипс является источником редкоземельных металлов, широко применяемых в различных отраслях промышленности (радиоэлектронике, приборо- и машиностроении, металлургии, химической, стекольной и керамической промышленности и др.). Содержание редкоземельных металлов представляет интерес для их целенаправленного извлечения. Так, в зависимости от применяемой схемы производства экстракционной фосфорной кислоты: в фазу фосфогипса переходит примерно 50-70 % РЗЭ в случае применения дигидратной схемы, и до 90 % при осуществлении полугидратной технологической схемы. В настоящее время существует ряд крупных проектов по извлечению редкоземельных элементов (РЗЭ) из фосфогипса, реализуемых ГК «Росатом» и компания «Скайград» планируют реализовать проект по извлечению РЗЭ из фосфогипса, образуемого в производстве АО «Воскресенские минеральные удобрения», что, несомненно, подчеркивает актуальность данного направления.

Основным способом отчистки фосфогипса от примесей, в том числе РЗЭ, является выщелачивание минеральными кислотами. В основном, применяется сернокислотное выщелачивание, что обусловлено дешевизной и доступностью выщелачивающего реагента. Дополнительным преимуществом сернокислотного выщелачивания можно считать исключение вноса новых примесей (ионов), оказывающих отрицательное влияние при дальнейшем применении фосфогипса (например, для производства стройматериалов).

Объектом исследования являлся отвальный фосфогипс производства АО «Воскресенские минеральные удобрения». Предварительно измельченную навеску 100 г смешивали с раствором серной кислоты, (концентрация которой варьировалась в интервале 5 – 15 %_{мас.}) в массовом соотношении Т:Ж = 1:1. Время выщелачивания варьировались от 30 до 120 минут. В ходе эксперимента происходил переход РЗЭ из фосфогипса в маточный раствор, который отделяли в последствии от нерастворимого осадка на фильтре Шотта. Из полученного раствора,

обладающего $pH \sim 0,4$, проводили осаждение гидроксидов РЗЭ с помощью гидроксида аммония. Контроль за pH осуществлялся с помощью pH -метра «Аквилон».

Содержание РЗЭ определяли на оптико-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой «Agilent 5800 VDV ICP-OES» (Agilent Technologies, оборудованным инертной системой ввода проб: обзор плазмы – аксиальный; количество реплик – 3; время накопления сигнала – 5 с; коррекция дрейфа эмиссионных линий производилась по независимым линиям углерода (193, 027 нм) и аргона (565,070 нм, 645,918 нм, 675,283 нм, 699,217 нм, 704,096 нм). Пробы образцов вносились в автоклавы с контролем массы навески, далее в автоклавы последовательно вносились $2 \text{ см}^3 \text{ HF}$, $2 \text{ см}^3 \text{ HCl}$, $2 \text{ см}^3 \text{ HNO}_3$. Содержимое автоклавов выдерживалось в течение 15 минут при комнатной температуре, далее в автоклавы вносилось 5 см^3 деионизированной воды и пробы подвергались микроволновому разложению. Затем содержимое автоклавов переносилось в полипропиленовые пробирки. Далее полученные пробы разбавлялись 2 % раствором азотной кислоты. Холостая проба готовилась аналогичным образом.

Исследовано влияние следующих параметров: дисперсность выщелачиваемого фосфогипса, продолжительность выщелачивания и концентрации серной кислоты - на степень выщелачивания РЗЭ из фосфогипса. Рекомендуется применение для выщелачивания является 10%-й раствора серной кислоты, т.к. использование данной концентрации не требует дополнительных затрат реагентов для проведения нейтрализации стоков. Показано, что оптимальное время выщелачивания составило 1 час непрерывного перемешивания пульпы фосфогипса. Установлено, что наибольшее количество РЗЭ: Ce, Gd, La, Nd, Pr и Y из маточного раствора осаждаются в интервале pH от 3 до 7, что обосновывает экономическую нецелесообразность проведения процесса осаждения до значений свыше нейтральных (Рис.1).

Выбор оптимальных технологических условий для гидроксидного осаждения РЗМ из сульфатной формы аммиачным раствором, что также имеет перспективу внедрения в промышленное производство минеральных удобрений наряду с фосфорсодержащими удобрениями и сульфата аммония, являющегося альтернативой взрывоопасной аммиачной селитре.

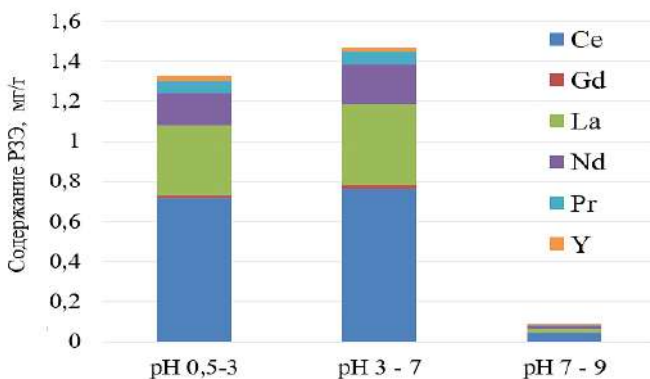


Рис.1 – Распределение РЗЭ в осадке в зависимости от рН осаднения

Литература:

1. Лебедев, В.В. Структурирование экологической информации как необходимый этап создания баз данных информационно-управляющих систем / В.В. Лебедев и [др.] // Экология промышленного производства. 2009. № 4. С.13 – 18.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СПЛАВА РЗМ-Fe,Co ДЛЯ ЕГО ДАЛЬНЕЙШЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ТВЕРДОФАЗНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ПОРОШКОВ ОТРАБОТАВШЕГО МАГНИТНОГО СЫРЬЯ

Д.К. Грачева, Е.К. Грачев

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ

г. Северск, ptiza24@yandex.ru

Научный руководитель: Грачев Е.К., инженер-исследователь

Одним из лучших способов восстановления утраченных магнитных свойств отработавшего магнитного сырья на основе редкоземельных материалов является процесс твердофазного легирования. Данный процесс позволяет восстановить порядка 80% магнитных свойств отработавших магнитов. Исследовательской группой СТИ НИЯУ МИФИ был проведен входной аналитический контроль лигатуры РЗМ-Fe,Co с использованием методов сканирующей электронной микроскопии и атомно-эмиссионной спектроскопии.

One of the best ways to restore the lost magnetic properties of spent magnetic raw materials based on rare earth materials is the process of solid-phase alloying. This process makes it possible to restore about 80% of the magnetic properties of used magnets. The research group of the STI NRNU MEPhI carried out incoming analytical control of the REM-Fe, Co alloy using scanning electron microscopy and atomic emission spectroscopy methods.

Редкоземельные элементы (РЗЭ) используются при производстве ветрогенераторов, катализаторов нефтепереработки, жестких дисков в ноутбуках, наушниках, электромобилях, мобильных телефонах, гибридных двигателях, лазерной и магнитно-резонансной томографии. Основная проблема их производства заключается в сложности добычи сырья, поскольку это энергозатратный процесс, который может нанести вред окружающей среде, приводя к ее химическому загрязнению. Кроме того, одна страна – Китай – занимает почти монопольное положение в мировом производстве РЗЭ (90% импорта). Поэтому, переработка вторичного магнитного сырья очень важна для обеспечения ресурсов РЗЭ в будущем. В современной магнитной промышленности сплав на основе тройной системы NdFeB по ряду важнейших показателей является наиболее перспективным.

Перед непосредственным проведением процесса твердофазного легирования следует изучить качественный состав сплава и провести морфологические исследования поверхности используемых материалов (аналитический контроль). Необходимость проведения входного аналитического контроля обусловлена тем, что только при правильном соотношении элементов в составе сплава будут улучшаться гистерезисные характеристики легируемого магнита NdFeB. Для повышения магнитных характеристик сплава NdFeB необходимо осуществлять его легирование тяжелыми редкоземельными элементами, такими как Dy и Tb.

Объектами исследования стали образцы сплава РЗМ-Fe,Co, образцы сплава РЗМ-Fe,Co прошедшие предварительную термическую обработку, а также образцы гидридов сплава NdFeB.

Данные о качественном составе объектов исследования были получены на атомно-эмиссионном спектрометре. В процессе аналитического контроля сплавов также использовались методы изучения поверхности, а именно метод сканирующей электронной микроскопии.

В ходе проведенных исследований качественного состава сплава РЗМ-Fe, Co были получены данные о достаточном содержании Dy и Tb. Таким образом, сплав РЗМ-Fe, Co является многокомпонентным и будет

способствовать комплексному влиянию на гистерезисные характеристики при проведении процесса твердофазного легирования.

Твердофазное легирование проводилось путем внедрения 10 масс.% измельченного порошка сплава РЗМ-Fe, Co в измельченный порошок гидроксида NdFeB.

В докладе авторами будут представлены таблица с качественным составом объектов исследования, снимки морфологии исследуемых сплавов, а также будут представлены выводы о проведенном исследовании.

ПОСТРОЕНИЕ ИЗОТЕРМ ЭКСТРАКЦИИ Nd И Pr (ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ Nd, Pr, СОВМЕСТНОЕ ПРИСУТСТВИЕ).

Д.К. Грачева, А.В. Муслимова

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ

г. Северск, ptiza24@yandex.ru

Научный руководитель: Муслимова А.В., доцент, к.х.н.

Одним из самых распространенных методов разделения редкоземельных элементов является экстракция. Для разделения редкоземельных элементов в промышленности чаще всего используются фосфорорганические соединения, а именно трибутилфосфат. Для установления зависимости между концентрациями распределяемого компонента в водной и органической фазах была построена изотерма экстракции Nd и Pr. Число ступеней экстракции было определено графическим методом.

One of the most common methods for separating rare earth elements is extraction. To separate rare earth elements in industry, organophosphorus compounds, namely tributyl phosphate, are most often used. To establish the relationship between the concentrations of the distributed component in the aqueous and organic phases, an extraction isotherm of Nd and Pr was constructed. The number of extraction steps was determined graphically.

В промышленных масштабах трибутилфосфат (ТБФ) может использоваться в чистом виде, но чаще в смеси с керосином, синтином и другими инертными разбавителями, так как вязкость ТБФ очень велика (3,41 сПз при 25°C), что существенно затрудняет разделение фаз. ТБФ имеет высокую степень извлечения редкоземельных элементов из нитратных растворов, как кислых, так и нейтральных. Только при концентрации азотной кислоты 16 М заметно разложение трибутилфосфата.

Задачами проведенного исследования являлись приготовление растворов $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3$ и $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$, проведение экстракции и реэкстракции полученных растворов 90% ТБФ и построение индивидуальных изотерм экстракции Nd и Pr, а также изотермы их совместного присутствия.

Данные о распределении элементов между водной и органической фазами могут быть получены разными способами. Исследовательской группой СТИ НИЯУ МИФИ был выбран способ построения изотермы экстракции, при котором отношение водной и органической фаз варьируется в пределах от 1/10 до 10/1. Например, к 100 мл экстрагента добавляют 10 мл водной фазы, содержащей редкоземельный металл, и встряхивают до достижения равновесия. После расслоения водную и органическую фазы отделяли друг от друга и анализировали на содержание интересующего компонента. Ту же процедуру проводили при других соотношениях фаз (1/5, 1/2, 1/1 и т.д.).

Далее проводился процесс осаждения редкоземельных элементов из растворов рафината и реэкстракта с использованием щавелевой кислоты. Для определения массы металла осадок оксалата редкоземельных элементов отфильтровывали, озоляли и прокачивали в муфельной печи.

Для построения изотерм экстракции были рассчитаны значения концентраций Nd и Pr в рафинате и реэкстракте. По полученным данным были построены изотермы экстракции Nd и Pr.

В докладе, представленном на конференции, авторами будут представлены более подробные результаты проведенного исследования, а также графики построенных изотерм экстракции и равновесных ступеней.

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ «СУХИХ ПЯТЕН» В КИПЯЩЕМ СЛОЕ НФЕ-7100 В ПРЕДКРИЗИСНЫХ РЕЖИМАХ ТЕПЛООБМЕНА НА КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТОМ ПОКРЫТИИ

С.А. Гурин¹, Д.А. Швецов², В.И. Жуков^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,

г. Новосибирск, semengurin2402@gmail.com

В работе приводятся результаты исследования испарения и кипения в тонком горизонтальном слое жидкости на капиллярно-пористом покрытии из нержавеющей стали. В ходе эксперимента при достижении критического теплового потока наблюдалось возникновение области с сухой поверхностью. Определено, что с увеличением давления значения плотности теплового

потока, при котором происходил кризис осушения поверхности, уменьшались в слоях высотой 2,5 мм и 6 мм.

The paper presents the results of a study of evaporation and boiling in a thin horizontal liquid layer on a capillary-porous stainless steel coating. During the experiment, when the critical heat flow was reached, an area with a dry surface was observed. It was determined that with an increase in pressure, the values of the heat flux density at which the surface dehumidification crisis occurred decreased in layers 2.5 mm and 6 mm high.

В современном мире во многих технологиях, особенно в микроэлектронике, тепловой и атомной энергетике, актуальна проблема управления тепловыми потоками в различных устройствах. Кипение является эффективным решением, так как способно отводить высокие плотности теплового потока при низкой разнице температур между горячей поверхностью и охлаждающей средой [1]. За счет подбора оптимальной толщины слоя охлаждающей жидкости можно уменьшить расход теплоносителя и массогабаритные параметры аппаратов. Однако, при достижении критического теплового потока в тонких слоях может происходить разрыв пленки, вследствие чего возникает некоторая область, не покрытая жидкостью. Сухая область значительно ухудшает теплообмен, что является одной из проблем использования данного метода охлаждения.

Целью данной работы является определение геометрических характеристик и динамики изменение структуры кипящего слоя HFE-7100 при критическом тепловом потоке. Исследование проводилось в рабочей камере, выполненной в виде цилиндрического сосуда из стали 12X18H10T с толщиной стенок 1 мм, внутренним диаметром 120 мм и высотой 300 мм. Нагрев дна рабочей камеры осуществляется электронагревателем с мощностью 1 кВт. Для достижения равномерного распределения теплового потока, между электронагревателем и дном рабочей камеры расположена латунная пластина толщиной 30 мм. Зазор между дном и латунной пластиной заполнен термопастой. Капиллярно-пористое покрытие из нержавеющей стали LPW 155 (15-5PH) наносилось на нижнее основание (днище) специально изготовленной камеры с использованием технологии лазерной 3-D печати SLM/SLS-методом (селективное лазерное плавление/спекание) [2]. Для измерения плотности теплового потока в нижней части установки сбоку на различной высоте просверлено 5 отверстий диаметром 1.5 мм, в которые вставляются медь–константановые термопары в нержавеющей капиллярах. Давление внутри рабочей камеры использовался деформационно – мембранный датчик давления ASG Edwards. Диапазон измерения датчика от 133 до

$2 \cdot 10^5$ Па. Погрешность измерения составляет $\pm 0.2\%$ от общей шкалы. Подробное описание установки приведено в [3].

В качестве рабочего вещества была выбрана коммерческая жидкость углеводород метокси-нонафторбутан под названием торговой марки 3M™Novec™ 7100 (HFE-7100). HFE-7100 представляет собой прозрачную бесцветную жидкость со слабым запахом, является диэлектриком и имеет низкое давление насыщенного пара при комнатной температуре. [4,5]

В работе исследовался процесс пузырькового кипения жидкости в тонких слоях высотой 2,5 мм и 6 мм при приведенных давлениях над слоем 0,022 (50 кПа); 0,045 (100 кПа); 0,067 (150 кПа). Процесс снимался на видеокамеру с частотой съемки 24 кадр/сек и 240 кадр/сек. В результате анализа было получено, что при достижении критического теплового потока возникает область сухой поверхности. Измерение площади сухой пятна производилось с помощью программы ImageJ. За объект с известными размерами, необходимый для масштабирования изображения, принят диаметр дна рабочей камеры $d=120$ мм (рис.1).



Рис.1 – Фрагмент видеосъемки кипящего слоя HFE-7100 с появлением сухой поверхности

На рисунке 2 приведены зависимости площади сухой области и теплового потока для высоты слоя жидкости 6 (а) и 2,5 мм (б) при разных рабочих давлениях.

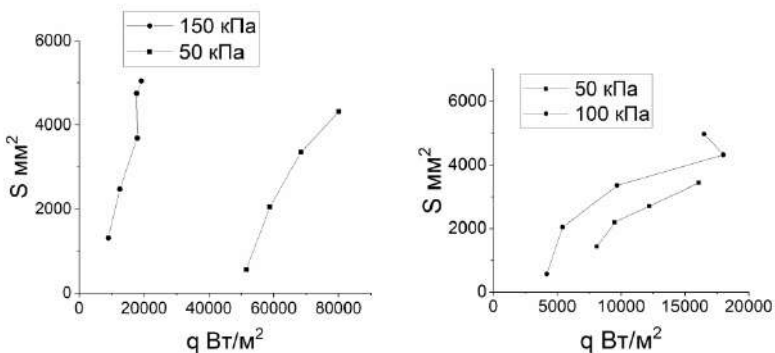


Рис.2 – Зависимость площади сухой поверхности от теплового потока при толщине слоя 6 мм (а) и 2,5 мм (б)

Из рисунка 2 видно, что в слое жидкости высотой 2,5 мм критический тепловой поток ниже, соответственно кризис осушения поверхности наступает раньше. Площадь сухой поверхности значительно больше расширяется с увеличением рабочего давления. При более высоких давлениях так же критический тепловой поток достигается при меньших нагрузках.

Таким образом, получено, что в процессе кипения горизонтального слоя HFE-7100 рабочее давление и высота слоя влияет значение теплового потока, при котором возникает кризис осушения, а также на размеры сухой поверхности.

Исследования выполнены за счёт средств гранта Российского научного фонда (проект № 23-19-00245)

Авторы выражают благодарность чл.-корр. РАН Павленко А. Н. за вклад в постановку задачи исследования и обсуждение полученных результатов

Литература:

1. Lin H. C. et al. Saturated Pool Boiling of Novec-7100 Dielectric Liquid Over Microgroove Surfaces with Anisotropic Wettability Characteristics // Available at SSRN 4529333.
2. Бессмельцев В.П., Павленко А.Н., Жуков В.И. Разработка технологии создания структурированных капиллярно-пористых покрытий методом 3D-печати для интенсификации теплообмена при кипении // Автометрия. – 2019. – Т. 55. – №. 6. – С. 25–35.
3. Zhukov, V.I., Pavlenko, A.N. Heat transfer and critical phenomena during evaporation and boiling in a thin horizontal liquid layer at low

pressures // International Journal Heat Mass Transfer 2018. – Т. 117. – P. 978–990.

4. 3M™ Novec™ Engineered Fluid HFE-7100 Physical Properties.

5. Qi H. et al. Liquid density of HFE-7000 and HFE-7100 from T = (283 to 363) K at pressures up to 100 MPa // The Journal of Chemical Thermodynamics. – 2014. – Т. 77. – P. 131-136.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ОРТОРОМБИЧЕСКОГО ТРИОКСИДА МОЛИБДЕНА

А.А. Данн¹, Т.М. Зима^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, aleksdann13@gmail.com

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск, zima@solid.nsc.ru

Научный руководитель: Зима Т.М., к.х.н., с.н.с.

Наноструктурированный триоксид молибдена орторомбической модификации (α -MoO₃) получен гидротермальным методом в отсутствие структуроформирующих добавок. Продукты синтеза до и после прокаливания охарактеризованы с помощью методов рентгенофазового анализа (РФА), ИК- и КР-спектроскопии, сканирующей (СЭМ) и просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (ВР ПЭМ). Показано, что в результате гидротермальной реакции образуется эластичный и гибкий, похожий на бумагу, продукт слегка голубоватого цвета. Частицы α -MoO₃ формируются в виде квазиодномерных протяженных нанолент, имеющих хорошо окристаллизованную слоистую микроструктуру. После прокаливания на воздухе при 500°C, морфология и фазовый состав образцов не изменяются. Полученный материал представляет особый интерес для разработки и создания нового поколения высокочувствительных газовых сенсоров и перезаряжаемых литий-ионных аккумуляторов.

Nanostructured molybdenum trioxide of the orthorhombic modification (α -MoO₃) was obtained by the hydrothermal method in the absence of structure-forming additives. The synthesis products before and after calcination were characterized using X-ray phase analysis (XRD), IR and Raman spectroscopy, scanning (SEM) and high-resolution transmission electron microscopy (HR TEM). It has been shown that as a result of the hydrothermal reaction, a paper-like product is formed. It is elastic, flexible and has a slightly bluish color. The α -MoO₃ particles are formed in the form of quasi-one-dimensional elongated nanoribbons with a layered, well-crystallized microstructure. After calcination in air at 500°C, the morphology and phase

composition of the samples do not change. The resulting material is of particular interest for the development and creation of a new generation of highly sensitive gas sensors and rechargeable lithium-ion batteries.

Оксиды молибдена (Mo_xO_y) имеют множество неординарных структурных, химических, электрических, оптических и электрохимических свойств, благодаря чему активно изучаются в последние годы с целью различных практических приложений [1-3]. Синтезу и исследованию орторомбической модификации триоксида молибдена ($\alpha\text{-MoO}_3$) уделяется особое внимание [2]. Интерес к этому соединению обусловлен возможностью использования его в качестве анодного материала при разработке и создании нового поколения перезаряжаемых литий-ионных аккумуляторов [3]. Благодаря уникальной слоистой кристаллической структуре, $\alpha\text{-MoO}_3$ характеризуется теоретической емкостью ($\sim 1117 \text{ mA}\cdot\text{ч/г}$) почти в три раза более высокой, чем у графита ($372 \text{ mA}\cdot\text{ч/г}$) – основного коммерческого анодного материала. Кроме этого, исследуемое соединение обладает высокой термической и химической стабильностью, имеет низкую стоимость и относится к экологически безопасным материалам.

В настоящей работе сообщается о синтезе и исследовании наноструктурированного $\alpha\text{-MoO}_3$ в виде квазиодномерных протяженных нанолент. Целью данной работы было изучение возможности получения наноструктурированных частиц MoO_3 гидротермальным методом в результате спонтанной кристаллизации компонентов при отсутствии структуроформирующих добавок.

Результаты проведенных исследований показали, что высушенный при 80°C осадок, образующийся в результате гидротермальной реакции, имеет слегка голубоватый оттенок. Частицы осадка достаточно прочно сцеплены между собой, образуя слой, внешне похожий на бумагу. Отмечено, что такой слой характеризуется повышенной эластичностью и гибкостью, не характерной для кристаллических материалов. По данным РФА, фазовый состав продукта до и после прокаливания соответствует чистой орторомбической фазе триоксида молибдена (JCPDS, карта № 5-508) с параметрами решетки $a = 0.3966 \text{ нм}$, $b = 1.388 \text{ нм}$ и $c = 0.3703 \text{ нм}$. При этом интенсивность рефлексов (020), (040) и (060) у полученного порошка заметно выше, чем у блочного аналога, что указывает на анизотропный рост кристаллов и их преимущественную ориентацию. В ИК-спектрах исходного и прокаленного при 500°C порошка наблюдаются полосы при 998, 864 и 552 см^{-1} . Кроме этого можно выделить плечо в области $\sim 821 \text{ см}^{-1}$. КР-спектр продукта содержит четырнадцать характеристических пиков,

принадлежащих, согласно ранее опубликованным исследованиям[4], хорошо окристаллизованной кристаллической структуре однофазного α - MoO_3 . Все пики узкие и имеют хорошее разрешение.

По данным электронной микроскопии, частицы α - MoO_3 образуются в виде квазиодномерных протяженных нанолент длиной несколько десятков микрометров. При этом ширина структур не превышает 200-300 нм, а толщина составляет около 30-50 нм. По данным ВР ПЭМ, образующиеся наноленты имеют слоистую микроструктуру с межплоскостным расстоянием 0.381 нм, что соответствует плоскости (110) α - MoO_3 . После прокаливая при 500°C, морфология и фазовый состав продукта не изменяются.

Из полученных данных следует, что метод гидротермального синтеза позволяет получать однофазный наноструктурированный α - MoO_3 в виде хорошо окристаллизованных квазиодномерных протяженных нанолент со слоистой микроструктурой – материала, представляющего особый интерес для разработки и создания нового поколения высокочувствительных газовых сенсоров и перезаряжаемых литий-ионных аккумуляторов.

Работа выполнена в рамках Тематического плана № ТП-ХХТ-1_23

Литература:

1. Ramana C.V., Mauger A., Julien C.M. Growth, characterization and performance of bulk and nanoengineered molybdenum oxides for electrochemical energy storage and conversion // Prog. Cryst. Growth Charact. Mater. – 2021. – V. 67. – Art. 100533.

2. Paste R., Ali Abbas S., Singh A., Lin H-C., Chu C. W. Oxygen-Enriched α - MoO_{3-x} nanobelts suppress lithium dendrite formation in stable lithium-metal batteries // J. Power Sources. – 2021. –V. 507. – Art. 230306.

3. Huang C., Zhang W., Zheng W. The debut and spreading the landscape for excellent vacancies-promoted electrochemical energy storage of nano-architected molybdenum oxides // Mater. Today Energy. – 2022. – V. 30. – Art. 101154.

Dieterle M. and Mestl G. Raman spectroscopy of molybdenum oxides. Part II. Resonance Raman spectroscopic characterization of the molybdenum oxides Mo_4O_{11} and MoO_2 // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2002. –V. 4. – P. 822–826.

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗА, КОБАЛЬТА И НИКЕЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

В.В. Доленко, Е.М. Турло

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, dolenkovaleria5@yandex.ru

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

С помощью рентгенофазового анализа и электронной микроскопии были изучены полученные восстановлением в водных растворах наночастицы таких металлов, как железо, кобальт и никель. Осадки были отделены методом магнитной сепарации. Выявлено, что основной фазой в данных образцах является соответствующий металл. Отмечено, что полученные наночастицы склонны образовывать скопления игольчатого вида.

Nanoparticles of metals such as iron, cobalt and nickel obtained by reduction in water solutions were study using X-ray phase analysis and electron microscopy. The sediments were separated by magnetic separation. It was revealed that the main phase in these samples is the corresponding metal. It was noted that the resulting nanoparticles tend to form needle-shaped clusters.

В последние десятилетия нанотехнологии стали одним из ведущих направлений в научных исследованиях. Синтез нанодисперсных порошков металлов является одной из важнейших задач в этой области. При этом выявлено, что физические и физико-химические свойства могут значительно различаться у порошков одного состава и одной формы частиц, полученных разными способами.

Актуальность изучения электрохимического синтеза наночастиц данных металлов объясняется несколькими факторами. Прежде всего, наночастицы кобальта, железа и никеля обладают уникальными свойствами, которые отличаются от их макроскопических форм. Благодаря наноразмеру, эти материалы приобретают новые электронные, оптические, каталитические и магнитные характеристики, а также обладают высокой активностью. Это открывает новые возможности для их применения в таких областях, как энергетика, электроника, фотоэлектрика и катализ.

Наиболее распространенным методом получения наночастиц различных металлов является электрохимический синтез. Одним из главных преимуществ электрохимического получения наночастиц является его простота и доступность, что позволяет его внедрение в массовое производство наночастиц данных металлов и потенциально снижает их стоимость. По мимо этого, электрохимический синтез позволяет получать наночастицы с высокой чистотой и монодисперсностью, что позволяет устранить проблему агрегации и

неоднородности размеров, характерную для некоторых других методов синтеза.

При выполнении данной работы наночастицы были получены в ходе реакции цементации - металлы извлекались из водных растворов химическим восстановлением более электроотрицательным металлом (в нашем случае таким металлом выступил алюминий).

По итогам анализа было установлено, что частицы соответствующих металлов в среднем имеют размеры от 30 до 100 нм, однако наблюдается тенденция к образованию агрегатов различного размера (процесс слипания для этих частиц является термодинамически выгодным). Все образцы обладают намагничённостью, поэтому им свойственно образовывать скопления игольчатого вида, которые напоминают «веер».

Представленные результаты раскрывают физико-химические свойства данных металлов и могут быть использованы при дальнейшем внедрении наночастиц в разнообразные сферы жизни.

Работа выполнена в рамках Тематического плана № ТП-ХХТ-1_23

Литература:

1. Фостер, Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности / Л. Фостер. – М.: Техносфера, 2008. – 352 с.
2. Гусев, А.И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства / А.И. Гусев. – Екатеринбург: УрО РАН, 1998. – 200 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРКАЛИРОВАННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ФТОРИРОВАННОГО ГРАФИТА С БРОМОМ

А.В. Дроздова¹, Д.В. Пинаков²

¹Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, lika.drozdova.01@list.ru

²ИНХ СО РАН им. А.В. Николаева, г. Новосибирск

Научный руководитель: Пинаков Д.В., к.х.н., н.с.

В данной работе приводится получение интеркалированных соединений фторированного графита (ИСФГ) с бромомразной степенью фторирования и анализ полученных соединений. В ходе исследования была проведена очистка природного ископаемого графита путём поочерёдного взаимодействия со смесями концентрированных водных растворов неорганических кислот. Синтез был проведен методом низкотемпературного фторирования галогенфторидами.

In this report presents the preparation of intercalated compounds of fluorinated graphite (ICFG) with bromine of varying degrees of fluorination and the analysis of the resulting compounds. During the study, natural fossil graphite was purified by alternately reacting with mixtures of concentrated aqueous solutions of inorganic acids. The synthesis was carried out by low-temperature fluorination with halogen fluorides.

Соединения графита, полученные интеркаляцией, вызывают интерес в научном плане и как функциональные углеродные материалы. Такие соединения стабильны при хранении в нормальных условиях в течение длительного времени [1], поэтому могут рассматриваться как контейнеры, содержащие различные классы органических и неорганических веществ, в том числе и высокореакционные соединения, например, N_2O_4 и SO_2 [2]. При термическом нагреве интеркалированных соединений фторида графита в режиме термоудара образуются тонкослойные графеновые материалы [3], которые по своим свойствам являются малослойными графенами, т.е. 2D-структурами [4]. Благодаря высокой площади удельной поверхности перспективны в качестве сорбентов токсичных веществ [1] и электродов электрохимических источников тока [5-7].

Из этого следует, что необходимо продолжать исследования физико-химических свойств интеркалированных соединений графита и углеродных материалов на их основе, что приведет к расширению их областей применения.

На начальном этапе проводилась очистка природного ископаемого графита определённой размерной фракции (горизонтальные размеры зёрен 300-400 мкм). Исходный графит 5 раз выдерживался в концентрированной соляной кислоте, так как большинство примесных металлов образуют с ней растворимые соединения, при комнатной температуре, затем промывался концентрированной HCl до видимого исчезновения окраски жидкой фазы на просвет в толще колбы. Далее была пятькратно проведена обработка графита смесью кислот HNO_3 и HCl (1:3) с кипячением под обратным холодильником. На данной степени очистки графит промывался дистиллированной водой до нейтральной среды жидкой фазы, после чего подвергался сушке при $96^\circ C$. Затем следовало кипячение графита в смеси кислот HF и HNO_3 в соотношении 9:1 в течение 5 суток по 6–7 часов для удаления примесей кремния. После этого графит промывался многократно водой, высушивался при $90^\circ C$ на протяжении двух суток, после чего был прокалён при $600^\circ C$.

Согласно результатам атомно-эмиссионной спектроскопии, после очистки графита примеси находятся вне предела обнаружения.

Для получения ИСФГ использовался низкотемпературный метод: графит фторировали в парах над смесью BrF_3 и Br_2 при комнатной температуре, что уменьшает взрывоопасность синтеза.

Навески очищенного графита после насыщения бромом в течение 7 дней помещали в герметичные фторопластовые стаканы над растворами BrF_3 и Br_2 (14,47 % и 6,26 %) и выдерживали 6 недель. Затем сосуды переместили в новые реакторы над смесью KBr и Br_2 с целью удаления окислительной среды между слоями графита, данная операция проводилась 5 раз. После чего образцы были высушены в потоке сухого азота.

В результате были получены два интеркалированных соединения фторированного графита с бромом. В процессе синтеза масса соединений увеличилась в 2,2–2,5 раза в зависимости от степени фторирования и количества внедрённого компонента.

Полученные соединения были проанализированы методами: ИК-спектроскопия, Раман-спектроскопия, элементный анализ, рентгеновская дифракция и рентгенофотоэлектронная спектроскопия.

Литература:

1. *Makotchenko V. G., Makotchenko E. V., Pinakov D. V.* The ways of use of multilayered graphene in engineering ecology // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2017. – № 24. – P. 2402-2411.

2. *Mitkin V. N.* Types of inorganic fluorocarbon polymer materials and structure-property correlation problems // *Journal of Structural Chemistry*. – 2003. – № 44. – P. 82-115.

3. 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*. – 2011. – Vol. 49, № 10. – P. 3233-3241.

4. *Makotchenko V.G., Pinakov D.V., Logvinenko V. A.* The Influence of Dimensional Effects on the Composition and Properties of Polydicarbonfluoride // *Chemistry - An Asian Journal*. – 2015. – № 10. – P. 1761 – 1767.

5. Structure and supercapacitor performance of graphene materials obtained from brominated and fluorinated graphites / L. G. Bulusheva, V. A. Tur, E. O. Fedorovskaya, I. P. Asanov, D. Pontiroli, M. Ricco, A. V. Okotrub // *Carbon*. – 2014. – № 78. – P. 137-146.

6. Electrochemical insertion of lithium ions into disordered carbons derived from reduced graphite fluorides / J. Giraudet, M. Dubois, J. Inacio, A. Hamwi // *Carbon*. – 2003. – № 41. – P. 453-463.

7. Structure and supercapacitor properties of few-layer low-fluorinated graphene materials / D. V. Pinakov, G. N. Chekhova, A. V. Okotrub, I. P. Asanov, Yu. V. Shubin, E. O. Fedorovskaya, P. E. Plyusnin, L. G. Bulusheva // Journal of Materials Science. – 2018. – № 53. – P. 13053-13066.

СОРБЦИЯ ИОНОВ РОДИЯ(III) ИЗ ХЛОРИДНЫХ РАСТВОРОВ ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ КРЕМНЕЗЕМАМИ

М.А. Евтюхин, Е.В. Волчкова, Т.М. Буслаева
МИРЭА – Российский технологический университет,
г. Москва, maximevtyuhin@outlook.com
Научный руководитель: Буслаева Т.М., д.х.н., профессор

Исследована сорбция ионов родия(III) из хлоридных растворов химически модифицированными кремнеземами, содержащими атомы серы, азота, либо оба эти атома, в зависимости от времени, концентрации HCl, H⁺, Cl⁻, металла. Показана эффективность сорбентов с привитыми молекулами полиэтиленimina и обоснован анионообменный механизм комплексообразования Rh(III) с выбранными сорбентами в процессе сорбции.

There has been studied the sorption of rhodium(III) ion from chloride solutions by organically modified silicas containing sulfur or nitrogen atoms or both atoms, depending on the concentration of HCl, H⁺, Cl⁻ and time. The efficiency of sorbents with grafted polyethylenimine molecules has been shown and the anion-exchange mechanism of complexation in the process of sorption of rhodium(III) complexes with these sorbents has been substantiated.

Платиновые металлы, благодаря уникальным физическим и химическим свойствам, практически незаменимы в ключевых отраслях промышленности, в технике, науке, социальной сфере. Обеспечение потребности в этих металлах возможно лишь при условии внедрения в производство высокоэффективных технологических процессов аффинажа. Технология «молекулярного распознавания», предусматривающая селективное извлечение платиновых металлов и базирующаяся преимущественно на процессе сорбции ионов платиновых металлов из технологических растворов сложного состава, имеет наиболее серьезные перспективы для развития и применения. Установление условий селективного выделения родия создаст основу для разработки технологии, позволяющей практически за одну стадию выделить в отдельную фазу целевой компонент, существенно сократить материальные, энергетические и трудовые затраты на получение

чистого металла, широко востребованного в катализе, электротехнике и электронике, стекольной и ювелирной промышленности и др.

В настоящем сообщении представлены результаты исследования процесса сорбции ионов родия(III) из хлоридных растворов кремнеземами, модифицированными различными N^- , S^- и N , S^- содержащими молекулами (ХМК). Сорбенты ХМК представляют собой мезопористые кремнеземы со средним диаметром пор порядка 13 нм, которые содержат привитые функциональные группы органических соединений, отличаются высокими массообменными характеристиками и не набухают в водных и органических растворах.

Сорбцию родия(III) проводили в статике из индивидуальных солянокислых растворов (0.1 – 0.6 М HCl; $C_{Cl^-} = 10 - 100$ г/дм³) при комнатной температуре. Объем растворов в каждом опыте составлял 10-15 мл, масса сорбента 30 – 100 мг, $C_M = 4 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Растворы после сорбции отделяли от сорбента фильтрацией и центрифугированием. Количество сорбированного металла определяли по разности содержания в растворе до и после сорбции.

Методом электронной спектроскопии доказано, что ионы $[RhCl_6]^{3-}$ существуют только в растворах с концентрацией HCl > 6 М, а в разбавленных солянокислых растворах даже в присутствии избытка Cl^- – ионов (до 90–100 г/л) – акватируются с образованием комплексов состава $[Rh(H_2O)Cl_5]^{2-}$ и даже *цис*- $[Rh(H_2O)_2Cl_4]^-$ [1]. Это приводит к уменьшению сорбции в зависимости от времени (от 2 ч до 6 суток) при прочих равных условиях примерно в два раза. Поэтому представленные в данной работе зависимости сорбции от различных факторов получали для свежеприготовленных растворов.

Нами показано, что время достижения постоянных значений сорбции для всех типов сорбентов практически не зависит от природы функциональной группы и составляет не более 5 мин. Стоит подчеркнуть, что в течение, по крайней мере, 3-х суток величина сорбции практически не изменяется: сорбент не извлекает дополнительно ионы Rh(III) из раствора и, напротив, не наблюдается частичный их переход в раствор из фазы сорбента. А это принципиально возможно, если учесть факт изменения ионного состояния сорбируемых комплексов вследствие аквакации.

Выявлено (рис.1), что сорбция на сорбентах (матрица – Davisil) с привитыми меркаптоэтанолам (МЭ-Д), тиосалициловой кислотой (ТСК-Д) и меркаптоуксусной кислотой (МУК-Д) идёт лишь для растворов с концентрацией HCl < 1 М [2]. С ростом кислотности извлечение ценного компонента практически полностью подавляется. На рис. 1 приведена аналогичная зависимость для сорбента АС-Д, содержащего

привитые сульфидную серу и третичный атом азота и полученного при соотношении диэтиламин : этиленсульфид = 5:1 (количество функциональных групп 0.82 ммоль/г сорбента). Очевидно, что такой сорбент обеспечивает более высокую степень извлечения Rh (~25%), вероятнее всего, из-за наличия в сорбенте аминогрупп.

Установлено, что наибольшей эффективностью характеризуются азотсодержащие сорбенты, а именно, силикагель Davisil с привитыми молекулами полиэтиленimina $-\text{CH}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NHCH}_2-$ (ПЭИ-Д), а также с молекулами полиэтиленimina, кватернизованного метилиодидом $-\text{CH}_2\text{N}^+(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{N}^+(\text{CH}_3)\text{RCH}_2-$, (ПЭИ(мн)-Д), среднее количество функциональных групп 2.05 и 1.67 ммоль/г сорбента, соответственно [3].

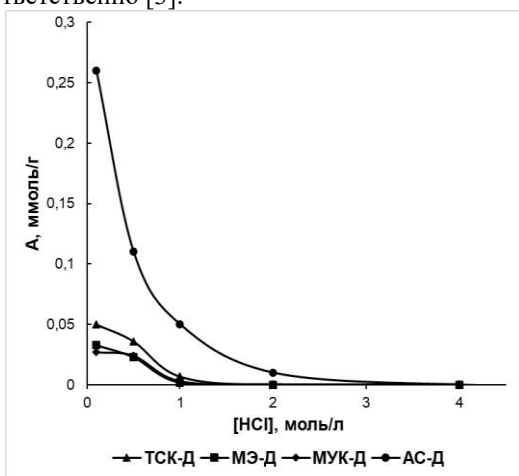


Рис. 1 – Сорбция родия(III) S- и N,S-содержащими сорбентами в зависимости от концентрации соляной кислоты: $C_{\text{Rh}} = 5 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $m_{\text{сорб}} = 0.05$ г; $V_{\text{р-р}} = 10$ мл; время контакта фаз 5 мин

Обнаружено, что сорбция Rh(III) даже из 6 М HCl сорбентом ПЭИ-Д составляет ~0.3 ммоль/г сорбента.

Необходимо подчеркнуть, что степень извлечения Rh на азотсодержащих сорбентах уменьшается с ростом концентрации хлорид-иона, тогда как изменение концентрации ионов H^+ практически не влияет на величину сорбции. Изотермы сорбции – в случае обоих сорбентов ПЭИ-Д и ПЭИ(мн)-Д – имеют вид кривых с насыщением, характерный для локализованной сорбции.

Сделан вывод, что сорбция ионов Rh(III) идет по анионообменному механизму. Это в принципе характерно для сорбентов, ионообменные группы которых содержат электронодонорные атомы азота [4]. В пользу

анионообменного механизма сорбции на изученных нами сорбентах свидетельствуют данные по кинетике сорбции. Поскольку комплексы родия(III) кинетически инертны, обмен лигандов, в частности, замена хлорид-иона на амин, должна протекать в них с достаточно высокой скоростью только при повышенной температуре. Однако в нашем случае извлечение родия(III) из раствора происходит за несколько минут при комнатной температуре.

Дополнительную информацию о механизме сорбции предоставляют спектры диффузного отражения (СДО) сорбентов, насыщенных ионами родия(III). В качестве примера на рис. 2 в координатах функция Кубелки-Мунка – длина волны представлены СДО для сорбента ПЭИ(мн)-Д, насыщенного ионами Rh(III). Наличие в спектрах полос при 420 и 511 нм указывает на присутствие сорбированных аквахлорокомплексов родия(III) [1].

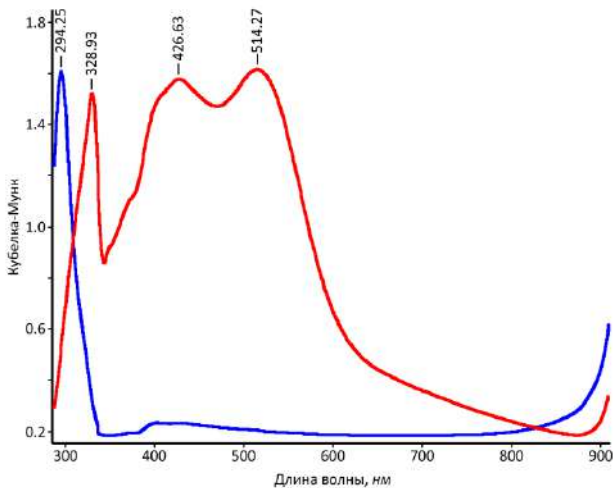
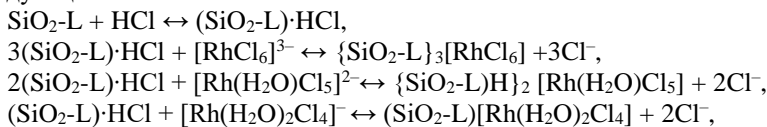


Рис. 2 – Спектры диффузного отражения сорбентов: (1) ПЭИ(мн)-Д, (2) ПЭИ(мн)-Д, насыщенного Rh(III): $C_{Rh} = 4 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $m_{сорб} = 0.05$ г

Совокупность полученных данных позволяет, что сорбция родия(III) протекает по анионообменному механизму, предположительно, по следующей схеме:



где L – функциональная группа сорбента.

В рамках данной работы выполнено исследование процесса сорбции ионов родия(III) из хлоридных растворов сорбентами ХМК. Показано, что наибольшей эффективностью среди исследованных нами сорбентов обладает силикагель Davisil с привитыми молекулами полиэтиленimina. Показано, что сорбция ионов родия(III) идёт по анионообменному механизму.

Литература:

1. Буслаева Т.М., Симанова С.А. Состояние платиновых металлов в растворах // Аналитическая химия металлов платиновой группы / под ред. Ю.А. Золотова. – М.: изд-во «КомКнига», 2005. – С.16 – 88.
2. Buslaeva T.M., Ehrlich G.V., Volchkova E.V. et al. Complexation during sorption of Palladium(II) by chemically modified silica // Russ. Journal of Inorganic Chemistry. – 2022. – Vol. 67, N 8. – P. 1191 – 1202.
3. Bodnar N.M., Buslaeva T.M., Ehrlich G.V., Mingalev P.G. et al. Sorption of iridium complexes with supported ionic liquids // Russ. Journal of Inorganic Chemistry. – 2021. – Vol. 66, N 4. – P. 586 – 593.
4. Malik P., Paiva A.P. Solvent extraction of rhodium from chloride media by N,N'-dimethyl- N,N'-diphenyltetradecylmalonamide // Solvent Extraction and Ion Exchange. – 2008. – Vol. 26. – P. 25–40.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КОМПЛЕКСОВ ПОЛИАНИЛИНА С МОЛИБДАТ-АНИОНОМ

Р.А. Еловский, Е.М. Турло

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, elovskij.2021@stud.nstu.ru

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

В данной научно-исследовательской работе был проведен электрохимический синтез полианилина в присутствии молибдат-анионов и было исследовано влияние концентрации молибдат-аниона на скорость процесса полимеризации анилина. С помощью циклической вольтамперометрии и спектроскопии было исследовано влияние молибдат-аниона на свойства получаемых комплексов полианилина.

In this research work, the electrochemical synthesis of polyaniline in the presence of molybdate anions was carried out and the effect of the concentration of the molybdate anion on the rate of polymerization of aniline was investigated. Using cyclic voltammetry and spectroscopy, the influence of the molybdate anion on the properties of the polyaniline complexes obtained was established.

В данном исследовании была рассмотрена возможность получения комплексов полианилина с анионными соединениями молибдена вместо кислотных анионов. Целью работы было получение и исследование свойств таких комплексов. Исследования проводились в трехэлектродной ячейке на потенциостате IPC-Pro с использованием нержавеющей стали для электродов. Водные растворы молибдата натрия и аммония были использованы в процессе электрохимического синтеза полианилина с использованием сульфата анилина и серной кислоты.

Катодные и анодные пики на циклической вольтамперограмме были изучены, и было выявлено, что образование окисленной формы полианилина оказывает влияние на скорость полимеризации. Также было установлено, что повышение концентрации молибдата натрия приводит к снижению скорости синтеза полианилина, а повышение кислотности электролита также влияет на предельную плотность тока образования полианилина. На вольтамперограммах также наблюдалось изменение формы пиков, что указывает на возможное изменение структуры полианилина под действием молибдат-аниона. Предполагается, что в структуре комплексов полианилина молибдат-анионы находятся вблизи заряженных иминных атомов азота.

Была проанализирована морфология электрохимически синтезированного полианилина в присутствии соединений молибдена. Результаты показали, что структурные элементы полианилина имеют однородность. Анализ микрофотографий показал отсутствие сильно агрегированных частиц, что может быть связано с блокированием части поверхности полимерными соединениями молибдена, которые также образуют интерполимерные комплексы с полианилином.

Спектральные исследования показали изменение характеристических полос поглощения полианилина при наличии молибдата натрия. Наблюдалось увеличение интенсивности поглощения при длине волны 630 нм, что указывает на увеличение доли хинониминной формы в полианилине. Спектр поглощения также показал появление плато поглощения и смещение максимума при наличии молибдат-аниона, что свидетельствует об образовании интерполимерного комплекса полианилина. При дедопировании этого комплекса в щелочной среде наблюдалась изменение спектра поглощения, соответствующее характерному спектру эмеральдина.

Таким образом, результаты исследования показывают формирование однородных структурных элементов полианилина в присутствии молибдат-аниона и образование интерполимерных комплексов.

Работа выполнена в рамках Тематического плана № ТП-ХХТ-1_23

Литература:

1. Солодов М.С., Солодов А.С., Клеменкова В.С., Соболева Е.С. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2011. Т. 54. Вып. 12. С. 85-87;
2. Бусев А.И. Аналитическая химия молибдена. М.: Изд-во АН СССР. 1962. 302 с.;
3. Тарасевич М.Р., Орлов С.Б., Школьников Е.И. Электрохимия полимеров. М.: Наука. 1990. 238 с.;
4. Karpakam V. et al. Electrosynthesis of polyaniline–molybdate coating on steel and its corrosion protection performance //Electrochimica Acta. – 2011. – Т. 56. – №. 5. – С. 2165-2173.
5. Boeva Z. A., Sergeev V. G. Polyaniline: Synthesis, properties, and application //Polymer Science Series C. – 2014. – Т. 56. – №. 1. – С. 144-153.
6. Иванов В. Ф. и др. Матричный синтез полианилина в присутствии поли-2 (акриламидо-2-метил-1-пропан)-сульфоновой кислоты //Электрохимия. – 2004. – Т. 40. – №. 3. – С. 339-345.
7. <http://universum.com/ru/nature/archive/item/12901>
8. <https://scienceforum.ru/2018/article/2018006871?ysclid=lovml07ifm959371895>
9. <https://www.sciencedirect.com/topics/materialsscience/polyaniline>.

ЭЛЕКТРОДЫ ИЗ БРОМИРОВАННОГО УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ

С.Н. Ельсукова^{1,2}, А.Д. Ницакова¹, Ю.В. Федосеева¹

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

²Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, sofi.elsu@yandex.ru

Научный руководитель: Федосеева Ю.В., к. ф-м. н., с.н.с.

Пористый углеродный материал был функционализирован в парах жидкого брома при комнатной температуре. Синтезированный материал использовался в качестве электродов в суперконденсаторе. Было выявлено увеличение удельной емкости в электролите КОН по сравнению с исходным материалом. В H₂SO₄ заметных изменений не обнаружено. Морфология и строение материала существенно не изменилась после бромирования. Наши результаты предлагают использование нового перспективного материала с улучшенными электрохимическими свойствами в суперконденсаторах.

The porous carbon material was functionalized in liquid bromine vapors at room temperature. The synthesized material was used as electrodes in a supercapacitor. An increase in the specific capacity in KOH electrolyte compared to the starting material was revealed. No noticeable changes were found in H₂SO₄. The morphology and structure of the material did not change significantly after bromination. Our results suggest the use of a new promising material with improved electrochemical properties in supercapacitors.

В последние годы электрохимические суперконденсоры набирают все большую популярность благодаря своим особым свойствам. Суперконденсаторы – это перезаряжаемые длительноциклируемые электрохимические устройства хранения и использования электрической энергии, обладающие высокими энергетическими и мощностными характеристиками, и чьи основные компоненты не представляют угрозы для окружающей среды. Суперконденсаторы применяются повсеместно: в электронике, электротранспорте, энергетике. Одним из самых популярных материалов для использования в качестве электродов является ультрадисперсный углеродный материал. Он недорогой, обладает хорошей электрической проводимостью, высокой электрохимической стабильностью и большой удельной площадью поверхности, что в результате позволяет достигать высокую энергоёмкость и стабильность работы в электрохимических устройствах. Но, не смотря на популярность пористого материала, его свойства и использование в суперконденсаторах после функционализации бромом недостаточно изучены. Цель данной работы – синтез бромированных углеродных материалов, изучение их состава и строения и исследование электрохимических свойств в суперконденсаторах. Для получения пористого углеродного материала использовался метод осаждения из газовой фазы продуктов разложения этанола на поверхность наночастиц оксида кальция, полученных в результате термоллиза тартрата кальция [1]. Полученные образцы бромировались семь дней при температуре 25°C, после чего в течение суток проводилась продувка газообразным азотом для удаления излишка брома. Исследование морфологии, состава, текстуры и строения исходных и функционализированных образцов осуществлялось методами сканирующей электронной микроскопии, инфракрасной спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния света, энергодисперсионного анализа, методом низкотемпературной адсорбции азота и рентгеноэлектронной спектроскопии. Морфология и строение углеродного каркаса бромированного и исходного образцов отличаются слабо, что объясняется неразрушающей методикой модификации и малой

концентрацией брома, составляющей 2 ат.%. После бромирования удельная площадь поверхности образцов уменьшилась от 1067 до 649 м²/г. Бром присоединяется к поверхности пористого углеродного материала ковалентно, интеркалированные молекулы Br₂ практически полностью отсутствуют. Для изготовления электродов использовали метод раскатки, в качестве связующего добавлялась водная суспензия поливинилдифторида. Измерение электрохимических характеристик проводилось на потенциостате BioLogic с использованием трёхэлектродной ячейки с платиновым противоэлектродом и хлорсеребряным электродом сравнения. Используемыми электролитами были выбраны водные растворы 6 М КОН и 1 М H₂SO₄. Исследования проводились в диапазоне напряжений от -0,1 до 0,9В для H₂SO₄ и 0 – 1В для КОН со скоростью развертки от 2 до 1000 мВ/с. На основе полученных данных были построены и проанализированы циклические вольтамперограммы. В 1М H₂SO₄ электролите при развертке 2 – 1000 мВ/с удельная емкость исходного образца составила 171 – 19 Ф/г, для бромированного - 193 – 10 Ф/г. В 6М КОН электролите при тех же развертках емкость исходного образца - 151 – 6 Ф/г, бромированного - 111 - 8 Ф/г. По результатам исследования электрохимических характеристик было выявлено, что бромированные образцы показали увеличение удельной емкости в суперконденсаторах в щелочном электролите при высоких скоростях развертки от 20 до 1000 мВ. В кислотном электролите емкость существенно не изменилась.

Литература:

1. Asanov, I. P. Thermal Decomposition of Co-Doped Calcium Tartrate and Use of the Products for Catalytic Chemical Vapor Deposition Synthesis of Carbon Nanotubes // The Journal of Physical Chemistry C. – 2011. – V.116, No.1. – P. 343–351.

ОСАЖДЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ВИСМУТА АМИНОУКСУСНОЙ КИСЛОТОЙ ИЗ РАСТВОРОВ МИНЕРАЛЬНЫХ СОЛЕЙ

А.И. Забелина^{1,2}, Л.И. Афонина^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет,

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск, nastya.2610.z@gmail.com

Научный руководитель: Афонина Л.И., к.х.н., доцент

В данной работе рассматривается осаждение соединений висмута аминоксусной кислотой из перхлоратных и азотнокислых растворов висмута(III).

This work is based on the study of the precipitation of bismuth compounds by aminoacetic acid from perchlorate and nitric acid solutions of bismuth(III).

Аминоксусная кислота (глицин) $\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$ является простейшим представителем одноосновных аминокислот. За счет наличия в структуре двух разных функциональных групп – карбоксильной группы и аминогруппы, проявляет амфотерные свойства. Благодаря своим специфическим свойствам она нашла широкое применение в медицине в качестве активного ингредиента как самостоятельно, так и в сочетании со своими солями.

С катионами одновалентных металлов аминоксусная кислота образует глицинаты, а с многовалентными - хелатные комплексы, в которых помимо связи металла с карбоксильной группой присутствует донорно-акцепторная связь с аминогруппой. Данные соединения, обладающие широким спектром биологического действия, также используются в медицине. [1]

За счет своих примечательных свойств висмут нашел применение во многих областях. Например, в медицине его соединения используются в качестве фармацевтической субстанции для лечения желудочно-кишечных заболеваний, антисептических и заживляющих средств. [2]

Сведений по способам получения и исследованиям физико-химических свойств совместных соединений висмута с аминоксусной кислотой в литературе не найдено. Самостоятельно каждое из исходных соединений обладает фармацевтическим действием. Вследствие чего определенный практический интерес представляет изучение процессов их совместного осаждения из растворов минеральных кислот с целью получения соединений, которые предположительно возможно использовать в медицине.

В данной работе исследовался процесс осаждения висмута из его хлорнокислых и азотнокислых растворов после добавления к ним

растворов аминокислоты или глицината натрия в зависимости от молярного соотношения катионов висмута к глицинат-ионам и температуры процесса.

Смешивание растворов висмута(III) и аминокислоты к образованию осадка не приводило, поэтому в исследовании кислота была заменена на ее соль – глицинат натрия. Эксперименты проводились при следующих соотношениях катионов висмута(III) к глицинат-ионам n : 1:0,75, 1:1, 1:3 при температурах 25 и 70 °С. При постепенном добавлении перхлоратных растворов висмута(III) к раствору глицината натрия происходило образование осадков белого цвета, в случае нитратных – осадков белого цвета с перламутровым блеском.

Составы полученных соединений исследовали с помощью химического и рентгенофазового анализов. Результаты рентгенофазового анализа представлены на рисунке 1 и 2. На рисунке 1 изображены дифрактограммы соединений, полученных из перхлоратных растворов висмута при температуре 25°С, в сравнении с исходным глицинатом натрия. Так, при $n \geq 1$ появлялись рефлексы со следующими основными максимумами d/n : 8.16, 4.20, 3.14, 2.38. При этом рефлексов исходного глицината натрия в исследуемых соединениях замечено не было.

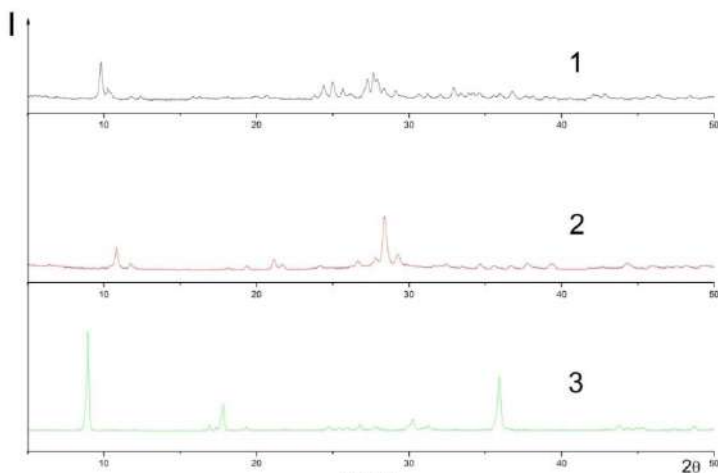


Рис. 1 - Дифрактограммы образцов, полученных их перхлоратных растворов висмута (III) при температуре 25°С и соотношениях n : 1:0,75 (1) и 1:1 (2), глицината натрия (3)

При соотношении 1:0,75 на дифрактограмме зафиксирована предположительно смесь веществ, поскольку присутствуют как

рефлексы, совпадающие с рефлексами при $n \geq 1$, так и новые. Предположительно, при $n=0.75$ смесь представляет собой перхлорат висмута и исследуемое вещество. Основные максимумы, соответствующие перхлорату висмута d/n : 3.65, 2.79, 2.72. Соединения с подобной структурой в литературе не описаны и требуются их дополнительные структурные исследования. При повышении температуры до 70°C осаждаемые соединения представляли собой рентгеноаморфные порошки.

Процент осаждения висмута из перхлоратных растворов при соотношении 1:0,75 составил порядка 30%, тогда как при 1:3 он достиг более 90%.

В случае нитратных растворов висмута(III) при аналогичной методике получения соединений в перхлоратных растворах характерных пиков (d/n : 8.16, 4.20, 3.14, 2.38) замечено не было, что видно по рисунку 2. Тогда как присутствовали основные максимумы, соответствующие основным нитратам висмута d/n : 7.46, 3.31, 2.87, 2.18.

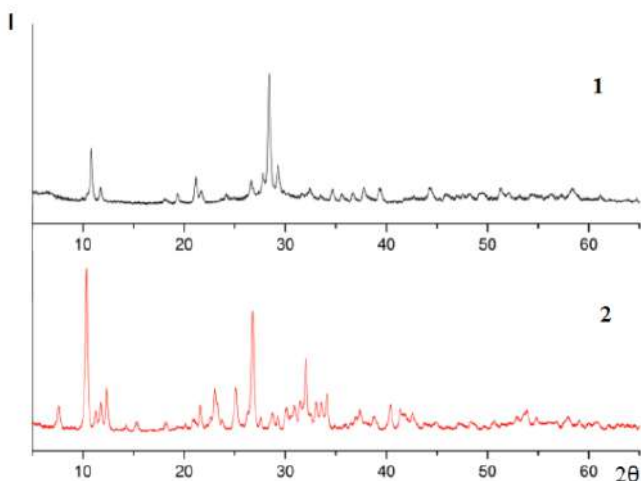


Рис.2 - Дифрактограммы образцов, полученных при температуре 25°C и соотношениях $n = 1$ в перхлоратном (1) и азотнокислом растворах висмута (2)

Предположительно, получение нитратов в данном случае можно объяснить высоким значением ПР исследуемых соединений по сравнению с основными нитратами висмута. Можно сделать вывод, что ПР соединений висмута с аминокислотой занимает промежуточное значение между перхлоратом и основным нитратом висмута.

Литература:

1. Синтез и свойства комплексных солей биогенных кислот макро- и микроэлементов. Монография / Р.Г. Кадырова, Г.Ф. Кабирова, Р.Р. Муллахметов. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. – 115 с.
2. Юхин Ю.М., Найдено Е.С., Даминов А.С., Мищенко К.В., Тимакова Е.В., Афонина Л.И., Логутенко О.А. Получение соединений висмута для техники и медицины // Химия в интересах устойчивого развития. 2018. Т.26, № 3. С. 345-351. DOI: 10.15372/KhUR20180309

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ЭКСТРАКЦИИ НА АНТИМИКРОБНУЮ АКТИВНОСТЬ ИЗВЛЕЧЕНИЙ ТРУТОВИКА БЕРЕЗОВОГО

Л.С. Зеневич

УП «Унитехпром БГУ», г. Минск, unitechprombgu@gmail.com

Научные руководители: Г.И. Горбацевич, к.х.н., доцент,

Бычковский П.М., к.х.н., доцент

*Изучены составы и антимикробная активность извлечений из трутовика берёзового. Установлено, что перколяция позволяет выделить из плодовых тел трутовика берёзового терпеноиды в высокой концентрации. Все экстракты показали сопоставимую с действием антибиотиков антимикробную активность в отношении *S. aureus*, *B. subtilis* и *P. aeruginosa*, что обусловлено наличием в составах тритерпеновых кислот, идентифицированных методом ВЭЖХ-МС. Полученные результаты позволяют рассматривать трутовик берёзовый в качестве сырья для получения эффективных антимикробных средств.*

*The compositions and antimicrobial activity of extracts from birch polypore have been studied. It was found that percolation allows to isolate terpenoids in high concentration from birch polypore fruit bodies. All extracts showed antimicrobial activity comparable to the action of antibiotics against *S. aureus*, *B. subtilis* and *P. aeruginosa*, which is due to the presence of triterpene acids identified by HPLC-MS in their compositions. The obtained results allow us to consider birch polypore as a raw material for obtaining effective antimicrobial drugs.*

В последнее время проблема антибиотикорезистентности актуальна во всем мире. Устойчивость к антибиотикам значительно снижает действенность терапии, что приводит к повышению смертности среди пациентов, а также возрастанию расходов на лечение [1]. С ростом частоты инфекций, вызванных полирезистентными штаммами

микроорганизмов, особое внимание уделяется разработке новых антимикробных агентов. Перспективным подходом к борьбе с полирезистентными штаммами бактерий и грибов является использование антимикробных агентов, действующих сразу на несколько биологических мишеней, что повышает эффективность химиотерапии и снижает вероятность одновременных мутаций в нескольких генах [2]. В связи с этим наблюдается возобновление интереса к препаратам природного происхождения и возможному использованию грибов из традиционной медицины, обладающих антимикробными свойствами, что сопровождается исследованиями по установлению их состава и медицинских свойств с помощью современных научных методов.

Трутовик берёзовый (*Piptoporus betulinus*) — широко распространённый полипор, обладает множеством типов биологической активности (противоопухолевая, противовоспалительная, противовирусная, антиоксидантная, противогрибковая, антимикробная, цитотоксичность против ряда клеток и другие [3-5]), проявляемых за счёт наличия большого разнообразия соединений в составе (тритерпеновые кислоты ланостанового типа, полисахариды, спирты, кетоны, соединения с тритерпеновой и стероидной структурами, фенольные соединения, жирные кислоты, антибиотик пиптамин, свободные аминокислоты [3,5]), не токсичен, что позволяет рассматривать в качестве перспективного лекарственного сырья.

В ходе работы различными методами получены извлечения из высушенного, ферментированного и замороженного сырья трутовика берёзового, изучены их составы и антимикробная активность.

Наибольший выход экстрактивных веществ при меньшем количестве исходного сырья показали методы мацерации (14,82-25,72 %) и перколяции (18,49 %). Также перколяция позволяет выделить из плодовых тел *P. betulinus* терпеновые и стероидные соединения в высокой концентрации (390,627 мг/г). Однако, данные методы длительны и требуют больших затрат чистого экстрагента, чем циркуляционная экстракция в аппарате Сокслета.

Наилучшими показателями антимикробной активности за счёт высокого содержания в составе терпеноидов (716,543 ± 15,4 мг/г), обладает экстракт замороженного сырья (таблица 1) и его можно рассматривать в качестве антимикробного средства. Высокий уровень антимикробной активности продемонстрировали экстракты высушенного сырья, полученные методами мацерации и перколяции. А результаты для предварительно ферментированного 24 и 48 часов сырья показали, что с увеличением времени ферментирования повышается

антимикробная активность экстрактов (для *S. aureus* с $7,25 \pm 0,4$ до $9,25 \pm 0,6$ мм, для *P. aeruginosa* с $5,25 \pm 0,2$ до $6,25 \pm 0,3$ мм), что также объясняется увеличением количественного содержания терпеноидов (содержание терпеноидов в экстрактах 15,680 и 30,402 мг/г соответственно).

Таблица 1 — Диаметры (мм) зон ингибирования роста тест-штаммов микроорганизмов экстрактами гриба *P.betulinus* и антибиотиками

Микроорганизм/ № образца	<i>S. aureus</i> ATCC 15442	<i>P. aeruginosa</i> ATCC 6538	<i>E. coli</i> ATCC 11229	<i>B. subtilis</i> 26 D
Высушенный	$9 \pm 0,4$	$6,75 \pm 0,4$	—	$3,5 \pm 0,4$
Ферментированный 24ч.	$7,25 \pm 0,4$	$5,25 \pm 0,2$	—	$3 \pm 0,4$
Ферментированный 48ч.	$9,25 \pm 0,6$	$6,25 \pm 0,3$	—	$3 \pm 0,5$
Замороженный	$9,5 \pm 0,5$	$7,25 \pm 0,3$	—	$4 \pm 0,3$
Перколят	$8 \pm 0,7$	$7 \pm 0,5$	—	$10 \pm 0,6$
Ампициллин	$26,6 \pm 0,6$	$16,6 \pm 0,8$	$21,4 \pm 0,5$	$24,6 \pm 0,5$
Левомецетин	$19,4 \pm 0,8$	$16,6 \pm 0,5$	$19,4 \pm 0,5$	$16 \pm 0,2$
Азлоциллин	$32,6 \pm 0,9$	$18,6 \pm 0,4$	$18,6 \pm 0,9$	$19,4 \pm 0,4$

Полученные результаты высокой антимикробной активности извлечений, сравнимой с активностью антибиотиков (таблица 1), могут быть обусловлены тритерпеновыми кислотами ланостанового типа (полипореновыми кислотами А и С, являющихся антимикробными агентами), идентифицированными методом ВЭЖХ-МС из очищенных извлечений (рисунок 1, 2), и представляют интерес в качестве источника антибиотиков нового класса, сочетающих антимикробную, противовоспалительную и цитостатическую активность.

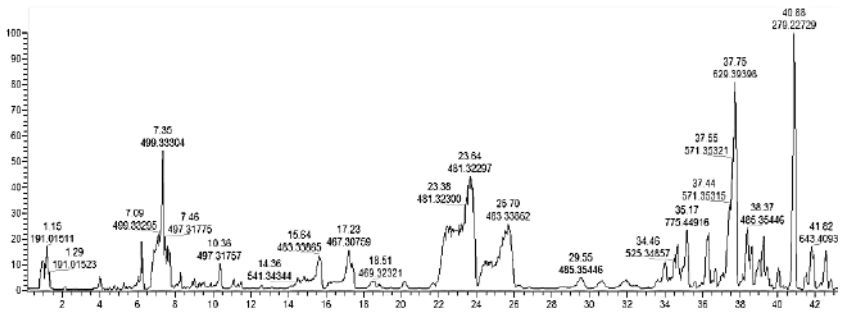


Рис. 3 — Хроматограмма мацерата замороженного сыра

Литература:

1. Беляя, Я.С. Проблема антибиотикорезистентности микроорганизмов в современном мире / Я. С. Беляя, В. О. Лемешевский // Конференция «Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI века». Материалы 20-й международной научной конференции. – Минск, 2020. – Т.2. – С. 24-26.
2. Горбацевич, Г. И. Биоактивные металлокомплексы производных 4,6-ди-трет-бутил-2,3-дигидроксибензальдегида: антиоксидантная и антимикробная активность / Г. И. Горбацевич [и др.] // Свиридовские чтения: сб. ст. Вып. 14. — Минск: Изд. центр БГУ, 2018. — С. 53-63.
3. Sułkowska-Ziaja, Katarzyna. Chemical composition and biological activity of extracts from fruiting bodies and mycelial cultures of *Fomitopsis betulina* / Katarzyna Sułkowska-Ziaja, Agnieszka Szewczyk [et al.] // *Molecular Biology Reports*. – 2018. – Vol. 45. – P. 2535 – 2544.
4. Keller, Caroline. Screening of European Fungi for Antibacterial, Antifungal, Larvicidal, Molluscicidal, Antioxidant and Free-Radical Scavenging Activities and Subsequent Isolation of Bioactive Compounds / Caroline Keller, Marc Maillard, Jean Keller, Kurt Hostettmann // *Pharmaceutical Biology*. – 2002. – Vol. 40, № 7. – P. 518-525.
5. Sułkowska-Ziaja, Katarzyna. *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst. – bogate źródło związków aktywnych biologicznie / Katarzyna Sułkowska-Ziaja [et al.] // *Postępy Fitoterapii*. – 2015. – Vol. 2. – P. 89 – 95.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ Ag-AgI-Al₂O₃ МЕТОДОМ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В.В. Иванников¹, Н.Ф. Уваров^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет,

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

г. Новосибирск, vladimirivannikov7488@gmail.com

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

Проведены исследования транспортных свойств композитов в тройной системе Ag – AgI – Al₂O₃ методом импедансной спектроскопии. Показано, что для композиций с низким содержанием металлического серебра, проводимость является преимущественно ионной (за счет ионов Ag⁺), при этом наблюдается нелинейное изменение проводимости в зависимости от концентрации оксида алюминия Al₂O₃. Это обусловлено тем, что ионная проводимость в композитах осуществляется вдоль границ раздела фаз AgI/Al₂O₃.

The transport properties of composites in the ternary system Ag – AgI – Al₂O₃ were studied using impedance spectroscopy. It has been shown that for compositions with a low content of metallic silver, the conductivity is predominantly ionic (due to Ag⁺ ions), and a nonlinear change in conductivity is observed depending on the concentration of aluminum oxide Al₂O₃. This is due to the fact that ionic conductivity in composites occurs along the AgI/Al₂O₃ phase boundaries.

Выявление и лечение сердечно-сосудистых заболеваний невозможны без применения современных методов, например, электрокардиография, а также другие методики медицинской диагностики. Основой в этих методах является биосенсоры [1]. В настоящей работе в качестве материалов для биосенсоров предполагается использовать композитные материалы на основе трехфазных систем Ag - оксидная матрица - AgI. Металлическое серебро не токсично, не подвержено коррозии в контакте с живой тканью, а также обладает бактерицидными свойствами. Твердые электролиты на основе AgI с проводимостью по ионам серебра являются химическими аналогами хлорида серебра, используемого в биосенсорах [2]. В контакте с металлическим серебром соединения серебра образуют электроды второго рода, обладающие стабильным значением электродного потенциала. При этом иодид серебра, обладает гораздо более высокой проводимостью при комнатной температуре, что позволит существенно увеличить качество измеряемого биопотенциала. Введение оксида позволяет дополнительно увеличить проводимость иодида серебра за счет влияния границ раздела фаз на транспортные свойства ионной соли [3, 4]. В качестве оксидной добавки был выбран нанокристаллический оксид алюминия. Создание композита приведет к

резкому увеличению ионной проводимости иодида серебра, к уменьшению электродного сопротивления.

Целью настоящего проекта является получение трехфазных композитных материалов $\text{Ag-AgI-Al}_2\text{O}_3$ в широком диапазоне составов и исследование их электропроводности.

Композиты были получены смешиванием порошков серебра, иодида серебра и оксида алюминия в ступке с последующим прогревом в сушильном шкафу при 250°C в течение 2 часов. В качестве оксида алюминия был взят образец носителя катализаторов ИКТ-02, представляющий собой $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ с удельной поверхностью $200 \text{ м}^2/\text{г}$, предварительно прогретый при 600°C . Из прогретых образцов методом холодного прессования при давлении 50 Мпа были получены таблетки с серебряными металлическими электродами, на которых проводились электрические измерения.

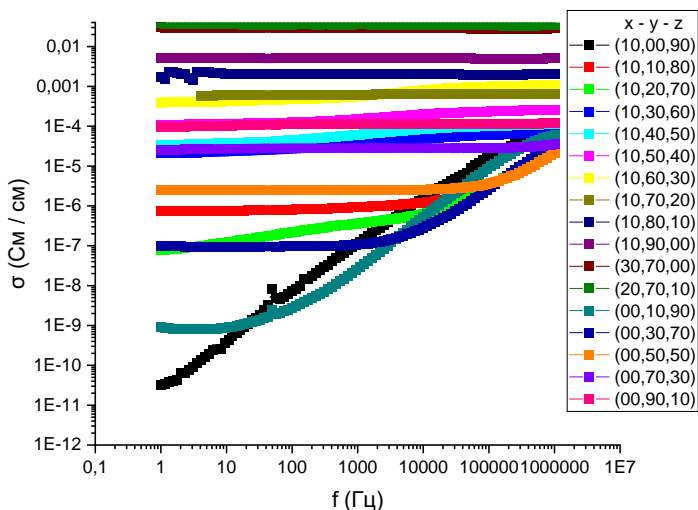


Рис. 1 – Зависимость удельной проводимости от частоты для композитов $x\text{Ag} - y\text{AgI} - z\text{Al}_2\text{O}_3$ различного состава

Импедансные измерения были проведены на приборе MFIA Impedance Analyzer Precision LCR Meter (Zurich Instruments, Швейцария) в диапазоне частот 1 Гц – 1 МГц. Результаты измерений представляли собой значения частоты переменного поля f (Гц), действительной Z' (Ом) и мнимой Z'' (Ом) составляющей импеданса при каждой частоте. Значения удельной проводимости σ (См/см) рассчитывались по формуле

$$\sigma = \frac{1}{Z'} \cdot \frac{L}{S}, \quad (1)$$

где Z' - активная составляющая импеданса образца в области частот, при которых проводимость не зависит от частоты, S - площадь образца, L - толщина таблетки.

Зависимость удельной проводимости от частоты и от объемной доли компонентов композита представлена на рисунке 1 и 2 соответственно.

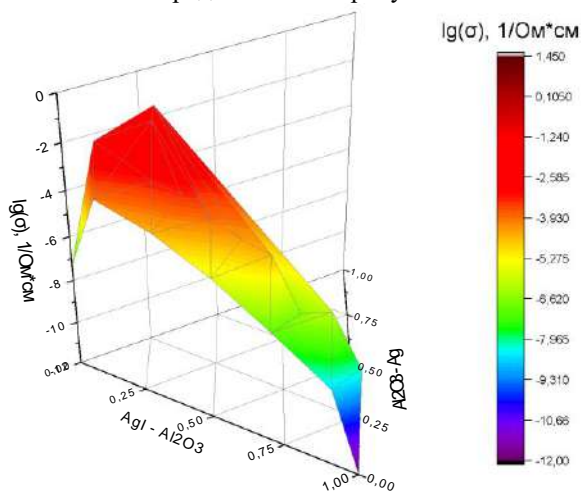


Рис. 2 – Зависимость удельной проводимости от объемной доли компонентов композита.

Результаты измерения показали, что наиболее высокие значения проводимости наблюдаются у составов 20Ag - 70AgI - 10Al₂O₃ и 30Ag - 70AgI - 0Al₂O₃ (где цифрами обозначена объемное процентное содержание компонентов). Такой результат закономерен, так как в этих составах больше серебра (который является наилучшим проводником в данной системе) чем в остальных образцах. Самой низкой проводимостью обладает образец 10Ag - 0AgI - 90Al₂O₃. Показано, что для композиций с низким содержанием металлического серебра, проводимость является преимущественно ионной (за счет ионов Ag⁺). При этом наблюдается нелинейное изменение проводимости в зависимости от концентрации оксида алюминия Al₂O₃. Это обусловлено тем, что ионная проводимость в композитах осуществляется вдоль границ раздела фаз AgI/Al₂O₃ [4].

На следующем этапе работы будут продолжены работы по исследованию транспортных свойств тройной системы Ag - AgI - Al₂O₃,

на основании которых будут выбраны наиболее перспективные составы для использования в кардиографических сенсорах.

Работа выполнена в рамках Тематического плана № ТП-ХХТ-1_23

Литература:

1. N. Meziane, J. G. Webster, M. Attari, A. J. Nimunkar. Dry electrodes for electrocardiography *Physiol. Meas.* 34 (2013) R47–R69.

2. I.A. Malbakhova, A.I. Titkov, N.F. Uvarov, A.S. Ulihin / Synthesis of graphite/Ag/AgCl nanocomposite electrode materials // *Materials Today: Proceedings*, 2020, V.25, pp. 398-400.

3. Uvarov N.F., Vaněk P., Savinov M., Železný V., Studnička V., Petzelt J. Percolation effect, thermodynamic properties of AgI and interface phases in AgI-Al₂O₃ composites. *Solid State Ionics*, (2000) 127 (3), pp. 253-267.

4. Уваров Н.Ф. Композиционные твердые электролиты. Новосибирск, Изд. СО РАН, 2008, 256 с.

ВЫБОР ИОНИТА ДЛЯ СОРБЦИИ УРАНА ИЗ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ СЕРНОКИСЛОТНОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ХЛОРИД-ИОНОВ

В.Е. Каёткин, М.И. Расторгуева, С.М. Титова

**Уральский федеральный университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, vadim.kaetkin@urfu.ru
Научный руководитель: Рычков В.Н., д.х.н., профессор**

В работе представлено исследование сорбции урана анионитами из сернокислых продуктивных растворов скважинного подземного выщелачивания с повышенным содержанием хлорид-ионов с последующей десорбцией с целью определения наиболее эффективного из них.

The paper presents a study of sorption of uranium from sulfuric-acid in-situ leaching pregnant solutions with high content of chloride-ions by anionites with subsequent desorption to determine the most effective of them.

В настоящее время ведутся работы по освоению уранового месторождения Добровольное методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ). Извлечение урана из руд осуществляется растворами серной кислоты, однако продуктивные растворы (ПР) данного месторождения отличаются повышенным содержанием хлорид-ионов до 7-9 г/дм³. Для выделения урана из ПР, полученных в ходе СПВ, применяется метод анионного обмена. Однако используемый в

настоящее время в технологии урана анионит не эффективен для переработки ПР с повышенным содержанием хлорид-ионов из-за конкурентной сорбции Cl^- - ионов и, как следствие, снижения емкостных характеристик по урану [1, 2]. Для решения данной проблемы необходимо осуществить поиск анионита, обеспечивающего эффективное извлечение урана из сульфатно-хлоридных продуктивных растворов.

Цель работы заключалась в выборе анионита для сорбции урана из сернокислых ПР СПВ с повышенным содержанием хлорид-ионов. Для исследования были выбраны аниониты АМП (ГП «Смолы», Украина), АМ-4ВП (ГП «Смолы», Россия) и Ахionit VPA-2 (АО «Аксион-РДМ», Россия).

Перед началом исследования аниониты кондиционировали раствором серной кислоты с концентрацией 20 г/дм^3 при фазовом соотношении твердого к жидкому, равном 1:100. Время кондиционирования составило 3 суток. По истечении указанного времени фазы разделяли, иониты отмывали дистиллированной водой на нутч-филтре до достижения рН 4-5 в маточных растворах промывки. Затем иониты оставляли сушить на воздухе.

Сорбцию вели в статическом режиме. Для этого навеску анионита в воздушно-сухом состоянии массой 50 мг приводили в контакт с 40 см^3 продуктивного раствора, содержащего $\text{U} - 30 \text{ мг/дм}^3$; $\text{Cl}^- - 8 \text{ г/дм}^3$; $\text{H}_2\text{SO}_4 - 4 \text{ г/дм}^3$ при постоянном перемешивании и температуре 20°C . Время контакта фаз составило 7 суток. Далее фазы разделяли, отбирали пробы маточников сорбции, направляли на количественный элементный анализ методом ICP-AES. В таблице 1 приведены значения сорбируемости урана исследуемыми анионитами.

Таблица 1 – Сорбируемость урана анионитами из сульфатно-хлоридного продуктивного раствора

Ионит	Структура	Функциональная группа	Сорбируемость U, мг/г ионита
АМП	Гелевый	Бензилпиридиниевая	7,6
АМ-4ВП	Макропористый	Винилпиридиновая	19
Ахionit VPA-2	Макропористый	Винилпиридиновая	21

Полученные значения сорбируемости урана анионитами демонстрируют неэффективность анионита АМП.

На следующем этапе исследования проводилась сорбция урана в динамическом режиме. Сорбцию урана осуществляли из модельного

раствора, содержащего $U - 28 \text{ мг/дм}^3$; $Cl^- - 8 \text{ г/дм}^3$; $H_2SO_4 - 4 \text{ г/дм}^3$. Аниониты предварительно кондиционировали раствором серной кислоты с концентрацией 20 г/дм^3 , затем отмывали дистиллированной водой на нутч-филтре до достижения pH 4-5 в фильтрате.

В вертикально установленные колонки загружали по 5 см^3 анионитов в набухшем состоянии. Фильтрацию растворов осуществляли в направлении сверху вниз при удельной объемной нагрузке на колонку, равной 1,5 объемам раствора через 1 объем ионита за 1 ч. Маточки сорбции отбирали на выходе из колонки фракциями. Растворы анализировали на содержание урана методом ICP-AES. Процесс вели до уравнивания концентраций урана на входе и выходе из колонок. Выходные кривые сорбции урана на анионитах приведены на рис. 1, значения динамической обменной емкости (ДОЕ) и полной динамической обменной емкости (ПДОЕ) приведены в табл. 2.

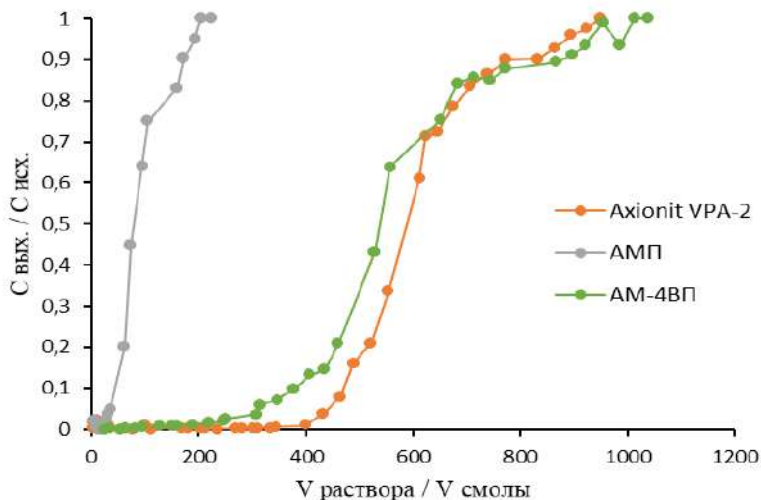


Рис.1 – Выходные кривые сорбции урана

Таблица 2 – Значения динамических обменных характеристик анионитов

Параметр	АМП	АМ-4ВП	Axionit VPA-2
ДОЕ при проскоке $1 \text{ мг } U/\text{дм}^3$, кг/т	2,15	20,30	32,42
$V(\text{раствора})/V(\text{смолы})$ до проскока	30,5	305,2	427,6
ПДОЕ, кг/т	6,1	37,9	46,2
$V(\text{раствора})/V(\text{смолы})$ при насыщении	206	1010	945

Далее проводили десорбцию урана из фазы насыщенных анионитов. Десорбцию осуществляли смешанным раствором NH_4NO_3 (65 г/дм³ по NO_3^- - иону) + H_2SO_4 (25 г/дм³). Фильтрацию элюента осуществляли в направлении сверху вниз при удельной объемной нагрузке на колонку, равной 1,5 объемам раствора через 1 объем ионита за 1 ч. Десорбаты отбирали на выходе из колонок фракциями. Растворы анализировали на содержание урана методом ICP-AES. Время фильтрации элюирующего раствора составило 24 ч. Выходные кривые десорбции урана приведены на рис. 2, значения параметров процесса приведены в табл. 3.

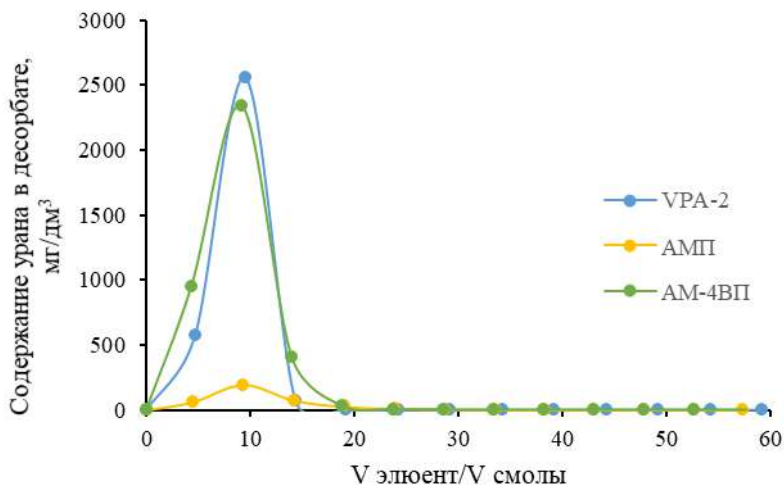


Рис. 2 – Выходные кривые десорбции урана раствором NH_4NO_3 (65 г/дм³ по NO_3^- - иону) + H_2SO_4 (25 г/дм³)

Таблица 3 – Показатели десорбции урана раствором $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$

Ионит	Содержание урана в ионите до десорбции, кг/т	Остаточное содержание урана в ионите, кг/т	Степень десорбции урана, %	Максимальное содержание урана в десорбате, мг/дм ³
AMП	6,1	1,5	75,41	186
Axionit VPA-2	46,2	3,1	93,29	2550
AM-4ВП	37,9	0,3	99,21	2330

Из полученных результатов можно сделать вывод о целесообразности применения винилпиридиновых анионитов AM-4ВП

и Axionit VPA-2 для сорбции урана из сернокислых ПР СПВ с повышенным содержанием хлорид-ионов ввиду их высоких значений сорбционных характеристик по урану даже в условиях конкурентной сорбции Cl^- - ионов. Кроме того, данные аниониты обеспечивают высокие степени десорбции урана смешанным сульфатно-нитратным раствором NH_4NO_3 (65 г/дм³ по NO_3^- - иону) + H_2SO_4 (25 г/дм³).

Литература:

1. Impact of chloride on uranium (VI) speciation in acidic sulfate exchange systems: Toward seawater-tolerant mineral processing circuits / E.M. Moon, M.D. Ogden, C.S. Griffith, A. Wilson, J.P. Mata // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2017, V. 51. – p. 255-263.

2. Сорбционное извлечение урана из продуктивных растворов с повышенным содержанием хлорид-ионов / С. Ю. Скрипченко, С. М. Титова, Т. А. Жевлакова, А. Л. Смирнов // Физика. Технологии. Инновации : тезисы докладов V Международной молодежной научной конференции, посвященной памяти Почетного профессора УрФУ В. С. Кортova (Екатеринбург, 14–18 мая 2018 г.) : Секция 3. Химические технологии. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2018. – С. 64-65.

ПОЛУЧЕНИЕ ОСНОВНОГО НИТРАТА ВИСМУТА

С.А. Камнев^{1,2}, Е.С. Коледова¹

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт химии твердого тела СО РАН,

г. Новосибирск, kamnev.2020@stud.nstu.ru

Научный руководитель: Коледова Е.С., к.х.н., с.н.с.

В материале рассматривается синтез основного нитрата висмута и данные химического анализа полученного продукта.

The material considers the synthesis of basic bismuth nitrate—and the chemical analysis data of the resulting product.

Висмут и его соединения востребованы в различных областях. В зависимости от состава, висмут находит применения в электронной промышленности, металлургии, керамической промышленности, фармакологии и других областях. Большой интерес вызывают нитраты висмута, применяемые в различных областях техники и медицины, а

также в качестве прекурсоров для получения других соединений висмута [1].

Известно более 20-ти различных составов нитратов висмута с разным мольным соотношением висмута и нитрат-ионов, например, $[\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4](\text{NO}_3)_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{Bi}_5\text{O}_7\text{NO}_3$, $[\text{Bi}_6\text{O}_7(\text{OH})_2](\text{NO}_3)_2$, $[\text{Bi}_6\text{O}_6(\text{OH})_2](\text{NO}_3)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и др. [2]. Различие составов обусловлено, по-видимому, различными условиями синтеза данных соединений.

Основные нитраты висмута обычно получают осаждением ионов висмута гидроксидом аммония, с последующей промывкой осадка. Одним из факторов, влияющим на различие состава, является pH раствора. Так, при разбавлении водой азотнокислого раствора висмута в интервале pH 1,8-2,1 образуется продукт состава $[\text{Bi}_6\text{O}_6(\text{OH})](\text{NO}_3)_5 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$, а в области pH от 2,6 до 3,5 соединение состава $[\text{Bi}_6\text{O}_6(\text{OH})_2](\text{NO}_3)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [3]. Помимо pH раствора, немаловажную роль играют температура, соотношение реагентов, объем реакционной смеси и прочие факторы.

Целью работы является синтез основного нитрата висмута и проведение физико-химического анализа полученного образца.

Синтез основного нитрата висмута осуществлялся следующим образом. К 225 мл раствора гидроксида аммония с концентрацией 6,25 моль/л при перемешивании добавляли 37 мл азотнокислого раствора висмута с содержанием последнего 444,125 г/л. Время синтеза 30 мин, температура $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$. Образовавшийся белый осадок отделяли от маточного раствора путем фильтрования при помощи воронки Бюхнера и колбы Бунзена, промывали дистиллированной водой и сушили на воздухе.

Дифрактограмма образца приведена на рис .1.

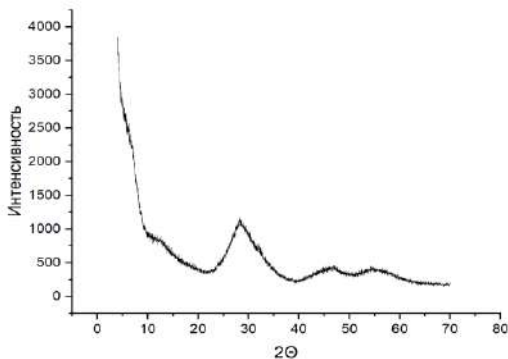


Рис 1 – Дифрактограмма образца

Содержание висмута в полученном образце определено методом комплексонометрического титрования с трилоном Б, содержание нитрат-ионов – фотоколориметрическим методом с использованием салицилата натрия. Мольное соотношение ионов висмута и нитрат-ионов составляет 2,7:1. Определение точного состава полученного соединения требует дальнейшего исследования физико-химических характеристик.

Дальнейшее изучение механизма получения нитратов висмута требуемого состава позволит создавать продукты, имеющие более высокую химическую активность. Разнообразие состава и возможность управлять ходом реакции с целью получения продукта с заданными свойствами позволит получать более эффективные прекурсоры для создания веществ, востребуемых для нужд техники и медицины.

Литература:

1. Получение соединений висмута для техники и медицины / Юхин Ю.М., Найденко Е.С., Даминов А.С., Мищенко К.В., Тимакова Е.В., Афонина Л.И., Логутенко О.А., // Химия в интересах устойчивого развития. – 2018. – Т. 26, № 3. – С. 345–351.
2. Юхин Ю.М., Коледова Е.С., Логутенко О.А. Висмут и его соединения в медицине. – М.: Изд-во НИСО РАН, 2022. – 234 с.
3. Юхин Ю.М., Мищенко К.В., Даминов А.С. Получение растворов солей висмута с предварительным его окислением // Теоретические основы химической технологии. – 2017. – №4. –С. 470–477.

СИНТЕЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СМЕСИ МХЕНОВ

Н.Н. Киселева¹, Н.Ф. Уваров^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт химии твердого тела и механохимии,

г. Новосибирск, nata_kiss2000@mail.ru

Проведен синтез МХенов из смеси МАХ-фаз Ti_2AlC и Ti_3AlC_2 в растворе NH_4F-HCl . Продукты травления исследовали методом рентгенофазового анализа. Были впервые получены образцы композитов, представляющие собой смесь МХенов состава Ti_3C_2 и Ti_2C .

The synthesis of MXenes from a mixture of MAX-phases Ti_2AlC and Ti_3AlC_2 in NH_4F-HCl solution was carried out. The etching products were examined by X-ray phase analysis. Samples of composites representing a mixture of MXenes of the composition Ti_3C_2 and Ti_2C were obtained for the first time.

Развитие многих областей техники в настоящее время связано с созданием материалов, отвечающих самым высоким требованиям. Новыми и перспективными материалами в этом отношении являются соединения группы тройных карбидов или нитридов – МАХ-фазы, имеющие уникальную слоистую структуру, которая обеспечивает сочетание достоинств металлов и керамики. МАХ-фазы – это семейство тройных слоистых соединений с формальной стехиометрией $M_{n+1}AX_n$, где n – это числа 1, 2 или 3, M - переходный d-металл, A - р-элемент побочной подгруппы таблицы Менделеева, X – углерод или азот [1]. Данные соединения имеют гексагональную структуру, и в зависимости от коэффициента n МАХ-фазы относят к классам M_2AX (211), M_3AX_2 (312) или M_4AX_3 (413).

Наиболее перспективной в обозримом будущем областью применения МАХ-фаз является получение МХенов (максенов), двумерных карбидов и нитридов переходных металлов, открытых в 2011 году [2]. Исследователями из США было обнаружено, что при химической обработке МАХ-фаз, содержащих алюминий, растворами плавиковой кислоты и/или её солей образуются так называемые МАХены, состоящие из отдельных монослоев карбида или нитрида, окруженные такими группами, как гидроксил- или фтор-ионы, увеличивающими их гидрофильность. В настоящее время изучены свойства индивидуальных МХенов, композиты на основе этих фаз до сих пор не исследовались.

Целью настоящей работы был синтез композитов на основе максенов, полученных выщелачиванием алюминия из смеси МАХ-фаз Ti_2AlC и Ti_3AlC_2 . В данном исследовании использовалось 5 образцов МАХ-фаз, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) на лабораторной установке в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН. Для получения МХенов 0,5 г МАХ-фазы погружали в 20 мл раствора, содержащего 2,96 г NH_4F и HCl (36 мас. %) [1]. Раствор выдерживали 24 часа при 30 °С при постоянном перемешивании в магнитной мешалке. После этого образцы несколько раз промывались деионизированной водой и высушивались в сушильном шкафу при температуре 100 °С.

Кристаллическую структуру исходных образцов и продуктов выщелачивания исследовали методом рентгеновской дифракции с помощью дифрактометра Bruker Advance D8 с использованием излучения $K\alpha Cu$. Для обработки дифрактограмм и интерпретации данных использовали базу данных PDF-4, для количественной оценки параметров решетки и концентрации фаз применяли пакет программ TOPAS 2.0.

По данным рентгенофазового анализа, исходные образцы представляли собой смеси МАХ-фаз Ti_2AlC и Ti_3AlC_2 . Дифрактограмма образца, полученного выщелачиванием представлена на рисунке 1.

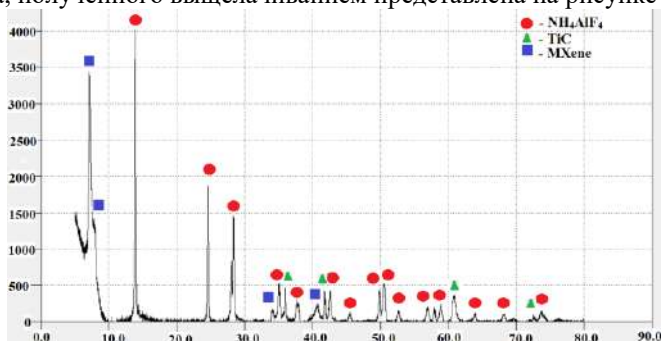
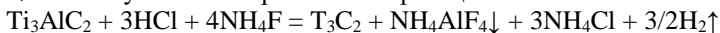


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы образца, полученного выщелачиванием смеси МАХ-фаз в растворе NH_4F и HCl в течение 24 час при $30^\circ C$

Результаты анализа дифрактограммы показали, что в образце присутствует смесь МХенов, о чем свидетельствуют пики при 7.2° и 7.5° . В этом образце присутствовало значительное количество примесей в виде NH_4AlF_4 и TiC . Образование нерастворимой в воде примеси NH_4AlF_4 было обусловлено протеканием реакции



Для удаления NH_4AlF_4 осадок был промыт раствором NH_4F , а затем водой. В результате протекания реакции



образовалось водорастворимое соединение $(NH_4)_3AlF_6$, которое отмывалось от осадка. Рентгеновская дифрактограмма образца, полученного повторной отмывкой, представлена на рисунке 2.

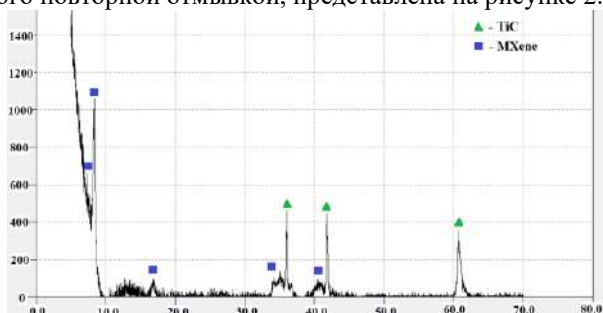


Рис. 2. Дифрактограмма образца после повторной отмывки

На дифрактограмме отмытых образцов полностью отсутствуют рефлексы, принадлежащие к NH_4AlF_4 . На дифрактограмме присутствуют рефлексы, относящиеся к карбиду титана. Карбид титана является побочным продуктом синтеза исходных МАХ-фаз, эта фаза устойчива к действию травителей. Все остальные рефлексы при $2\theta = 7.2^\circ, 7.5^\circ, 16.9^\circ, 35.2^\circ$ и 40.6° соответствуют МХенам и их положение хорошо согласуется с данными, представленными в работе [3].

Таким образом, впервые получены образцы композитов, представляющие собой смесь МАХенов состава Ti_3C_2 и Ti_2C . В дальнейшем планируется изучить их функциональные свойства.

Работа выполнена в рамках Тематического плана № ТП-ХХТ-1_23

Литература:

1. Barsoum M.W. The $\text{M}_{n+1}\text{AX}_n$ phases: a new class of solids; thermodynamically stable nanolaminates. // Progress in Solid State Chemistry. – 2000. – Vol. 28. – P. 201-281. – doi: 10.1016/S0079-6786(00)00006-6.

2. Amini S., Barsoum M.W. On the effect of texture on the mechanical and damping properties of nanocrystalline mg-matrix composites reinforced with max phases // Materials Science and Engineering: A. – 2010. – Vol. 527. – P. 3707-3718.

3. Lui F. Preparation of Ti_3C_2 and Ti_2C MXenes by fluoride salts etching and methane adsorptive properties / F. Lui, et al // Applied Surface Science. – 2017. – №416. – P. 781–789.

ПОДГОТОВКА СЕРНОКИСЛЫХ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА ИЗ ТВЕРДЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ К СОРБЦИОННОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ

**М.Е. Колтышев, М.А. Нечкин, К.А. Наливайко
УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, mrs140@mail.ru
Научный руководитель: Скрипченко С.Ю., к.т.н., доцент**

В данной работе исследован процесс подготовки продуктивных растворов сернокислотного выщелачивания урана из отходов конверсионного уранового производства, заключающийся в осаждении железа и ряда примесей. Установлено, что процесс необходимо вести 14% водным раствором аммиака

при $pH=3,5$, что обеспечивает снижение концентрации Fe в продуктивном растворе с 2,501 до 0,702 г/дм³, а также очистку от Ca , Mg и Al .

In this work, the process of preparing of pregnant solutions after uranium sulfuric acid leaching from uranium conversion production wastes was studied. The process involved the precipitation of iron and a few impurities by use of 14% aqueous solution of ammonia. It has been established that the precipitation must be carried out at $pH = 3.5$. This mode ensured a decrease in the concentration of Fe in the pregnant solution from 2.501 to 0.702 g L⁻¹ as well as purification from Ca , Mg and Al .

В последние годы в мире ведется активное развитие ядерной энергетики, что влечет за собой увеличение темпов добычи и переработки урана, а значит и количества образующихся при этом твердых радиоактивных отходов (РАО). На сегодняшний день в приповерхностных хранилищах предприятий урановой промышленности находятся миллионы тонн урансодержащих шламов, представляющих опасность для окружающей среды и жизни граждан. Несмотря на существующий комплекс инженерных решений, направленных на предупреждение попадания вредных веществ в экосистему, гарантировать полную их изоляцию невозможно. Поэтому решение проблемы сокращения количества твердых РАО, размещенных в приповерхностных хранилищах, представляет на сегодня важную экологическую задачу. Кроме того, данные шламы являются потенциальным источником урана, что говорит об актуальности данного вопроса и для атомной энергетики.

В настоящее время в России единственным предприятием, которое разрабатывает проект извлечения урана из накопленных в ходе производственной деятельности твердых радиоактивных отходов, является АО «Чепецкий механический завод» (г. Глазов, Удмуртская Республика). По оценкам специалистов только в одном из приповерхностных хранилищ предприятия содержится около 2 млн. т урансодержащих шламов. При этом запасы урана в них составляют порядка 14500 т, что позволяет организовать промышленную переработку данных отходов [1].

Одним из наиболее экономически целесообразных способов извлечения урана из твердых РАО является выщелачивание. Общепринятыми способами извлечения урана из рудного сырья являются кислотное и карбонатное выщелачивание. Преимуществом карбонатного выщелачивания по сравнению с кислотным вариантом является возможность уже на данной стадии отделить уран от большого числа примесей. Однако карбонатные растворы не растворяют рудную матрицу, и необходимо, чтобы зерна целевого компонента были доступны реагенту хотя бы в одной плоскости. Кроме того, скорость

процесса невелика, а значит, время контакта рудного сырья с выщелачивающим агентом, необходимое для полного извлечения урана в раствор, намного выше, чем при кислотном варианте. Поэтому схемы выщелачивания с применением кислот получили более широкое распространение в технологии урана.

На предыдущем этапе работы для выщелачивания урана из твердых отходов приповерхностного хранилища АО «ЧМЗ» была использована серная кислота. Было установлено, что применение данного реагента обеспечивает высокую степень выщелачивания урана (около 99%). Однако при этом в продуктивный раствор переходит и большинство примесных элементов, включая железо, что значительно снижает эффективность последующей его сорбционной переработки с целью очистки и концентрирования урана. Уран в сернокислых растворах может находиться в виде катиона уранила, недиссоциированной молекулы уранилсульфата и в виде сульфатных комплексных анионов, поэтому для его извлечения можно использовать как катиониты, так и аниониты. Однако предпочтение при сорбционной переработке сернокислых урансодержащих растворов отдается анионитам, так как они более селективны по отношению к урану. Главным образом это связано с тем, что большая часть примесей находится в растворах в катионной форме, и, следовательно, не участвует в обмене [2-6]. Основным конкурентом при сорбции урана анионитами является железо. Оно сорбируется в виде комплексов $[\text{Fe}(\text{SO}_4)_2]^-$, $[\text{Fe}(\text{SO}_4)_3]^{3-}$ и $[\text{Fe}(\text{OH})(\text{SO}_4)_2]^-$. Это снижает емкостные характеристики анионитов по урану и приводит к загрязнению конечного уранового концентрата железом. Поэтому цель данной работы заключалась в исследовании процессов очистки продуктивных растворов сернокислотного выщелачивания урана из твердых отходов АО «ЧМЗ» от железа и других примесных элементов с использованием метода аммиачного осаждения.

Наиболее простым способом выделения трёхвалентного железа из продуктивных растворов является его осаждение в виде гидроксида $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Осаждение железа осуществляли из ранее полученного продуктивного раствора сернокислотного выщелачивания урана из твердых РАО следующего состава, г/дм³: U – 0,311; Fe – 2,501; Ca – 0,742; Al – 0,514; Na – 0,009; Mg – 2,225; Ti – 0,003; Cr – 0,003; Ni – 0,004; Mo – 0,003; Mn – 0,128; V – 0,002; H₂SO₄ – 60,1. В качестве реагента-осадителя использовали 14% водный раствор аммиака. Осаждение осуществляли прямым методом при температуре 50-60°C и непрерывном перемешивании, значение pH варьировали в диапазоне от 2 до 4. Осадок затем фильтровали, отмывали от маточника осаждения

дистиллированной водой, сушили. Химический состав маточных растворов определяли методом ICP-MS. По результатам эксперимента рассчитывали степени осаждения железа и соосаждения урана (Таблица 1).

Таблица 1 – Влияние рН на степень осаждения железа и соосаждения урана из продуктивных растворов

рН	С(U) в маточнике осаждения, мг/дм ³	С(Fe) в маточнике осаждения, мг/дм ³	Степень осаждения Fe, %	Степень соосаждения U, %
2,0	287,1	2068,8	5,1	3,0
2,4	287,7	1944,8	10,8	2,8
2,8	271,7	1766,9	17,7	6,8
3,0	258,6	1175,3	53,2	7,9
3,5	266,0	702,3	71,9	7,3
3,8	282,5	671,4	73,2	6,7
4,0	269,4	773,7	69,1	7,8

Согласно результатам исследований, с увеличением рН осаждения возрастает степень перехода железа в осадок. При этом вместе с ним соосаждается и уран. По данным экспериментов, процесс выделения железа из продуктивных растворов в осадок необходимо вести при рН = 3,5. Дальнейшее увеличение данного параметра не приводит к значительному росту степени осаждения железа из растворов. Более того, хорошо известно, что при рН = 3,8 возможно осаждение урана в следствие гидролиза сульфата уранила. Также с ростом рН в интервале от 1 до 5 в сернокислых растворах уменьшается доля анионных комплексов урана, и увеличиваются концентрации недиссоциированных молекул уранилсульфата и катиона уранила, которые не извлекаются анионитами на этапе сорбции, что ведет к снижению эффективности данной стадии переработки растворов.

Помимо железа при нейтрализации растворов аммиаком в осадок переходят и другие примесные элементы: кальций, магний, алюминий. С ростом рН осаждения степень их перехода в твердую фазу, как и в случае железа, возрастает (Таблица 2).

С учетом высоких значений рН осаждения гидроксидов кальция и магния (более 10), можно предположить, что данные примеси, как и уран, захватываются осадком гидроксида железа. Гидроксид алюминия из растворов осаждается при рН = 4-6. По данным исследований, при рН = 3,8-4,0 около 98% алюминия переходит из раствора в фазу осадка.

Таблица 2 – Химический состав маточников осаждения

рН	Содержание в маточнике осаждения, г/дм ³						
	U	Fe	Ca	Mg	Al	Mo	V
2,0	0,287	2,069	0,654	2,095	0,179	0,002	0,003
2,4	0,287	1,945	0,689	1,988	0,071	0,002	<0,001
2,8	0,272	1,767	0,589	1,671	0,032	<0,001	<0,001
3,0	0,259	1,175	0,593	1,473	0,021	<0,001	<0,001
3,5	0,266	0,702	0,490	1,088	0,018	0,001	<0,001
3,8	0,283	0,671	0,408	1,379	0,003	0,001	0,001
4,0	0,269	0,773	0,400	1,181	0,003	<0,001	<0,001

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что метод аммиачного осаждения является эффективным способом очистки продуктивных растворов сернокислотного выщелачивания урана из твердых радиоактивных отходов от железа и ряда других примесей.

Литература:

1. Nalivaiko K., Skripchenko S., Titova S., Rychkov V. Characterization and processing of radioactive uranium containing waste sludge by sulfuric acid leaching // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2022. – Vol. 10. – P. 106972.
2. Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана: учебное пособие для вузов. – М.: ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2005. – 409 с.
3. Смирнов Ю.В., Ефимова З.И., Скороваров Д.И., Иванов Г.Ф. Гидрометаллургическая переработка уранорудного сырья. – М.: Атомиздат, 1979. – 280 с.
4. Громов Б.В. Введение в химическую технологию урана. Учебник для вузов. – М.: Атомиздат, 1978. – 336 с.
5. Галкин Н.П. Технология урана. Учебное пособие. – М.: Атомиздат, 1964. – 400 с.
6. Уткин В.И., Чеботина М.Я., Евстигнеев А.В., Екидин А.А., Рыбаков Е.Н., Трапезников А.В., Шапов В.А., Юрков А.К. Радиоактивные беды Урала. – Екатеринбург, УрО РАН, 2000. – 94 с.

КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ОКИСЛЕННОЙ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ С НАНОДИСПЕРСНЫМ ДИОКСИДОМ ЦЕРИЯ КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ РАН

А.А. Кузич, В.Э. Огородников

Белорусский государственный университет,

г. Минск, an-kuzich@mail.ru

Научный руководитель: Бычковский П.М., к.х.н., доцент

Получена окисленная бактериальная целлюлоза (ОБЦ) и определены ее физико-химические свойства. Применен спектрофотометрический метод для количественного определения нанодисперсного диоксида церия. Установлена модель, описывающая высвобождение диоксида церия из ОБЦ.

Oxidized bacterial cellulose (OBC) was obtained and its physicochemical properties were determined. A spectrophotometric method was used for the quantitative determination of nanodispersed cerium dioxide. A model has been established to describe the release of cerium dioxide from OBC.

Бактериальная целлюлоза (БЦ) находит широкое применение в биомедицине благодаря своим свойствам, таким как биосовместимость и биоразлагаемость, одновременно с высокой чистотой и большой водоудерживающей способностью. Но наблюдаются и некоторые недостатки, например недостаточная прочность и отсутствие антибактериальной активности. Чтобы устранить такие дефекты и создать различные приложения, предпринимаются попытки включить в состав БЦ различные вещества, биомолекулы, наночастицы, и т.д. [1].

Кроме нативной БЦ, в медицине используются ее многочисленные модификации. Зачастую осуществляют этерификацию гидроксильных групп, ацетализацию, деоксигалогенирование и окисление.

Окисление является эффективным методом регулирования структуры целлюлозы для придания ей свойства биоразлагаемости в организме человека. С увеличением количества карбоксильных групп в полисахариде повышается и кислотность среды, вследствие чего окисленная целлюлоза может проявлять эффективные антибактериальные свойства в отношении ряда грамположительных и грамотрицательных бактерий [2].

Нанодисперсный диоксид церия может выступать поглотителем активных форм кислорода и азота, что вызывает растущий интерес к его потенциальному биомедицинскому применению. Первоначальные биологические исследования показали, что наночастицы CeO_2 могут предотвращать многие заболевания, связанные с окислительным стрессом, включая хроническое воспаление, ишемический инсульт и

неврологические заболевания. В частности, сообщалось, что наночастицы CeO_2 ускоряют заживление кожных ран за счет усиления пролиферации и миграции основных клеток, образующих кожу [1].

Для работы применяли БЦ, выращенную с использованием штамма *Glucanacetobacter xylinus*. Полученные образцы БЦ представляли собой гелеобразные пленки толщиной 7 ± 1 мм, степень набухания 80 г/г. Наночастицы диоксида церия получали путем кипячения водной суспензии цитрата церия (III) с аммиаком на воздухе.

Среди всевозможных методов окисления БЦ в данной работе использовалось окисление оксидом азота (IV) в хлороформе, как было сделано в работе [3].

Образцы БЦ были лиофильно высушены, помещены в конические колбы. В колбы добавляли по 10 мл 20% раствора N_2O_4 в хлороформе. Выдерживали 8, 24 и 48 часов. Затем образцы ОБЦ отмывались в дистиллированной воде и вновь лиофильно высушивались. В полном соответствии с литературными данными [3] было выявлено, что увеличение времени окисления способствует возрастанию обменной емкости образцов ОБЦ.

В видимой и ближней УФ области был записан спектр золья CeO_2 , установлен максимум поглощения — 275 нм. Было обнаружено, что оптическая плотность D серии разбавлений золья при 275 нм подчиняется закону Бугера-Ламберта-Бера (Рисунок 1), а значит, для исследования сорбции и высвобождения наночастиц CeO_2 из полимерной матрицы можно использовать спектрофотометрический метод.

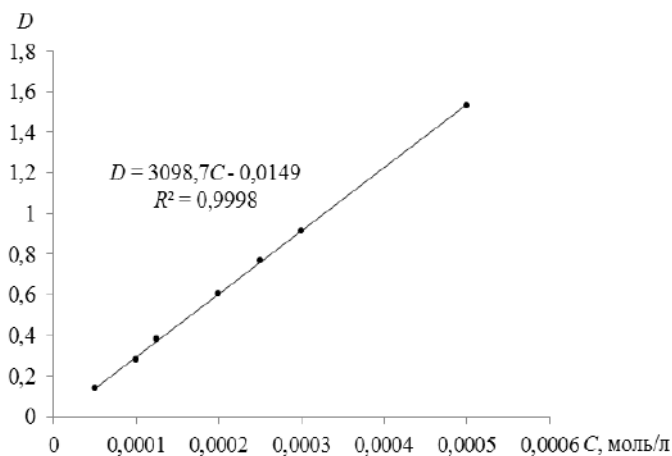


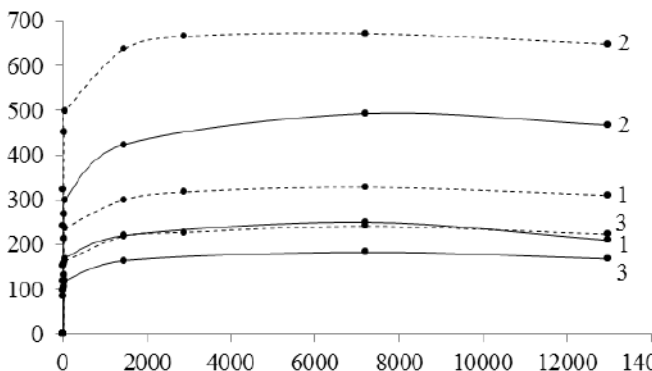
Рис. 1 – Зависимость оптической плотности от концентрации CeO_2

Изучение сорбции нанодисперсного диоксида церия проводили на образцах, окислявшихся в течение 8 и 24 ч (обменная емкость 1,01 и 2,39 ммоль/г соответственно) следующим способом: 25 мг ОБЦ поместили в микропробирку на 1 мл типа «Эппендорф», добавили 1 мл 0,025 М золя CeO_2 , поместили на шейкер и перемешивали при 320 об/мин. Через определенное время отбирали аликвоты золя, разбавляли и фотометрировали. Сорбция длилась в течение 24 ч при температуре (293 ± 2) К. Время сорбции было достаточным для достижения равновесия. Оптическая плотность колебалась около постоянного значения, это, вероятно, означает, что не происходило концентрирования наночастиц CeO_2 в матрице ОБЦ, а лишь их поглощение вместе с водой.

Далее образец ОБЦ извлекли из микропробирки и центрифугировали на фильтре Шотта (100 мкм) при 1000 об/мин в течение 15 мин. После центрифугирования, один образец в каждой из двух групп сушили лиофильно, другой — в сушильном шкафу при 50°C , а третий не сушили вовсе.

Высвобождение изучали следующим способом: образец помещали в микропробирку с 1 мл воды. Перемешивали на шейкере при 320 об/мин, через определенное время отбирали аликвоты золя, разбавляли и фотометрировали. Высвобождение наночастиц диоксида церия проводилось в течение 4 суток.

n , ммоль



Образцы: сплошная линия — 1,01 ммоль/г, штриховая линия — 2,39 ммоль/г;

1 — лиофильно высушенный, 2 — в сушильном шкафу, 3 — невысушенный

Рис. 2 – Зависимость количества выделившихся наночастиц CeO_2 от времени

В результате изучения высвобождения было отмечено, что скорость процесса существенным образом не зависит от природы образца, однако

сильно отличается равновесное количество наночастиц, выделяющихся из полимерной матрицы.

Увеличение обменной емкости способствует высвобождению из образца большего количества наночастиц диоксида церия. В порядке увеличения равновесного количества наночастиц находятся образцы невысушенный, высушенный лиофильно и высушенный в сушильном шкафу при 50°C. Такую закономерность, вероятно, можно объяснить частичной деструкцией матрицы ОБЦ при сушке тепловым способом.

Для лучшего понимания механизма высвобождения наночастиц, полученные данные были проверены на соответствие модели Ритгера-Пеппаса [4]:

$$\frac{M_t}{M_\infty} = K_{RP} t^n,$$

где M_t — количество вещества, выделившегося к моменту времени t ; M_∞ — максимально выделившееся (равновесное) количество вещества; K_{RP} — константа Ритгера-Пеппаса; n — диффузионный коэффициент.

Для всех образцов ОБЦ значение диффузионного коэффициента было около 0,1. Согласно модели Ритгера-Пеппаса [4], значение n определяет механизм высвобождения вещества. При n меньше или равном 0,45 считается, что высвобождение вещества регулируется его нормальной диффузией, т.е. согласно закону Фика.

Таким образом, создан композиционный материал для пролонгированного высвобождения наночастиц диоксида церия, который совмещает в себе положительные качества как полимераносителя — ОБЦ, так и наполнителя и может быть рассмотрен как перспективное ранозаживляющее покрытие.

Литература:

1. Bacterial Cellulose-Based Nanocomposites Containing Ceria and Their Use in the Process of Stem Cell Proliferation / I.V. Gofman, A.L. Nikolaeva, A.K. Khripunov, E.M. Ivan'kova, A.S. Shabunin, A.V. Yakimansky, D.P. Romanov, A.L. Popov, A.M. Ermakov, S.O. Solomevich, P.M. Vyckovsky, A.E. Baranchikov, V.K. Ivanov // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13, № 12. – 1999.
2. Antibacterial and hemostatic composite gauze of N,O-carboxymethyl chitosan/oxidized regenerated cellulose / F. Cheng, J. He, T. Yan, Ch. Liu, X. Wei, J. Li, Yu. Huang // *RSC Advances*. – 2016. – Vol. 6, № 97. – P. 94429–94436.

3. Fabrication of oxidized bacterial cellulose by nitrogen dioxide in chloroform/cyclohexane as a highly loaded drug carrier for sustained release of cisplatin / S.O. Solomevich, E.I Dmitruk, P.M. Bychkovsky, A.E. Nebytov, T.L. Yurkshtovich, N.V. Golub // Carbohydrate Polymers. – 2020. – Vol. 248. – 116745.

4. Ritger P.L., Peppas N.A. A simple equation for description of solute release I. Fickian and non-fickian release from non-swellable devices in the form of slabs, spheres, cylinders or discs // Journal of Controlled Release. – 1987. – Vol. 5, № 1. – P. 23–36.

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ПАРОВОЙ КОНВЕРСИИ МЕТАНОЛА ДЛЯ ПИТАНИЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.Д. Кузнецова^{1,2}, С.Д. Бадмаев¹

¹Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

²Новосибирский государственный университет,

г. Новосибирск, a.kuznetsova1@gs.nsu.ru

Научный руководитель: Бадмаев С.Д., к.х.н.

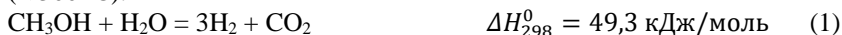
Разработка технологии топливных элементов является важной задачей энергетики будущего. Потребность в энергоустановках на базе топливных элементов обусловлена их высокой энергоэффективностью и экологичностью. Топливом для таких энергоустановок является водородсодержащий газ, который может быть получен, в частности, путем каталитической паровой конверсии метанола.

The development of fuel cell technology is an important task for the energy of the future. The demand for energy systems based on fuel cells is driven by their high energy efficiency and environmental friendliness. The fuel for such energy systems is hydrogen-containing gas, which can be obtained, in particular, through the catalytic steam methanol reforming.

Среди известных электрохимических устройств твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) считаются весьма перспективными из-за высокой энергоэффективности, отсутствия благородных металлов в конструкции и минимальных требований к составу получаемого водородсодержащего газа.

Водородсодержащий газ может быть получен каталитической конверсией углеводородов (метан, пропан-бутан) или кислородсодержащих органических соединений (метанол, диметилвый эфир, этанол и другие).

В последнее время метанол рассматривается как многообещающий носитель водорода, что связано, в том числе, с высокими масштабами его производства ~120 млн тонн/год в мире. Паровая конверсия метанола (ПКМ) (уравнение 1) приводит к наибольшему содержанию водорода в смеси и протекает при сравнительно низких температурах (< 300 °С).



К дополнительным преимуществам метанола можно отнести низкую температуру замерзания метанола (-97 °С) и его водного раствора (-70 °С), благодаря чему расширяются возможности использования реформера получения водорода из метанола даже при отрицательных температурах. Метанол при нормальных условиях представляет собой жидкость, следовательно, его легко хранить и транспортировать.

Анализ литературы [1-3] показал, что наиболее активными катализаторами для реакции ПКМ являются Cu- и Pt-содержащие системы. Несмотря на высокую эффективность и селективность Cu-содержащих катализаторов, их недостатком является склонность к спеканию при температурах выше 300 °С. В отличие от Cu-содержащих катализаторов, Pt/Ce_{0,75}Zr_{0,25}O₂ системы обладают высокой термостабильностью и обеспечивают полное превращение метанола в водородсодержащий газ при относительно «мягких» условиях.

В докладе обсуждаются кинетические и физико-химические свойства нанесенных Pt/Ce_{0,75}Zr_{0,25}O₂ систем в ПКМ. В частности, исследуемый образец обеспечивает полное превращение метанола в синтез-газ, пригодный для питания ТОГЭ. Высокая эффективность катализатора обусловлена высокой дисперсностью и равномерным распределением платины на поверхности катализатора.

Литература:

1. Yaseneva P., Pavlova S., Sadykov V., Moroz E., Burgina E., Dovitova L., Rogov V., Badmaev S., Belochapkin S., Ross J. Hydrogen production by steam reforming of methanol over Cu-CeZrYOx-based catalysts // Catal. Today. 2008. Т. 138, № 3–4. С. 175–182.
2. Zeis R. Materials and characterization techniques for high-temperature polymer electrolyte membrane fuel cells // Beilstein J. Nanotechnol. 2015. Т. 6, № 1. С. 68–83.
3. S.-i. Ito, Y. Suwa, S. Kondo, S. Kameoka, K. Tomishige K.K. Steam reforming of methanol over Pt–Zn alloy catalyst supported on carbon black // Catal. Comm. Т. 4. С. 499–503.

ГЕТЕРОГЕННОЕ ДЕАЦЕТИЛИРОВАНИЕ ХИТИНА: КИНЕТИКА ПРОЦЕССА

Т.Е. Кусков^{1,2}, А.Л. Бычков², В.А. Бухтояров²

¹Новосибирский государственный университет,

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск, t.kuskov@gs.nsu.ru

Научный руководитель: Подгорбунских Е.М., к.х.н., с.н.с.

Из подмора пчел и хребтов кальмара были получены образцы α - и β -хитина соответственно. Хитозан был получен из α - и β -хитина посредством реакции гетерогенного деацетилирования в условиях 50 % раствора NaOH в течение 5, 15, 30, 120, 240 и 720 минут. Для образцов хитозана была оценена степень деацетилирования методами рентгенофазового анализа, ИК-спектроскопии и потенциометрического титрования. Для описания кинетики деацетилирования были рассмотрены различные кинетические модели.

Samples of α - and β -chitin were obtained from honeybee corpses and squid pens, respectively. Chitosan was obtained from α - and β -chitin by deacetylation reaction under 50 % NaOH solution conditions for 5, 15, 30, 120, 240 and 720 minutes. The deacetylation degree was determined for the chitosan samples by XRD analysis, IR spectroscopy and potentiometric titration. Different kinetic models were considered to describe the kinetics of deacetylation.

Хитин – природный полисахарид, состоящий из звеньев N-ацетилглюкозамина, которые соединены с помощью β -1,4-гликозидной связи. Хитин может быть представлен в виде трех полиморфных модификаций: α -, β - и γ -формы. α -Хитин представлен антипараллельно расположенными полимерными цепями. В структуре β -хитина полимерные цепи расположены параллельно друг к другу [1].

Хитозан является деацетилированной производной хитина, получаемой в ходе реакции гетерогенного щелочного гидролиза – деацетилирования. Глубину протекания процесса характеризует такой параметр, как степень деацетилирования, то есть процентное содержание аминогрупп, определяющее чистоту продукта реакции. Продукт реакции со степенью деацетилирования более 50 %, считается хитозаном [2].

Благодаря свойствам хитозана, таким как биоразлагаемость, нетоксичность и низкая аллергенность, в последние годы наблюдается повышенный интерес к изучению данного биополимера. Кроме того, хитозан применяется в бумажной, медицинской, косметической, пищевой и многих других отраслях промышленности [3].

Целью данной работы является исследование характера и кинетики реакции гетерогенного деацетилирования хитина.

В качестве источников α - и β -хитина были выбраны подмор пчел (*Apis Mellifera*) и хребты кальмара (*Loligo vulgarus*) соответственно. Был определен химический состав подмора пчел и хребтов кальмара, который представлен в таблице 1. Содержание белков в сырье определялось с помощью элементного анализа на CHNS-анализаторе EA-3000 (НЕКАtech GmbH, Германия). Содержания липидов в исходном сырье определялось с помощью исчерпывающей экстракции гексаном на аппарате Сокслета. Влажность образцов определялась на анализаторе влажности WPS 50 SX (RADWAG, Польша). Зольность образцов определялась согласно ГОСТ Р 56881-2016. Рентгенофазовый анализ (РФА) хитина и продуктов реакции деацетилирования проводился на дифрактометре D8 ADVANCE (Bruker, Германия). ИК-спектры образцов хитина и хитозана записывались на ИК-спектрометре Bruker Vertex 70v (Bruker, Германия). Потенциометрическое титрование проводилось на комплекте для автоматического титрования Титрион-1 (ЭЛЕКТРОНПРИБОР, Россия).

Таблица 1 – Химический состав исходного сырья, %

Образец	Влажн.	Зольн.	Липиды	Белки	Углеводы
Подмор пчел	4,4 ± 0,4	13,8 ± 3,1	10,0 ± 0,2	26,3 ± 1,0	45,5 ± 0,7
Хребты кальмара	8,4 ± 0,7	2,4 ± 0,5	-	36,3 ± 1,4	52,9 ± 0,6

Образцы α - и β -хитина были получены из подмора пчел и хребтов кальмара с выходами 5,9 % и 32,7 % соответственно. Полученные хитины были охарактеризованы методами РФА и СЭМ. Индекс кристалличности (CrI) хитина был определен по методу Focher [4]. К дифрактограммам хитинов были отнесены индексы Миллера согласно литературным данным [1].

В процессе реакции деацетилирования α - и β -хитина 50 % NaOH в течение 5, 15, 30, 120, 240 и 720 минут согласно схеме (рис. 1), были получены образцы хитозана с различной степенью деацетилирования.

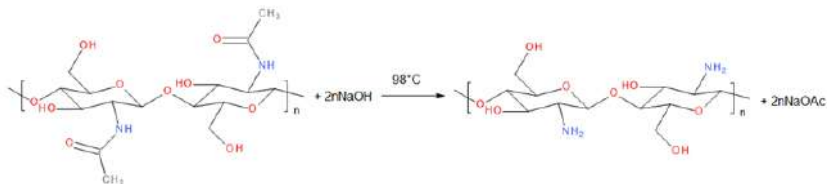


Рис. 1 – Схема реакции деацетилирования хитина

Степень деацетилирования определялась исходя из данных РФА по формуле 1 (DDA – степень деацетилирования (%), $CrI_{(020)/(010)}$ – индекс кристалличности, измеренный по рефлексу (020) для α -хитина и по рефлексу (010) для β -хитина (%), 0,7529 – эмпирический коэффициент):

$$DDA [\%] = (103,97 - CrI_{(020)/(010)})/0,7529. \quad (1)$$

Показано, что в ходе реакции деацетилирования малоугловой пик быстро исчезает, поэтому данный способ подходит для определения степени деацетилирования хитина при малых степенях превращения.

Степень деацетилирования также определялась по результатам титрования хитозана, растворенного в 0,01M растворе HCl, 0,1M раствором NaOH по формуле 2 (C_{NaOH} – концентрация раствора NaOH (моль/л), V_1 и V_2 – объем израсходованного NaOH в первой и второй точках эквивалентности соответственно (л), m_{aliqu} – масса хитозана в аликвоте (г)):

$$DDA [\%] = \frac{16 \times C_{NaOH} \times (V_2 - V_1)}{m_{aliqu} \times 0,0994} \times 100\%. \quad (2)$$

ИК-спектры образцов хитина и полученного хитозана были записаны в диапазоне 400-4000 cm^{-1} . Проведено соотнесение полос согласно литературным данным [1]. Степень деацетилирования определялась методом ИК-спектроскопии по формулам 3-5 (A_{1320} , A_{1655} и A_{1560} – интенсивности полос с изменяющейся интенсивностью, A_{1420} , A_{3450} , A_{2875} – интенсивности полос с неизменной интенсивностью):

$$DDA [\%] = 100 - \left(\frac{A_{1320}}{A_{1420}} - 0,3822 \right) / 0,03133, \quad (3)$$

$$DDA [\%] = 100 \times \left(1 - \frac{A_{1655}}{1,33 \times A_{3450}} \right), \quad (4)$$

$$DDA [\%] = 100 \times \left(1 - \frac{A_{1560}}{1,33 \times A_{2875}} \right). \quad (5)$$

Исходя из полученных данных и особенностей методов, были установлены области применимости различных методов определения степени деацетилирования.

Для наглядного представления кинетики реакции гетерогенного деацетилирования α - и β -хитина значения DDA были конвертированы в степень превращения хитина по формуле 6 (CD – степень превращения, DDA_0 – степень деацетилирования исходного хитина (%)) и построены в зависимости от времени протекания реакции (рис. 2).

$$CD = \frac{DDA - DDA_0}{100 - DDA_0} \times 100\%. \quad (6)$$

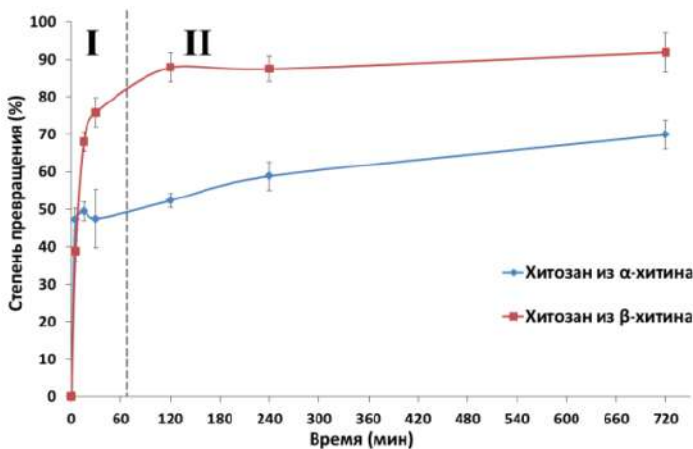


Рис. 2 – Зависимость степени превращения хитина от времени протекания реакции

На рисунке 2 можно заметить, что процесс деацетилирования хитина делится на два участка: быстрое деацетилирование в начале процесса и последующее замедление после первого часа реакции, что согласуется с литературными данными [5]. Для качественного и количественного описания кинетики реакции деацетилирования были рассмотрены наиболее распространенные модели протекания гетерогенных реакций в системе твердое-жидкое. По результатам рассмотрения было выяснено, что реакция деацетилирования хитина относится к диффузионно-контролируемым процессам.

Таким образом, из подмора пчел и хребтов кальмара (α - и β -хитина) были получены образцы хитозана с различной степенью деацетилирования. Были определены области применимости различных методов оценки степени деацетилирования хитозана. Было показано, что кинетика реакции деацетилирования хитина делится на два участка: на первом участке происходит стремительное увеличение DDA, а на втором происходит замедление реакции и изменение степени деацетилирования является незначительным. Кроме того, на основании значений DDA и кинетики реакции, выдвинуто предположение о диффузионном механизме процесса деацетилирования хитина.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук (проект № МД-2330.2022.1.3)

Литература:

1. Tsurkan M.V. et al. Progress in chitin analytics // Carbohydrate Polymers. - 2021. - Vol. 252. - # 117204.
2. Czechowska-Biskup R. et al. Determination of Degree of Deacetylation of Chitosan – Comparison of Methods // Progress on Chemistry and Application of Chitin and Its Derivatives. - 2012. - Vol. 17. - P. 5-20.
3. Cheung R.C.F. et al. Chitosan: an update on potential biomedical and pharmaceutical applications // Marine Drugs. - 2015. - Vol. 13, Iss. 8. - P. 5156-5186.
4. Focher B. et al. Alkaline N-deacetylation of chitin enhanced by flash treatments. Reaction kinetics and structure modifications // Carbohydrate Polymers. - 1990. - Vol. 12. - P. 405-418.
5. Novikov V.Yu. et al. Mechanism of Heterogeneous Alkaline Deacetylation of Chitin: A Review // Polymers. - 2023. - Vol. 15, Iss. 7. - # 1729.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ НИКЕЛЬ-КАРБИД ВОЛЬФРАМА И НИКЕЛЬ-КАРБИД ЖЕЛЕЗА

Л.О. Кукарских, В.А. Якубович, О.Н. Новгородцева
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, viktoria.yakubovich@yandex.ru
Научный руководитель: Новгородцева О.Н., к.т.н., доцент

Исследовано электроосаждение никеля на стальных пластинах, проанализировано влияние параметров: плотности тока, времени эксперимента и добавки карбида вольфрама и карбида железа. Установлено, что увеличение силы тока приводит к более равномерному и качественному покрытию. Увеличение времени эксперимента увеличивает массу и толщину покрытия. Добавление карбида вольфрама и карбида железа улучшает однородность и увеличивает массу осажденного металла.

The electrodeposition of nickel on steel plates was investigated, analyzing the influence of parameters: current density, experiment time and the addition of tungsten carbide and iron carbide. It is established that an increase in the current strength leads to a more uniform and high-quality coating. Increasing the experiment time increases the mass and thickness of the coating. The addition of tungsten carbide and iron carbide improves uniformity and increases the mass of the deposited metal.

Композиционные электрохимические покрытия на основе никеля имеют широкую область применения и их свойства описаны во многих литературных источниках. Электрохимические сплавы, в том числе и сплавы на основе систем никель-железо и никель-вольфрам,

формируются в виде покрытий и должны обладать более широким спектром характеристик, чем сплавы, формируемые металлургическими методами, что обусловлено особенностями их использования как износостойких, коррозионностойких материалов. Никелевые покрытия легко пассивируются на воздухе и под действием сильных окислителей, благодаря этому покрытия и обладают высокой коррозионной стойкостью [1]. Покрытие никель-карбид железа может быть рекомендовано для антикоррозионной защиты и упрочнения деталей, работающих на износ при средних окружных скоростях и невысоких удельных нагрузках. Композиционное покрытие на основе никель-карбид вольфрама можно рекомендовать к использованию при изготовлении металлорежущего инструмента, пресс-форм, а также в машино- и приборостроении [2].

Цель работы: исследовать процесс осаждения никеля из сульфатно-хлоридного электролита на стальную подложку, получить КЭП на основе никеля, модифицированные карбидом вольфрама и карбидом железа.

Рассмотрен процесс электроосаждения никеля на стальные пластины, а также была изучена зависимость этого процесса от параметров: плотности тока, времени проведения эксперимента и наличия добавок карбида вольфрама и карбида железа.

Установлено, что с увеличением силы тока происходит увеличение количества осажденного металла. При использовании тока со значением до 0.07 А/см^2 , покрытие будет неравномерным, тогда как при использовании тока со значением 0.1 А/см^2 покрытие будет равномерным и качество его улучшится.

Показано, что с увеличением времени электролиза, масса осажденного металла и толщина покрытия увеличиваются. Были получены осадки желаемой толщины и качества после 40 минут электролиза.

В процессе исследования влияния добавления карбида вольфрама установили, что масса осажденного КЭП увеличивается, а качество покрытия становится более однородным.

Установлено, что с ростом содержания карбида железа изменение массы катода проходит через максимум. Визуально качественные покрытия наблюдаются при содержании добавки от 0.2% до 0.42%. Дальнейший рост содержания карбида железа приводит к ухудшению качества осаждаемого композиционного покрытия

Работа выполнена в рамках Тематического плана № ТП-ХХТ-1_23.

Литература:

1. Химическая энциклопедия: в 5 т. Т. 1: А-Дарзана/Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл. ред) и др. – М.: Сов. Энцикл., 1988. – 623 с.: ил.
2. Василенко Е.А. Электрохимическое осаждение композиционных и многослойных покрытий на основе никеля и сплава никель-хром / Автореферат, Саратов, 2013, СГТУ. – 19 с.
3. Композиционные электрохимические покрытия на основе никеля / Десяткова Г.И., Ягодкина Л.М., Савочкина И.Е., Халдеев Г.В. // Защита металлов. – 2002. – Т. 38. – № 5. – С 525 – 529.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ ПЕРХЛОРАТА ЛИТИЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕРХЛОРАТА N-МЕТИЛ-N-ПРОПИЛПИПЕРИДИНИЯ

Д.А. Кызласова^{1,2}, А.С. Улихин¹

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

²Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет,

г. Новосибирск, d.kyzlasova@g.nsu.ru

Научный руководитель: Улихин А.С., к.х.н., с.н.с.

В последние десятилетия активно ведутся поиски эффективных электролитов для литий-ионных аккумуляторов. Они зарекомендовали себя благодаря высокой удельной ёмкости, низкому значению саморазряда, легкого веса и большого запаса рабочих циклов. Однако, существует проблема безопасности, связанная с жидкими электролитами, использующимися в данный момент. Образование дендритов приводит к короткому замыканию, а высокое давление пара эфиров может привести к взрыву [1]. Одним из путей решения данной проблемы рассматривается переход от жидких электролитов к твердым.

Пластические фазы органических солей представляют собой новый уникальный класс твердых материалов, сочетающих кристаллическую структуру, умеренную пластичность и относительно высокую ионную проводимость. В расплавленном состоянии органические соли представляют собой ионные жидкости с высокой ионной проводимостью. В настоящей работе изучено влияние добавки литиевой соли LiClO_4 на физико-химические свойства соли замещенного пиперидиния перхлората N-метил-N-пропилпиперидиния $[\text{N}_{13}\text{r}_{1\text{p}}]\text{ClO}_4$. Изучены термические свойства, кристаллическая структура и ионная проводимость фаз бинарной системы $[\text{N}_{13}\text{r}_{1\text{p}}]\text{ClO}_4\text{-LiClO}_4$, проведены электрохимические и импедансные измерения с целью выяснения возможности использования исследуемых систем в качестве электролитов в литиевых источниках тока.

In recent decades, the search for effective electrolytes for lithium-ion batteries has been actively pursued. They have proven themselves due to their high specific capacity, low self-discharge value, light weight and large supply of operating cycles. However, there is a safety concern associated with the liquid electrolytes currently in use. The formation of dendrites leads to a short circuit, and high vapor pressure of ethers can lead to an explosion [1]. One of the ways to solve this problem is the transition from liquid electrolytes to solid ones.

*Plastic phases of organic salts represent a new and unique class of solid materials that combine a crystalline structure, moderate plasticity, and relatively high ionic conductivity. When molten, organic salts are ionic liquids with high ionic conductivity. In this work, we studied the effect of the addition of lithium salt LiClO_4 on the physicochemical properties of the substituted piperidinium salt *N*-methyl-*N*-propylpiperidinium perchlorate $[\text{N}_{13}\text{pip}]\text{ClO}_4$. The thermal properties, crystal structure and ionic conductivity of the phases of the $[\text{N}_{13}\text{pip}]\text{ClO}_4\text{-LiClO}_4$ binary system were studied, electrochemical and impedance measurements were carried out in order to determine the possibility of using the systems under study as electrolytes in lithium current sources.*

Высокотемпературные пластические фазы органических солей, существующие ниже температуры плавления, можно рассматривать как промежуточное состояние между ионными жидкостями и твердыми телами с полностью упорядоченной структурой. Локальная разупорядоченность кристаллической решетки и высокая ориентационная подвижность молекулярных фрагментов облегчают транспорт ионов в органических солях, носителями заряда могут быть относительно крупные органические катионы или анионы. Известно, что введение солей лития в структуру пластических фаз органических солей приводит к резкому увеличению литий-ионной проводимости [2].

В работе [3] было показано, что допирование метил-пропилпирролидиния катионами лития приводит к высокой литий-ионной проводимости твердых электролитов в бинарной системе $[\text{N}_{13}\text{pyr}]\text{BF}_4\text{-LiBF}_4 \sim 10^{-3}\text{-}10^{-2}$ См/см при 60°C . Известно, что соли пиперидиния обладают высокой термической стабильностью. В частности, бис(трифторметилсульфонил)имид 1-метил-1-пропилпиперидиния стабилен до 300°C [4]. Известно также, что ионные жидкости на основе солей пиперидиния электрохимически стабильны в широком диапазоне напряжений [5].

В настоящей работе изучено влияние добавки литиевой соли LiClO_4 на физико-химические свойства соли замещенного пиперидиния перхлората *n*-метил-*n*-пропилпиперидиния $[\text{N}_{13}\text{pip}]\text{ClO}_4$. Изучены термические свойства, кристаллическая структура и ионная проводимость фаз бинарной системы $[\text{N}_{13}\text{pip}]\text{ClO}_4\text{-LiClO}_4$, проведены электрохимические и импедансные измерения с целью выяснения

возможности использования исследуемых систем в качестве электролитов в литиевых источниках тока.

Термические свойства образцов исследовали методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

Экспериментальные кривые ДСК, полученные для образцов $(1-x)[N_{13}rip]ClO_4-xLiClO_4$ (x — молярная доля), показаны на рисунке 1.

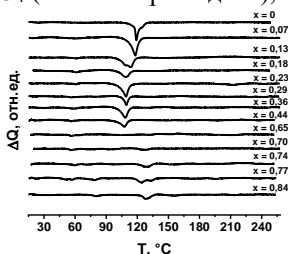


Рис. 1 – результаты ДСК, полученные для образцов $(1-x)[N_{13}rip]ClO_4-xLiClO_4$ (x — молярная доля)

Для чистой соли $[N_{13}rip]ClO_4$ наблюдается один тепловой эффект, а именно – плавление при $117^{\circ}C$. Добавка $LiClO_4$ приводит к снижению температуры плавления до $100^{\circ}C$.

Температурные зависимости проводимости образцов $[N_{13}rip]ClO_4-LiClO_4$ представлены на рисунке 2.

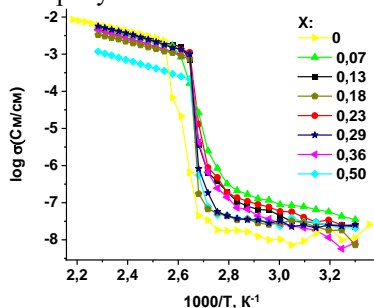


Рис.2 – температурные зависимости проводимости, полученные для образцов $(1-x)[N_{13}rip]ClO_4-xLiClO_4$ (x — молярная доля)

Высокотемпературная область проводимости как чистой соли $[N_{13}rip]ClO_4$, так и бинарной системы $[N_{13}rip]ClO_4-LiClO_4$ относится к расплавленному состоянию.

Исследование электрохимической стабильности относительно лития проводилось методом линейной вольтамперометрии как для чистого $[N_{13}rip]ClO_4$, так и для образцов $[N_{13}rip]ClO_4-LiClO_4$. Результаты приведены на рисунке 3.

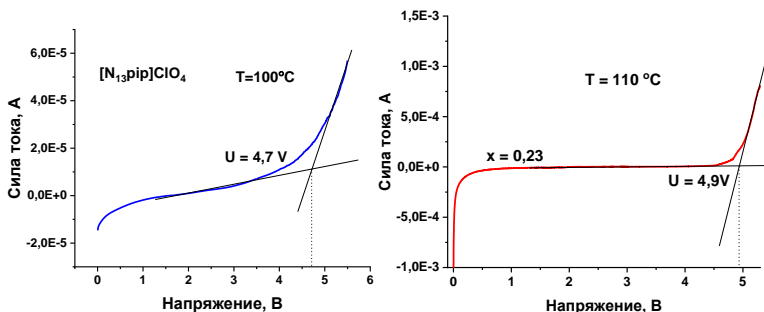


Рис. 3 – вольтамперные кривые для чистой соли $[N_{13}pip]ClO_4$ (слева) и для смеси состава $(1-x)[N_{13}pip]ClO_4-xLiClO_4$, где $x = 0,23$ (справа)

Как видно из вольтамперных кривых, соединения электрохимически стабильны в диапазоне потенциалов от 0 до 4-4,9 В (отн. Li) с электрохимическим окном около 4,7 В при 100°C.

Основываясь на результатах полученных в ходе исследования физико-химических свойств бинарной системы $[N_{13}pip]ClO_4-LiClO_4$, можно сделать заключение, что полученные соединения могут быть использованы в литий-ионных источниках тока с рабочим напряжением до 4,9 В.

Литература:

1. Xu K. Nonaqueous liquid electrolytes for lithium-based rechargeable batteries// Chem Rev. - 2004. - Vol. 104, N 10. - P. 4303-4417.
2. McCallum R., Barghamadi M., Forsyth C., Hollenkamp A.F., Oldham G., Mahon P.J., Ru T. Comparing the Physicochemical, Electrochemical, and Structural Properties of Boronium versus Pyrrolidinium Cation-Based Ionic Liquids and Their Performance as Li-Ion Battery Electrolytes // J. Phys. Chem. C – 2021. – Vol. 125, N 15. – P. 8055–8067.
3. Ulihin, A., Novozhilov, D., Uvarov, N. Solid Electrolytes in the N-Propyl-N-methyl-pyrrolidinium Tetrafluoroborate—Lithium Tetrafluoroborate System. // Batteries. – 2023. – Vol. 9, N 3. – P. 167.
4. Manuel Götz, Rainer Reimert, Siegfried Bajohr, Hülya Schnetzer, Jan Wimberg, Thomas J.S. Schubert Long-term thermal stability of selected ionic liquids in nitrogen and hydrogen atmosphere // Thermochemica Acta. –2015. – Vol. 600. – P. 82-88.
5. Zhimin Xue, Li Qin, Jingyun Jiang, Tiancheng Mu, Guohua Gao Thermal, electrochemical and radiolytic stabilities of ionic liquids // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2018. – Vol. 20. – P.8382-8402.

ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В ГАЗОВЫХ СЕНСОРАХ ДИОКСИДА АЗОТА

А.Д. Лозбень, А.Г. Баннов

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, arina_lozben@mail.ru

Научный руководитель: Баннов А. Г., д.х.н., профессор

В данной работе представлены данные, подтверждающие возможность использования одностенных углеродных нанотрубок в газовых сенсорах, приведены исследования, касающиеся уникальных физико-химических свойств ОУНТ, в частности, проводниковых, а также, получены зависимости этих самых свойств от влажности.

In this work data confirming the possibility of using carbon single-walled nanotubes in gas sensors, studies concerning the unique physicochemical properties of SWCNTs, in particular, conductive ones are presented, and dependences of nanotube sensitivity on humidity are obtained.

Одностенные углеродные нанотрубки (далее ОУНТ) обладают большой площадью поверхности, высокой стабильностью и прочностью, а также хорошими проводниковыми и полупроводниковыми свойствами. ОУНТ выступают в роли как и чувствительного материала, так и преобразователя, который переводит химическую информацию в аналитически токовый полезный сигнал. Это дает широкие возможности для использования ОУНТ для создания газовых сенсоров, которые в настоящее время имеют большое значения для мониторинга окружающей среды и промышленных отходов и выбросов, а также для медицинской диагностики.

В данной работе использовались ОУНТ (OCSIAL Co.), которые предварительно диспергировались в ультразвуковой ванне в течение 60 мин. в спиртовой среде. Нанесение нанотрубок производилось капельным методом на текстолитовую подложку с медным электродом до образования тонкой равномерной пленки. Непосредственное исследование сенсора проводилось в установке динамического типа. Сопротивление определялось двухточечным методом. Аналит – диоксид азота (NO_2). Благодаря своим полупроводниковым свойствам, а также уникальной структуре ОУНТ при пропускании газа через сенсор, наблюдается выраженная зависимость сопротивления от концентрации газа.

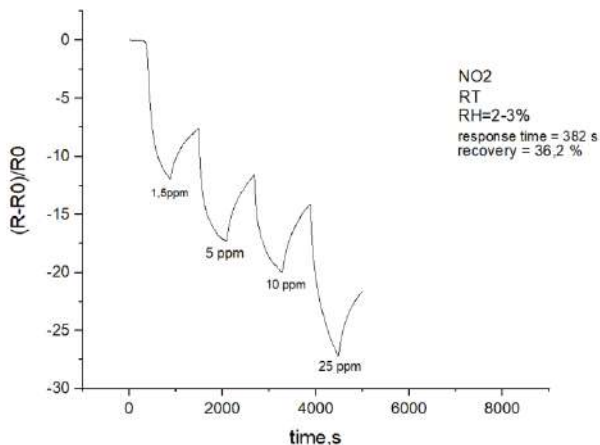


Рис.1 – изменение относительной чувствительности сенсоров на базе ОУНТ по времени при 2-3% влажности воздуха и при температуре $25\pm 1^\circ\text{C}$

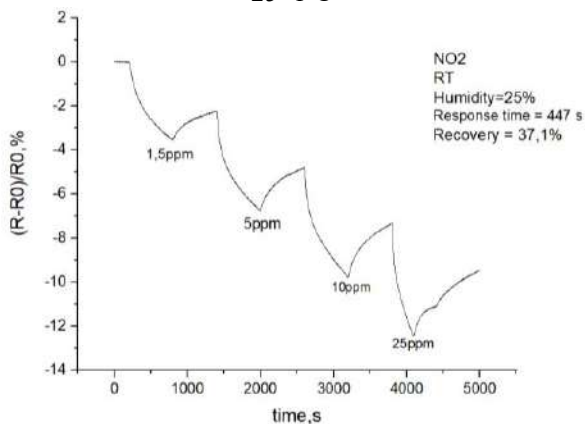


Рис.2 – изменение относительной чувствительности сенсоров на базе ОУНТ по времени при 25% влажности воздуха и при температуре $25\pm 1^\circ\text{C}$

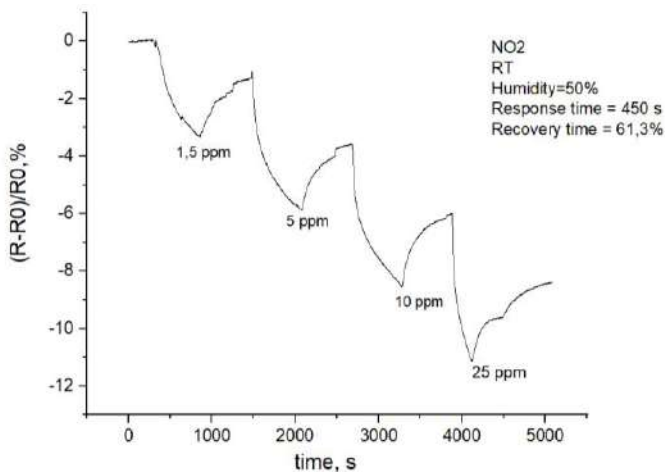


Рис.3 – изменение относительной чувствительности сенсоров на базе ОУНТ по времени при 50% влажности воздуха и при температуре $25\pm 1^\circ\text{C}$

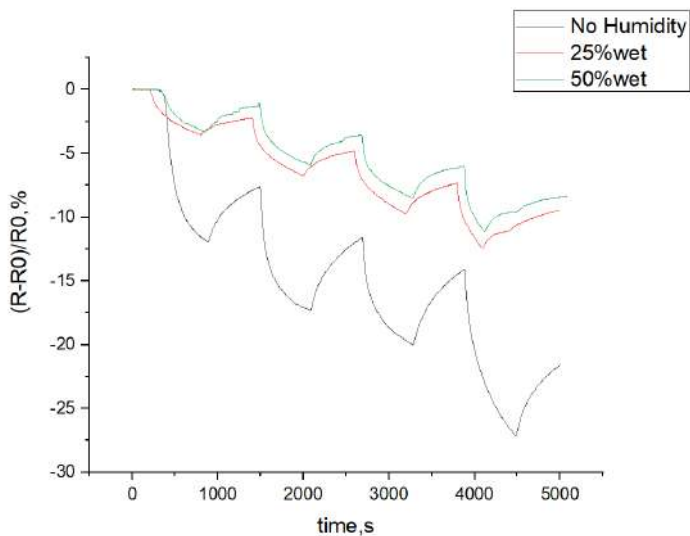


Рис.4 – сопоставление изменений относительной чувствительности сенсоров на базе ОУНТ при различной влажности воздуха и температуре $25\pm 1^\circ\text{C}$

В ходе работы через газовые сенсоры с одинаковой навеской пропускался воздух (газ-носитель) с разными показателями влажности и газ-аналит NO_2 в концентрациях: 1,5 – 25 ppm. На выходе были получены и обработаны данные в виде графика, отображающие зависимость времени отклика (response time) от влажности, которая подавалась в следующих процентных содержаниях: 2 – 50%.

В результате был сделан вывод о непосредственном влиянии влажности на чувствительность углеродных нанотрубок. При повышении влажности время отклика увеличивалось, а относительная чувствительность сенсора падала.

Работа выполнена в рамках Тематического плана № ТП-ХХТ-1_23

Литература:

1. Gas Sensors Based on Single-Wall Carbon Nanotubes / Shu-Yu Guo, Peng-Xiang Hou, Feng Zhang, Chang Liu, Hui-Ming Cheng // *Molecules* © – 2022. – Vol.27, iss.17 – doi:10.3390/mi12020186.

2. Recent advances in ammonia gas sensors based on carbon nanomaterials / A. G. Bannov, M. V. Popov, A. E. Brester, P. B. Kurmashov. – DOI 10.3390/mi12020186. – Text : electronic // *Micromachines*. - 2021. – Vol. 12, iss. 2. – Art. 186 (30 p.).

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ Fe-Co-Ni

Я.В. Матрошилов, Е.В. Турло

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, yaroslav.matr@gmail.com

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

Целью данной работы является электрохимический синтез нанодисперсной системы и изучение магнитных свойств Fe-Co-Ni. Предложен электрохимический метод синтеза нанодисперсной системы Fe-Co-Ni. Установлено, что эта система имеет относительно невысокую величину магнитной проницаемости.

The aim of this work is the electrochemical synthesis of a nanodisperse system and the study of the magnetic properties of Fe-Co-Ni. An electrochemical method for the synthesis of a nanodisperse Fe-Co-Ni system is proposed. It is established that this system has a relatively low magnetic permeability.

Нанодисперсные частицы - это частицы с размерами в нанометровом диапазоне (от 1 до 100 нм). Они являются измельченными или дробленными формами вещества и обладают большой поверхностной активностью.

Нанодисперсные частицы имеют уникальные свойства, связанные с их размером и поверхностными эффектами. Например, они могут обладать улучшенными оптическими, электрическими и механическими свойствами по сравнению с макроскопическими частицами.

Применение нанодисперсных частиц широко распространено в различных отраслях, таких как электроника, медицина, энергетика, косметика и многие другие. Например, в медицине они используются для доставки лекарственных веществ в организм, а в электронике - для создания более эффективных солнечных батарей и дисплеев.

Однако, стоит отметить, что использование нанодисперсных частиц также вызывает опасения в отношении их потенциального негативного влияния на окружающую среду и здоровье людей. Поэтому важно проводить дополнительные исследования и контролировать использование этих частиц.

Электрохимический процесс является одним из методов получения наночастиц. Он основан на использовании электрического тока для манипулирования ионами или молекулами в растворе, что приводит к образованию частиц малого размера.

Одним из примеров такого процесса является электроосаждение, при котором электрод, покрытый каталитическими материалами, помещается в раствор с электролитом. При пропускании тока через раствор, при котором ионы металла в растворе окисляются на аноде и осаждаются в виде металлических наночастиц на катоде.

Кроме того, электрохимический процесс может использоваться для модификации поверхностей наночастиц путем осаждения тонких пленок или оболочек на их поверхности.

Электрохимический метод позволяет получать наночастицы с высокой степенью контроля над их размером, формой и составом, что делает его привлекательным для многих приложений, например, в электронике, катализе и медицине.

Для измерения индуктивности катушки использовалась простейшая цепь с переменным током. Постоянное напряжение подавалось на исследуемую катушку, а переменное напряжение подавалось на вторую катушку, которая являлась обмоткой измерительного трансформатора. При изменении частоты переменного напряжения, менялась фаза между напряжениями на первой и второй катушках. По этой разности фаз определялась индуктивность катушки. Также измерялась добротность

катушки в процессе работы на различных частотах. По полученным значениям индуктивности и добротности рассчитывались величины действительной и мнимой частей магнитной проницаемости для каждого из образцов.

Исследование показало, что образцы, полученные путем компактирования нанодисперсных систем Fe-Co и Fe-Co-Ni, имеют невысокую величину магнитной проницаемости по сравнению с образцом из порошка железа. Она составляет примерно половину от значения для контрольного образца. Это означает, что эти образцы более слабо взаимодействуют с магнитным полем, чем образец из железа.

Для изучения магнитных свойств дисперсных образцов использовались бруски, которые прессовались при различном давлении. На брусках наматывалась измерительная обмотка, на которую подавался переменный ток. Использование брусков позволяло исследовать магнитные свойства образцов в разных условиях прессования.

Исследования проводились при комнатной температуре в диапазоне частот от 30 кГц до 1 МГц. Образец подключался по последовательной схеме к измерителю импеданса. Для каждой из частот проводилось десять измерений, и полученные значения индуктивности и добротности усреднялись.

Таким образом, измерения индуктивности и добротности катушки, использующей образцы с разными магнитными проницаемостями, позволяют определить действительную и мнимую части магнитной проницаемости в переменном электромагнитном поле.

Работа выполнена в рамках Тематического плана № ТП-ХХТ-1_23

Литература:

1. Губин, С.П. Магнитные наночастицы: методы получения, строение и свойства / С.П. Губин, Ю.А. Кокшаров, Г.Б. Хомутов, Г.Ю. Юрков // Успехи химии. - 2005. - Т.74, №6. - С.539-574.
2. Дресвянников, А.Ф. Электрохимический метод синтеза магнитных наночастиц / А.Ф. Дресвянников, В.В. Парфенов, М.Е. Колпаков, В.Н. Доронин, Е.А. Терентьева // Вестник Казанского технол. ун-та. - 2010. - №6. - С.255-263.

ЭКСТРАКЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ УРАНА ИЗ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ СЕРНОКИСЛОТНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ОТХОДОВ КОНВЕРСИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА

М.А. Нечкин, М.Е. Колтышев, К.А. Наливайко
УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, mihail00682@mail.ru
Научный руководитель: Титова С.М., к.т.н., доцент

В данной работе представлено исследование процессов экстракционного извлечения урана из сернокислых растворов выщелачивания отходов конверсионного производства с применением Д2ЭГФК при различных условиях.

This paper presents a study of uranium extraction from pregnant solutions after sulfuric acid leaching of conversion production wastes using HDEHP under various conditions.

Конверсионное производство урана функционировало на АО «ЧМЗ» с 1946 по 2016 гг. Хвостохранилище №2 построено в 1965 г. и эксплуатируется по сей день. К настоящему времени в хвостохранилище накоплено 1,9 млн т отходов, содержание урана в которых равно 0,1–0,3 масс. %. Оцененные запасы урана в шламах составляют 14500 т, что позволяет организовать промышленную переработку отходов хранилища № 2. Стоит отметить, что хвостохранилище находится в непосредственной близости от русла р. Чепца и является потенциальным источником экологической опасности, так как вопрос миграции радионуклидов в грунтовые воды и, как следствие, в реку является вопросом времени. Разработка технологии переработки радиоактивных отходов (РАО) хвостохранилища №2 позволит не только решить вопрос ликвидации «ядерного наследия» с возвратом урана в ядерно-топливный цикл, но и снизить антропогенную нагрузку предприятия на окружающую среду [1].

На начальном этапе исследования выщелачивание урана из РАО хвостохранилища № 2 осуществляли раствором серной кислоты. Для этого навеску шлама массой 500 г обрабатывали растворами серной кислоты с концентрацией 100 г/дм³. Полученные продуктивные растворы (ПР) состава, г/дм³: U – 0,263; Fe – 1,085; Ca – 0,595; Ti – 0,030; Zr – 0,012; Se – 0,009; H₂SO₄ – 70,01 направляли на экстракцию с применением Д2ЭГФК в инертном растворителе Shellsol D60. Содержание Д2ЭГФК в экстракционной смеси варьировали в диапазоне 1 - 65%. Экстракцию проводили в течение 15 мин при соотношении фаз О:В=1:1, после чего фазы разделяли. Рафинаты анализировали на

содержание урана методом ICP-AES. На рисунках 1-2 приведены зависимости степеней извлечения урана и основных примесей из ПР от содержания Д2ЭГФК в экстракционной смеси.

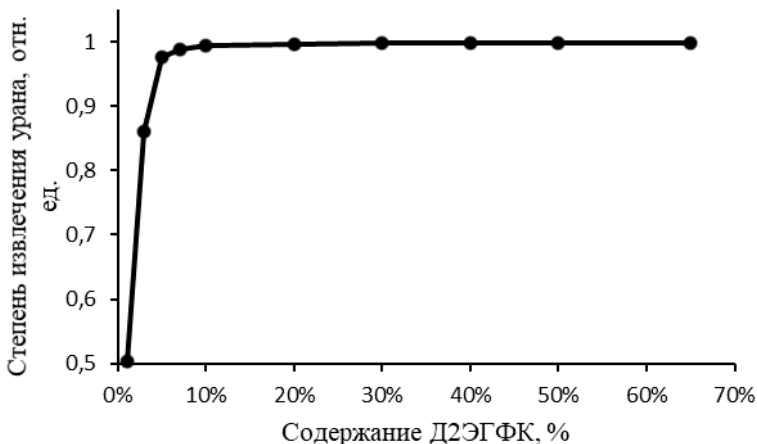


Рис. 1 – Зависимость степени извлечения урана от содержания Д2ЭГФК в экстракционной смеси

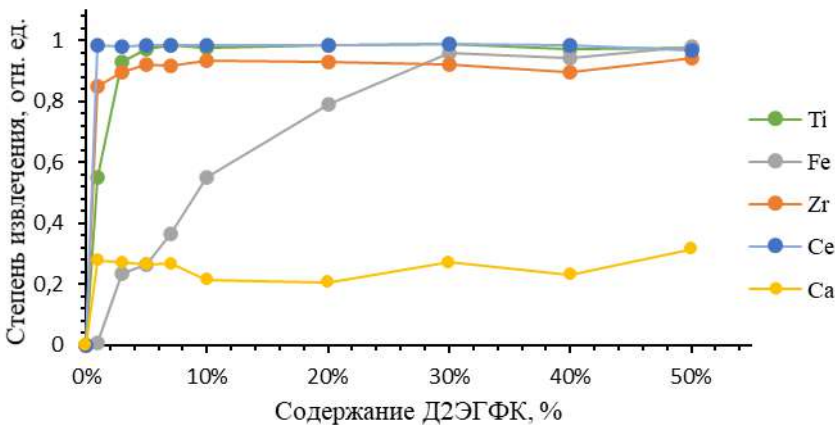


Рис. 2 – Зависимость степеней извлечения примесей от содержания Д2ЭГФК в экстракционной смеси

Диапазон концентраций Д2ЭГФК в экстракционной смеси для дальнейших исследований составляет от 1 до 10%. Последующее повышение содержания Д2ЭГФК не приведет к увеличению степени извлечения урана, но в значительной степени ухудшит разделение водной и органической фазы за счет повышения вязкости экстрагента.

На втором этапе проводили изучение экстракции при различном соотношении водной и органической фаз. Экстракцию осуществляли сериями из 5 параллельных опытов для 1, 3, 5, 7 и 10% Д2ЭГФК, варьируя соотношение О:В от 1:1 до 1:10. На рисунке 3 представлены зависимости степени извлечения урана от концентрации Д2ЭГФК в экстракционной смеси при различном соотношении фаз.

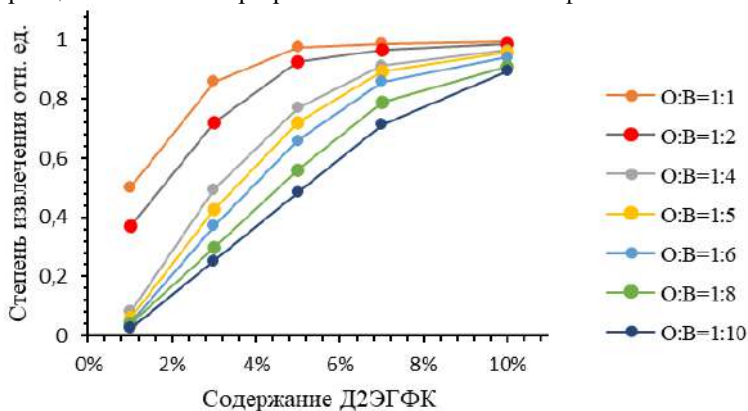


Рис. 3 – Экстракция урана Д2ЭГФК при различном соотношении фаз О:В

Исходя из полученных результатов, выделяли две серии экспериментов: 5 и 7% Д2ЭГФК при соотношении О:В = 1:4 и 1:5, поскольку удовлетворяли своими показателями как по степени извлечения, так и по небольшому расходу реагентов. Значения степеней извлечения основных примесей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Степень извлечения примесей (отн.ед.) при разных режимах экстракции Д2ЭГФК

Соотношение О:В	Содержание Д2ЭГФК	Элемент				
		Ca	Ti	Fe	Zr	Ce
1:4	5%	0,22	0,74	0,26	0,97	0,97
	7%	0,21	0,86	0,36	0,98	0,96
1:5	5%	0,18	0,65	0,06	0,90	0,97
	7%	0,22	0,80	0,12	0,99	0,97

Можно отметить высокие показатели извлечения титана, циркония и церия, но с учетом их невысокой концентрации в продуктивных растворах данные примеси не являются мешающими компонентами для извлечения урана.

На третьем этапе проводили насыщение экстрагента (увеличение концентрации целевого компонента в экстрагенте до максимальных значений за счет последовательного контакта со свежими порциями

продуктивного раствора определенное количество раз (ступеней). Количество рассматриваемых ступеней – 10. Экстракцию вели при фазовых соотношениях О:В=1:4 и 1:5 при смешении фаз на лабораторном шейкере в течение 15 мин. После разделения фаз полученные рафинаты направляли на количественный элементный анализ, а к экстрактам добавляли свежую порцию ПР. Зависимость концентрации урана в органической фазе от числа ступеней экстракции приведены на рисунке 4.

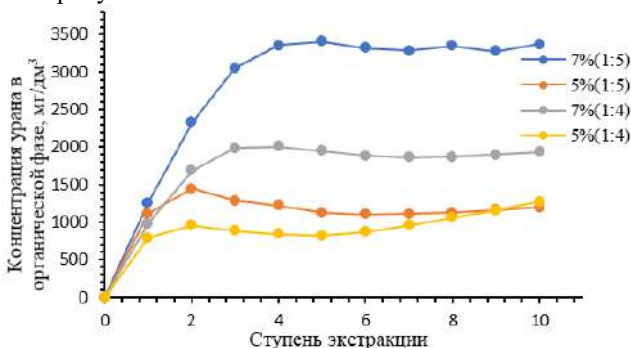


Рис. 4 – Зависимость концентрации урана в органической фазе от числа ступеней экстракции при различном соотношении О:В

По результатам исследования, максимальное значение концентрации урана достигнуто при фазовом соотношении О:В=1:5 для экстракционной смеси, содержащей 7% Д2ЭГФК, и составило 3,4 г/дм³. Насыщение экстрагента по урану при этом достигнуто при проведении 5 ступеней экстракции.

По результатам работы можно отметить, что экстракция Д2ЭГФК является эффективным способом извлечения урана из сернокислых растворов выщелачивания шламов конверсионного производства. Процесс необходимо вести при содержании Д2ЭГФК в экстракционной смеси 5-7% при фазовом соотношении О:В=1:5 и количестве ступеней экстракции – не менее 5.

Литература:

1. Nalivaiko K., Skripchenko S., Titova S., Rychkov V. Characterization and processing of radioactive uranium containing waste sludge by sulfuric acid leaching // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2022. – Vol. 10. – P. 106972.
2. Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана: Учебное пособие для вузов / Тураев Н.С., Жерин И.И. – М.: ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2005. – 409 с.

3. Громов Б.В. Введение в химическую технологию урана. Учебник для вузов / Громов Б.В. – М.: Атомиздат, 1978. – 336 с
4. Вольдман Г. М., Зеликман А. Н. Теория гидрометаллургических процессов: Учеб. Пособие для вузов – 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Интернет Инфиниринг, 2003.- 464с.: ил.
5. Галкин Н.П. Технология урана. Учебное пособие / Галкин Н.П. – М.: Атомиздат, 1964. – 400 с.
6. Луганов В. А. Теоретические основы гидрометаллургических процессов. Экстракционные и ионообменные процессы: Учебное пособие / В.А. Луганов, А.О. Байконурова, Н.М. Комков, Е.Н. Сажин /ВКГТУ. – Усть-Каменогорск, 2004. – 104 с.
7. Вольдман Г. М. Основы экстракционных и ионообменных процессов гидрометаллургии: Учеб. пособие для вузов по спец. "Металлургия цв. металлов" и "Хим. технология редких и рассеян. элементов" / Г. М. Вольдман. - Москва: Metallurgia, 1982. - 375 с.

СИНТЕЗ И ХАРКТЕРИСТИКА ОСНОВНОГО НИТРАТА ВИСМУТА(III)

С.Г. Никонова¹, Л.И. Афонина^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

г. Новосибирск, sanoks1919@gmail.com

Научный руководитель: Афонина Л.И. к.х.н., доцент

Проведен анализ литературы по исследованию процессов гидролиза висмута(III), протекающих в азотнокислых растворах. Предложен простой способ синтеза основного нитрата висмута(III), предположительно имеющего состав $[Bi_6O_6(OH)_3](NO_3)_3 \cdot nH_2O$. Продукт охарактеризован методами химического и рентгенофазового анализом, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

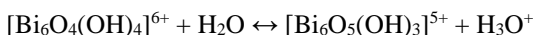
An analysis of the literature on the study of bismuth(III) hydrolysis processes occurring in its nitric acid solutions has been carried out. A simple method for the synthesis of basic bismuth(III) nitrate, presumably having the composition $[Bi_6O_6(OH)_3](NO_3)_3 \cdot nH_2O$, has been proposed. The product was characterized by chemical and X-ray phase analyses, electron microscopy (SEM).

Из литературных источников известно, что при гидролитической переработке висмутсодержащих азотнокислых растворов в зависимости от кислотности среды и температуры процесса образуется более десяти основных нитратов висмута(III), имеющих различные составы [1].

Многие из них известны уже более двух столетий под торговыми названиями *Magisterium bismuti* и *Bismutum subnitricum*. Они нашли широкое применение в медицине в качестве фармацевтических препаратов, используемых для лечения желудочно-кишечных расстройств, а также в качестве антимикробных и противогрибковых средств. В последние несколько лет интерес к основным нитратам висмута возрос благодаря их высокой фотокаталитической активности. Основной нитрат висмута это полупроводниковый фотокатализатор, обладающий такими достоинствами, как низкая стоимость, низкая токсичность, высокая светостойкость, устойчивость к фотокоррозии и т.д. [2].

Составы некоторых основных нитратов были установлены на основе химического анализа и рентгеноструктурного анализа на монокристаллах, порошковые рентгенограммы представлены в базе данных ICDD.

Исследования кристаллической структуры [3] показали, что эти соединения могут содержать два комплексных поликатиона $[\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4]^{6+}$ и $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3]^{5+}$. Соединения образуются в кислой среде при разбавлении водой висмутсодержащих азотнокислых растворов. Между этими поликатионами существует равновесие, представленное уравнением:



Сдвиг равновесия зависит от температуры и pH среды. При низких значениях pH (< 0,7) образуются соединения: $[\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4](\text{NO}_3)_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ при $T=25^\circ\text{C}$; $[\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4](\text{NO}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ при $T=70^\circ\text{C}$, а при $\text{pH} > 1,2$ - соединение $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Рядом исследователей показано, что в условиях гидротермального или микроволнового синтеза эти соединения можно перевести в соединение $[\text{Bi}_6\text{O}_6(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_3 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$, к получению которого в последние годы возник значительный интерес вследствие его высокой фотокаталитической активности [2, 4].

В данной работе предложен простой способ получения основного нитрата висмута(III), предположительно имеющего состав $[\text{Bi}_6\text{O}_6(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Предварительно в результате разбавления холодной водой раствора нитрата висмута (~450 г/л Bi^{3+} , 110 г/л HNO_3) в соотношении 1:40 и дальнейшем перемешивании смеси в течение 30 мин при комнатной температуре был получен основной нитрат $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. По данным РФА продукт полностью соответствовал образцу 70-1226 в базе данных ICDD. Маточный раствор сливали с осадка декантацией. Осадок промывали водой, отфильтровывали с помощью вакуума и без предварительной сушки дважды обрабатывали водой при 70°C в соотношении твердое – раствор

1:20. Каждая обработка длилась не менее 2 ч. Рентгенофазовый анализ продуктов показал, что после первой обработки прекурсора водой наблюдалась его аморфизация с сохранением небольшого количества очень слабых рефлексов исходного соединения. Повторная обработка водой приводила к образованию хорошо окристаллизованного продукта, дифрактограмма которого во многом совпадала с дифрактограммой образца, полученного гидротермальным способом и представленной в работе [4].

По данным химического анализа продукт предварительно высушенный на воздухе при 60°C в течение 5 ч, содержит (в %): Bi – 78,57; NO_3^- – 11,89. Молярное отношение висмута к нитрат-ионам в соединении равно 2. Выдерживание конечного продукта обработки при 200°C в течение 4 ч не приводило к заметной потере массы образца, что может свидетельствовать об отсутствии в его составе молекул кристаллизационной воды. На основании этого состав полученного соединения можно представить формулой - $[\text{Bi}_6\text{O}_6(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_3$.

По данным СЭМ образцы $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, полученные гидролитической переработкой висмутсодержащего раствора, представляют собой удлинненно-призматические кристаллы длиной более 30 и шириной 5–15 мкм (рисунок 1, *а*). После его обработки водой при повышенной температуре конечный продукт представляет агрегаты размером до 5 мкм, состоящие из плотно упакованных частиц неправильной формы с размером 1-2 мкм. Эти агрегаты имеют гладкую торцевую поверхность по форме близкую к гексагональной (рисунок 1, *б*). По боковой поверхности можно судить о том, что данные образования склонны к расслаиванию. На данном рисунке присутствуют также частицы прекурсора не до конца подвергшиеся разложению.

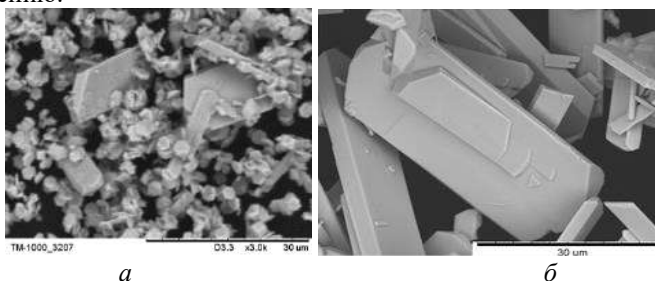


Рис. 1 – СЭМ изображения: *а* - $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; *б* – продукт двукратной обработки водой соединения *а* при 70°C

Таким образом, показана возможность дальнейшего гидролиза соединения $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ при повышенной температуре с

образованием соединения предполагаемого состава - $[Bi_6O_6(OH)_3](NO_3)_3$. Для уточнения состава и строения полученного соединения необходимо привлечь дополнительные методы исследования, например ИК спектроскопию и ДТА.

Работа выполнена в рамках Тематического плана № ТП-ХХТ-1_23

Литература:

1. Юхин Ю.М., Михайлов Ю.И. Химия висмутовых соединений и материалов. Новосибирск: издательство СО РАН. 2001. 360 с.
2. Methods for preparing and enhancing photocatalytic activity of basic bismuth nitrate / S. Sun, W. Xiao, C. You, W. Zhou et al. // Journal of Cleaner Production. - 2021. - Vol. 294. - No. 126350. doi.:10.1016/j.jclepro.2021.126350.
3. Synthesis and characterization of basic bismuth(III) nitrates / A. Christensen, M. Chevallier, J. Skibsted, B. Iversen // J. Chem. Soc., Dalton Trans. – 2000. – P. 265–270.
4. S. Wang, F. Teng, Y. Zhao Effect of the molecular structure and surface charge of a bismuth catalyst on the adsorption and photocatalytic degradation of dye mixtures // RSC Adv., - 2015. – Vol. 5. - P. 76588–76598. doi: 10.1039/c5ra14931b.

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ СЫРОГО И ПРОКАЛЕННОГО НЕФТЯНОГО КОКСА

В.С. Никулина¹, Е.В. Россохач², Ю.Л. Крутский¹

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Центральная заводская лаборатория Эл 6,
г. Новосибирск, nikulina.vera305@mail.ru

Научный руководитель: Крутский Ю.Л., доцент

Научный руководитель: Россохач Е.В., руководитель группы ККМ

В данной работе рассматривается вопрос изучения влияния процесса прокаливании на основные свойства нефтяного кокса, который является сырьем для производства углеграфитовых материалов.

In this paper, the issue of studying the effect of the calcination process on the basic properties of petroleum coke, which is a raw material for the production of carbon graphite materials, is considered.

Нефтяной кокс – твердый пористый продукт черного или серого цвета, получаемый из остатков переработки нефти. Элементный состав

нефтяного кокса: 90-97% углерода, остальное приходится на водород, азот, кислород, серу и некоторые металлы, такие как: ванадий, никель, железо, кобальт. [1]

В современном мире спрос на нефтяной кокс растет непрерывно. Это объясняется широкой областью его применения: производство высоколегированных и специальных сталей, цветных металлов и электродной продукции. Большое количество кокса требуется для получения алюминия. [2] На производстве Эл 6 нефтяной кокс служит твердым сырьём для углеграфитовой продукции. А именно для изготовления электродов, графитированных блоков, обожжённых анодных блоков и анодной массы. [3]

Углеграфитовые материалы и изделия из них можно получать только из зернистого углерода, соединяя отдельные зерна связывающим веществом. Это вещество в процессе термической обработки уже сформованных деталей превращается в кокс и закрепляет между собой частицы. Готовое изделие становится монолитным и приобретает свою определенную прочность. Основная технологическая схема производства таких материалов состоит из следующих операций:

1. Измельчение исходного углеродного сырья;
2. Смешение со связующим веществом;
3. Формование;
4. Обжиг;
5. Графитация.

В качестве связующего используют каменноугольный пек. Его задача состоит в том, чтобы оставить в изделии достаточное количество кокса и придать ему необходимую прочность и однородность, для того, чтобы можно было это изделие формовать. При обжиге формованные заготовки постепенно нагреваются до температуры около 1000°C и потом медленно охлаждаются. В процессе графитации происходит повторный нагрев до более высокой температуры (2200-3000°C) в защитной среде. Изделия приобретают характерные свойства графита – высокую тепло- и электропроводность. При графитации происходит разложение углеводородов на вещества, обогащенные углеродом. Они называются карбоидами. [4] Их структура представляет собой сшитый трехмерный полимер и в процессе она превращается в графит. Слои в структуре упорядочиваются относительно друг друга и сближаются. Расстояние между атомными слоями у карбоида составляют 3,44 ангстрем, а у графита 3,35 ангстрем. Структура графита представлена на рисунке 1.

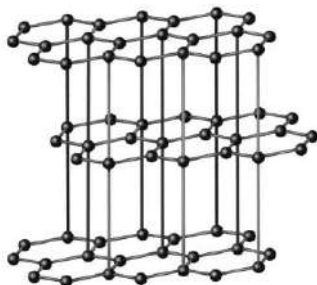


Рис. 4 – Структура графита

Перед началом всех операций сырьё подвергают прокаливанию. Это термическая обработка без доступа воздуха при температуре 1200-1300°C. При прокаливании должна происходить усадка углеродных материалов, удалиться влага и стабилизироваться физические и механические свойства. [5]

Основные определяемые характеристики нефтяного кокса для получения различных углеродных материалов – это содержание серы, золы, влаги. К ним также относят содержание летучих веществ, действительную плотность, удельное электрическое сопротивление и реакционную способность. [6] В данной работе рассмотрены только некоторые свойства, так как для определения остальных показателей необходимы дополнительные исследования. Испытания проводились на образцах нефтяных коксов, поставляемых с предприятия Пермнефтеоргсинтез (ПНОС) и Бакинского нефтеперерабатывающего завода (БНПЗ).

Определение содержания серы производилось при помощи ИК-спектрометра ELTRA CS580. Навеска нефтяного кокса массой 100-115 мг сжигалась при температуре 1350°C в токе кислорода. Содержание серы в сыром коксе (ПНОС), составило 2,8039 %, а после прокалывания того же пермского нефтяного кокса – 2,6149 %. Для сырого бакинского кокса содержание серы составило около 0,5314%, для прокалённого – 0,5021%. Проведённый анализ показал, что массовая доля серы после прокалывания снижается.

В результате измерения влаги в сыром и прокалённом коксе на анализаторе MX-50 было определено, что содержание влаги после прокалывания уменьшается, что положительно влияет на эксплуатационные характеристики получаемого сырья. Массовая доля влаги в сыром коксе (ПНОС) составила 7,97%, в прокалённом – 0,15%. В не прокалённом БНПЗ доля влаги 2,08%, после прокалки – 0,86%. После процесса прокалки остаётся незначительное содержание влаги,

так называемая химически связанная влага, которая образует прочные химические связи с веществом.

Зольность (содержание нелетучих веществ, таких как Fe, Si, Ca, V, Mg, соединения серы и т.д.) измерялась при нагреве образцов до $850 \pm 20^\circ\text{C}$ в муфельной печи с выдержкой около 1,5 часов до полного озоления. Зольность (А) БНПЗ до прокаливания составила 0,13%, после – 0,20. Для пермского до прокаливания – 0,16, после – 0,24%. Анализ показал, что в процессе прокаливания значение зольности повышается на 0,03-0,1%.

Измерение удельного электрического сопротивления (УЭС) порошка материала проводилось с помощью УЭС - метра. Обычно, сырой кокс имеет очень высокое удельное электросопротивление. Прокалённый нефтяной кокс (ПНОС) имеет УЭС - 458,6 мкОм · м. БНПЗ имеет УЭС – 449,7 мкОм · м. Зависимость электросопротивления от температуры прокалики показана на рисунке 2.

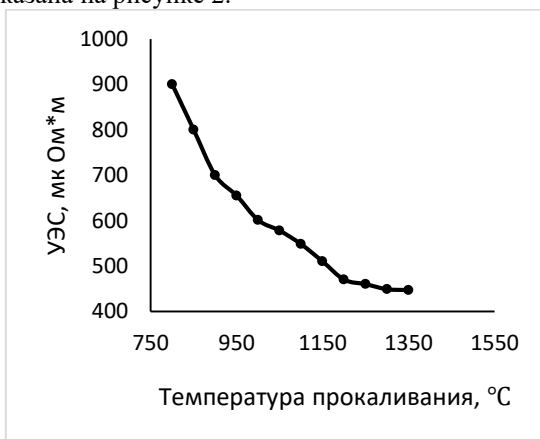


Рис. 2 – Зависимость УЭС от температуры прокаливания нефтяного кокса

В результате, сырой нефтяной кокс обладает низкой электрической проводимостью, а в прокалённом виде достаточно хорошо проводит электрический ток.

Процесс прокаливания играет значительную роль в подготовке сырья для последующих технологических операций: обжига, формования и графитации. Происходит изменение массы углеродного сырья и уплотнение материала. Это связано с выделением влаги и летучих веществ. Также, в процессе массовое содержание серы уменьшается, показатели золы увеличиваются, УЭС уменьшается. Прокалка приводит к усадке материала, которая позволяет в

дальнейших термических процессах контролировать объемные изменения уже сформированных изделий. Также, прокаливание ведет к стабилизации физико-механических свойств готовой продукции.

Литература:

1. Гимаев Р.Н., Кузеев И.Р., Абызгильдин Ю.М. Нефтяной кокс. – М.: Химия, 1992. – 80 с.
2. Производство нефтяного кокса [Электронный ресурс] // Marketing.rbc.ru: 2022. URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/13919/> (Дата обращения: 30.10.2023)
3. Использование нефтяного кокса в углеродной промышленности [Электронный ресурс] // El6.ru: 2013. URL: <https://www.el6.ru/ru/klientam/produkcziya-i-technologii/produkcziya/prokalennyij-neftyanoj-koks/> (Дата обращения: 30.04.2023)
4. Карбоиды [Электронный ресурс] // Bitumtek.ru: 2019. URL: https://bitumtek.ru/proektirovschiku/spravochnaya_informatsiya/sostav_neftyanyh_bitumov/ (Дата обращения: 2.11.2023)
5. Крутский Ю.Л. Производство углеграфитовых материалов: учебное пособие / Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – 116 с.
6. Походенко Н.Т., Брондэ Б.И. Получение и обработка нефтяного кокса. – М.: Химия, 1986. – 312 с.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ В СЛОЕ HFE-7100 НА КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ПОКРЫТИЯХ С РАЗЛИЧНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ

С.В. Пащенко^{1,2}, Д.А. Швецов^{1,2}, В.И. Жуков^{1,2}

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

**²Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, spash2310@mail.ru**

В работе приводятся результаты исследования теплообмена при кипении в тонком горизонтальном слое диэлектрической жидкости HFE-7100 на капиллярно-пористых покрытиях из нержавеющей стали и из бронзы. На покрытии из нержавеющей стали была получена интенсификация теплообмена в 10 раз, а на бронзовом в 2 раза по сравнению с данными, полученными на гладкой поверхности без покрытий. Теоретические оценки показали, что на покрытии из нержавеющей стали активизируется поры меньшего радиуса, чем

на покрытии из бронзы, что и могло обеспечить такое различие в интенсификации теплообмена.

The paper presents the results of the study of heat transfer during boiling in a thin horizontal layer of dielectric liquid HFE-7100 on capillary-porous coatings made of stainless steel and bronze. The enhancement of heat transfer was obtained on a stainless steel coating by 10 times, and on a bronze one by 2 times compared to the data obtained on a smooth surface. Theoretical estimates have shown that pores of a smaller radius are activated on a stainless steel coating than on a bronze coating, which could provide such a difference in the enhancement of heat transfer.

Теплообмен при кипении с использованием модифицированных поверхностей в настоящее время является очень популярной областью исследований. Режим кипения обеспечивает высокую интенсивность процессов тепло- и массообмена во многих современных технологиях, в том числе и в микроэлектронике. В качестве охлаждающей жидкости для микроэлектроники с помощью иммерсионного охлаждения можно использовать HFE-7100, так как он имеет низкую температуру кипения и является диэлектриком. Иммерсионное охлаждение, при котором горячие поверхности находятся в непосредственном контакте с охлаждающей жидкостью, позволяет достичь высокой эффективности охлаждения за счет кипения охлаждающей жидкости на горячих поверхностях [1].

Целью данной работы являлось экспериментальное исследование теплообмена при кипении тонкого слоя диэлектрической жидкости HFE-7100 на капиллярно-пористых покрытиях с одинаковой синусоидальной формой профиля, но с различной теплопроводностью. Капиллярно-пористое покрытие, изготовленное из нержавеющей стали LPW 155 (15-5PH) (амплитуда 0,55 мм, длина волны модуляции 3,5 мм), наносилось на нижнее основание (дно) специально изготовленной камеры с использованием технологии лазерной 3-D печати SLM/SLS–методом (селективное лазерное плавление/спекание). Аналогичным образом было изготовлено покрытие из бронзового порошка AISI C836000 (амплитуда 0,55 мм, длина волны модуляции 3,5 мм). Подробно технология нанесения покрытия описана в работах [2, 3]. Исследование проводилось на экспериментальной установке, выполненной в виде цилиндрического сосуда из стали 12X18H10T с толщиной стенок 1 мм, внутренним диаметром 120 мм и высотой 300 мм. Нагрев днища рабочей камеры осуществляется электронагревателем с мощностью 1 кВт. Для измерения плотности теплового потока в днище сбоку на различной высоте просверлено 5 отверстий диаметром 1,5 мм, в которые вставляются медь – константановые термодпары в нержавеющей капиллярах. Внутрь рабочей камеры заливался слой рабочей жидкости HFE–7100 определенной высоты. Значения теплопроводности материалов покрытия

λ_c : для нержавеющей стали LPW 155 (15-5PH) – 20 (Вт/м·К) [4], для бронзы AISI C836000 – 89 Вт/(м·К) [5]. Значение критического давления для HFE-7100 $P_{cr} = 2.23 \cdot 10^6$ Па. Эксперименты на поверхности с капиллярно–пористыми покрытиями проводились при давлениях над слоем P_s (P_s/P_{cr}): 100 кПа ($4.5 \cdot 10^{-2}$). Высота исследуемого в работе слоя жидкости h (h/l_σ) = 6 мм (7.5), где l_σ – капиллярная постоянная жидкости (для HFE-7100 при 100 кПа $l_\sigma = 0.8$ мм). Для расчета температурного напора использовались температура насыщения жидкости T_s , определенная по $P_s(T)$ зависимости, и температура стенки T_w , определенная путем линейной экстраполяции измеренного температурного профиля по пяти термопарам.

На рисунке 1 показана зависимость плотности теплового потока от температурного напора при давлении $P_s = 100$ кПа ($P_s/P_{cr} = 4.5 \cdot 10^{-2}$). Эксперимент проводился при постепенном повышении мощности, подаваемой на нагреватель, на трёх разных поверхностях нагрева: из нержавеющей стали, бронзы и гладкой поверхности без покрытий. Из рисунка 1 видно, что температурный напор на покрытия из нержавеющей стали и бронзы намного меньше, чем на гладкой поверхности. На покрытии из нержавеющей стали при значении теплового потока ~ 30 кВт/м² наблюдается инверсия кривой кипения [6], а кривая для покрытия из бронзы имеет обычный вид, характерный для кривых кипения в большом объёме жидкости на гладкой поверхности. При значении теплового потока ~ 100 кВт/м² на гладкой поверхности происходит кризис кипения, а на кривой для покрытия из нержавеющей стали наблюдается вторая инверсия, что приводит к значительному увеличению коэффициента теплоотдачи до высоких значений (33 кВт/(м²·К)).

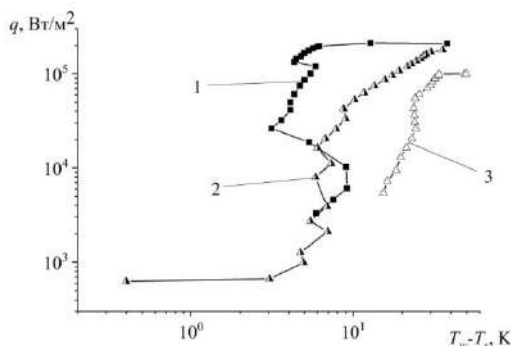


Рис. 1 – Зависимость плотности теплового потока от температурного напора при давлении 100 кПа ($P_s/P_{cr} = 4.5 \cdot 10^{-2}$): 1 – данные, полученные

на стальном покрытии; 2 – данные, полученные на бронзовом покрытии;
3 – данные, полученные на гладкой поверхности

Вероятно, все наблюдаемые явления могут быть связаны с тем, что радиус активных пор на покрытии из нержавеющей стали имеет меньший диапазон, чем на бронзовом, из-за чего в процессе образуются пузыри меньшего размера и в большем количестве. Этот радиус возможно рассчитать по математической модели Лью [7], которая позволяет оценить диапазон активных пор по теплофизическим свойствам жидкости, учитывая эффективный коэффициент теплопроводности пористого покрытия [8].

На рисунке 2 представлен график расчётных диапазонов активных пор, которые были найдены с помощью модели Лью. По полученным данным видно, что размерный диапазон этих пор у покрытия из нержавеющей стали меньше, чем у бронзы, и они активируются при меньшем температурном напоре. Например, на покрытии из нержавеющей стали при температурном напоре ~ 4 К активируются поры радиусом 4 мкм, а на бронзовом покрытии поры такого же радиуса активируются при значении температурного напора $\sim 5,6$ К.

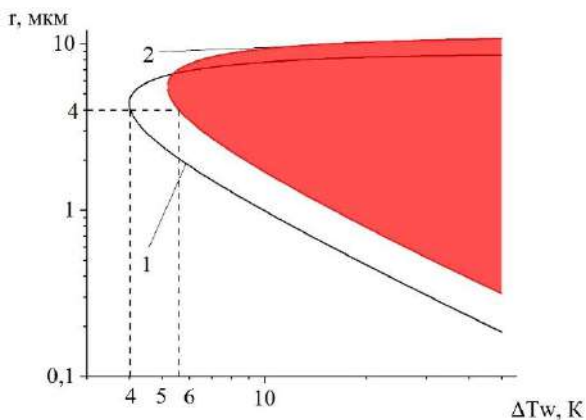


Рис. 2 – График расчётных диапазонов активных пор: 1 – диапазон активных пор на стальном покрытии; 2 – диапазон активных пор на бронзовом покрытии

Таким образом, в данной работе показано, что теплопроводность материала в значительной степени влияет на диапазон размера активных пор покрытия. При более высоком значении теплопроводности диапазон для размеров этих пор увеличится, из-за чего они будут активироваться при большем температурном напоре, что ухудшит процесс теплообмена.

Исследования выполнены за счёт средств гранта Российского научного фонда (проект № 23-19-00245)

Литература:

1. Supersonically spray-coated copper meshes as textured surfaces for pool boiling / H.S. Jo, M.W. Kim, T.G. Kim, S. An, H.G. Park, J.G. Lee, S.C. James, J. Choi, S.S. Yoon // *Int. J. Therm. Sci.* – 2018. – V. 132. – P. 26-33.
2. Бессмельцев В.П., Павленко А.Н., Жуков В.И. Разработка технологии создания структурированных капиллярно-пористых покрытий методом 3D-печати для интенсификации теплообмена при кипении // *Автометрия.* – 2019. – Т. 55. – №. 6. – С. 25–35.
3. 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. – P. 120488.
4. Зубченко А.С., Колосков М.М., Каширский Ю.В. и др. *Марочник сталей и сплавов.* 2-е изд., доп. и испр. Под ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
5. Осинцев О.Е., Федоров В.Н. *Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки: справочник.* – М.: Машиностроение, 2004. – 336 с.
6. Инверсия кривой кипения на микроструктурированных пористых покрытиях / Д.А. Швецов, А.Н. Павленко, А.Е. Брестер, В.И. Жуков // *ТВТ.* – 2023. – Т. 61, № 2. – С. 1–5.
7. Liu X., Zou Q., Yang R. Theoretical analysis of bubble nucleation in liquid film boiling // *Int. J. Heat Mass Transfer.* – 2022. – V. 192. – P. 122911.
8. Bodla K.K., Murthy J.Y., Garimella S.V. Direct simulation of thermal transport through sintered wick microstructures // *J. Heat Transfer.* – 2012. – V. 134. – P. 012602.

ВВЕДЕНИЕ Li_2CO_3 ПРИ СИНТЕЗЕ Pb_2MgWO_6 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ

Н.С. Ридель, А.А. Гусев

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

г. Новосибирск, shevchenko.2506@mail.ru,

Научный руководитель: Гусев А.А., к.х.н., с.н.с

В данной работе исследуется синтез пьезокерамики Pb_2MgWO_6 (PMW) допированной Li_2CO_3 1% и 2% вес. сверх стехиометрии. Синтез проводился с использованием высокоэнергетической механохимической активации (m/a) на мельнице АГО-2 с последующим обжигом в печи ПВК-1,4-8 при 750 °С в течение 2, 4, 6 и 10 часов.

In this study the synthesis of Pb_2MgWO_6 (PMW) piezoceramics doped with Li_2CO_3 1% and 2% wt. above stoichiometry is investigated. The synthesis was carried out using high-energy mechanochemical activation (m/a) on an AGO-2 mill followed by firing in a PVK-1.4-8 furnace at 750°C for 2, 4, 6 and 10 hours.

В наше время наблюдается наибольший интерес к материалам, проявляющие сегнетоэлектрические свойства. Одним из таких соединений является PMW со структурой перовскита. Магнийвольфрамат свинца перспективен для создания датчиков, твердотельных накопителей энергии и микроэлектронной техники.

Низкие температуры плавления вольфраматов не позволяют использовать традиционные методы получения пьезокерамики, такие как отжиг при высоких температурах, поэтому нами предпринята попытка использовать высокоэнергетическую механоактивацию. Данный метод не только сокращает время синтеза материала, но и снижает температуру последующего обжига.

Карбонат лития вводился для снижения электропроводности керамики и для изучения ее влияния на структуру и плотность. По литературным данным также известно, что введение легирующей добавки способствует повышению плотности образцов и снижению температуры обжига.

Ранее нами были получены образцы PMW без введения Li_2CO_3 из оксидов соответствующих металлов и с использованием прекурсора MgWO_4 [1]. В обоих случаях образцы имели кубическую структуру с S.G. Fm-3m и плотность около 90% от теоретической. Самый плотный образец из оксидов - 8,52 г/см³ был получен после обжига при 900 °С, а с использованием прекурсора - 8,46 г/см³ после обжига при 700 °С.

Легирование карбонатом лития системы PMW привело к снижению температуры обжига с 900 °С до 700 °С и повышению плотности

образцов, содержащих 1% вес. Li_2CO_3 (около 93%) и некоторому снижению плотности у образцов содержащих 2% вес. Li_2CO_3 . При этом модификация структуры сохраняется. Как в образцах, синтезированных из оксидов, так и с использованием прекурсора максимальная плотность составляет $8,63 \text{ г/см}^3$ и достигнута после обжига при 700°C при содержании 1% вес. Li_2CO_3 . В случае с содержанием 2% вес. Li_2CO_3 плотность снижается до $8,33 \text{ г/см}^3$.

Учитывая, что при повышении температуры спекания образцов до 700°C плотность образцов увеличивалась, а с 800°C начинала снижаться, было решено исследовать влияние обжига на плотность керамики при температуре спекания 750°C . Обжиг проводился в течение 2, 4, 6 и 10 часов.

Была подготовлена серия образцов 1) PMW из оксидов с добавлением 1% и 2% вес. Li_2CO_3 и 2) PMW с использованием прекурсора и введением 1% и 2% вес. Li_2CO_3 .

Сразу после механохимической активации, по данным рентгенофазового анализа, во всех случаях формируется PMW кубической модификации S.G. Fm-3m. Рефлексы уширены, что свидетельствует о том, что имеются непрореагировавшие компоненты.

Далее, проводился обжиг при 750°C в течение 2, 4, 6 и 10 часов. По полученным результатам самые качественные образцы получены при спекании в течение 2х часов. В остальных случаях имеются видимые глазом поры и расслоения.

Таким образом, после обжига в течение 2 часов с 1% вес. Li_2CO_3 получена керамика с плотностью 95% от теоретической. Образцы, полученные 1 способом из оксидов с введением 1% вес. Li_2CO_3 , имеют плотность $8,71 \text{ г/см}^3$. Образцы, полученные 2 способом из прекурсора с введением 1% вес. Li_2CO_3 - $8,84 \text{ г/см}^3$. Остальные образцы, полученные при времени обжига 4 - 10 часов, имеют более низкую плотность.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН (проект № 121032500062-4)

Литература:

1. *Shevchenko N.S., Gusev A.A. Mechanochemical synthesis of Pb_2MgWO_6 piezoceramics with alloying additives// MATEC Web of Conferences. 2021. V. 340, P. 7 doi: 10.1051/matecconf/202134001008*

СИНТЕЗ НИТРО- И ХЛОР-ЗАМЕЩЕННЫХ БЕНЗАМИДОВ НА ОСНОВЕ ИЗО-БОРНИЛАМИНА

В.В. Самсонова¹, А.С. Соколова²

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Новосибирский институт органической химии им. Ворожцова

г. Новосибирск, samsonovaval3ria@yandex.ru

Научный руководитель: Соколова А.С., к.х.н., с.н.с.

При помощи синтетической модификации (+)-камфоры, можно получать вещества с разнообразной биологической активностью. Полученные вещества обладают противовирусным действием. В рамках данной работы осуществлен синтез нитро- и хлор-замещенных бензамидов, включающих 1,7,7-триметилбисцикло[2.2.1]гептановый фрагмент.

Using a synthetic modification of (+)-camphor, it is possible to obtain substances with various biological activities. The resulting substances have an antiviral effect. As part of this work, the synthesis of nitro- and chloro-substituted benzamides containing a 1,7,7-trimethylbicyclo[2.2.1]heptane fragment was carried out.

Камфора — белое или прозрачное твердое вещество, встречающееся в древесине камфорного лавра и других деревьев в Азии. Камфору также производят синтетически из скипидарного масла. Камфора имеет множество применений, в том числе в качестве промышленного пластификатора; средства от насекомых; ароматизаторы пищевых продуктов; и в медицине как противозудное, обезболивающее и противораздражающее средство. С помощью синтетических модификаций (+)-камфоры возможно получение веществ с противовирусной активностью [1]. Так, ранее в лаборатории физиологически активных веществ Новосибирского института органической химии было обнаружено, что амиды на основе изо-борниламина проявляют высокую активность в отношении ортопоксвирусов [2].

Цель данной работы является синтез нитро- и хлор-замещенных бензамидов на основе изо-борниламина. Для достижения цели были поставлены задачи: (1) синтез изо-борниламина ((1R,2R,4R)-1,7,7-триметилбисцикло[2.2.1]гептан-2-амин); (2) конденсация изо-борниламина с орто- и метанитробензойной кислотой; (3) конденсация изо-борниламина с орто- и метаклорбензойной кислотой.

Для синтеза изо-борниламина была выбрана коммерчески доступная (+)-камфора. (рисунок 1.) На первой стадии взаимодействие с гидроксиламином солянокислым привело к оксиму 1. Полученный оксим был очищен перекристаллизацией. На второй стадии

восстановление оксима **1** NaBH_4 привело к смеси состоящей из двух изомеров: изо-борниамина **2-exo**(основной продукт) и 2-endo. Нужный изомер был выделен колоночной хроматографией.

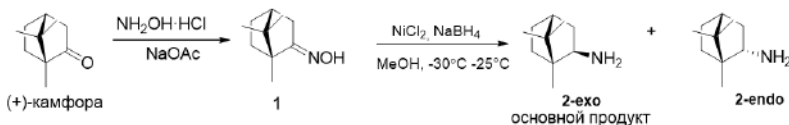


Рис.1 – Схема получения (1R,2R,4R)-1,7,7-триметилбicyclo[2.2.1]гептан-2-амин

Далее основной продукт **2-exo** используем для получения целевых веществ. Бензамид **3** был получен конденсацией амина **2-exo** с орто-хлорбензойной кислотой используя реагент сшивки ГБТУ (рисунок 2).

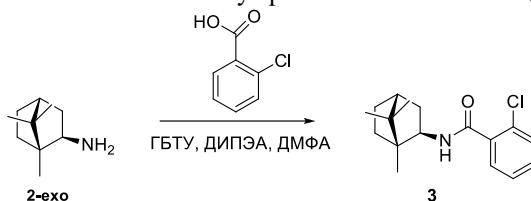


Рис. 2 – Синтез 2-хлор-N-((1R,2R,4R)-1,7,7-триметилбicyclo[2.2.1]гептан-2-ил)бензамида

Мета-замещенные бензамиды **3,4** были получены в аналогичных условиях (рисунок 3).

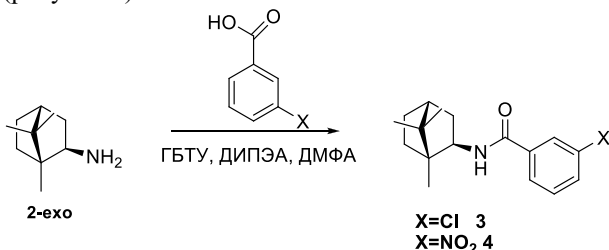


Рис. 3 – Синтез 3-хлор-N-((1R,2R,4R)-1,7,7-триметилбicyclo[2.2.1]гептан-2-ил)бензамида, 3-нитро-N-((1R,2R,4R)-1,7,7-триметилбicyclo[2.2.1]гептан-2-ил)бензамида

Взаимодействие орто-нитробензойной кислоты с амином **2-exo** в условиях описанных выше (ГБТУ, ДМФА, ДИПЭА) не привело к желаемому продукту. Поэтому рассмотрели другие условия синтеза. Исходную орто-нитробензойную кислоту превратили в соответствующий хлорангидрид и далее осуществили конденсацию с амином **2-exo**.

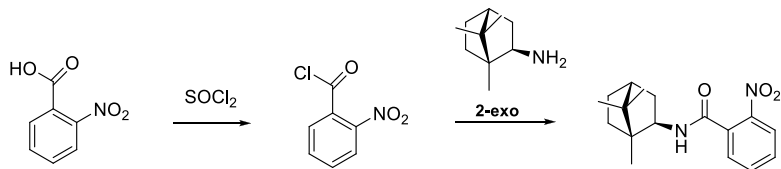


Рис.4 – Синтез 2-нитро-N-((1R,2R,4R)-1,7,7-триметилбидцикло[2.2.1]гептан-2-ил)бензамида

Таким образом, в ходе выполнения работы синтезирован изоборнилиамин и осуществлена конденсация с орто- и мета-замещенными карбоновыми кислотами с получением соответствующих бензамидов.

Литература:

1. O. I. Yarovaya, N. F., Salakhutdinov. Mono- and sesquiterpenes as a starting platform for the development of antiviral drugs.// Russ. Chem. Rev., 2021, 90 (4) 488 ± 510.

2. Sokolova, Anastasiya S.; Kovaleva, Kseniya S.; Kuranov, Sergey O. и др. Design, Synthesis, and Biological Evaluation of (+)-Camphor- and (-)-Fenchone-Based Derivatives as Potent Orthopoxvirus Inhibitors. // ChemMedChem, Том 17, № 12, e202100771, 20.06.2022, стр. e202100771

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ СРЕДНТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ И ИЗУЧЕНИЕ ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

И.Е. Сидоров¹, В.Г. Пономарёва²

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН

г. Новосибирск, ilsidev@mail.ru

Научный руководитель: Пономарёва В.Г., д.х.н., в.н.с.

Проведено сравнительное исследование электротранспортных и структурных свойств в системе $(1-x)CsH_2PO_4-x$ фторполимер (массовая доля $x = 0,05-0,2$). В качестве полимерной добавки изучен сополимер винилиденфторида с трифторхлорэтиленом. Показано, что фторполимеры являются химически инертной и термостабильной матрицей для CsH_2PO_4 . В этих полимерных системах протонная проводимость в высокотемпературной области (220-250°C) высока, но ниже по сравнению с CsH_2PO_4 из-за эффекта перколяции проводник-изолятор. Однако улучшение механических и гидрофобных свойств делает композиты более перспективными по сравнению с чистой солью CsH_2PO_4 .

A comparative study of electric transport and structural properties in the system $(1 - x)\text{CsH}_2\text{PO}_4 - x$ fluoropolymer (mass fraction $x = 0.05-0.2$) was carried out. A copolymer of vinylidene fluoride with trifluorochloroethylene was studied as a polymer additive. It is shown that fluoropolymers are a chemically inert and thermally stable matrix for CsH_2PO_4 . In these polymer systems, the proton conductivity in the high-temperature region (220-250°C) is high, but lower compared to CsH_2PO_4 due to the effect of conductor-insulator percolation. However, the improvement of mechanical and hydrophobic properties makes composites more promising compared to pure salt CsH_2PO_4 .

Исследования протонпроводящих материалов связано с возможностью их использования в электрохимических устройствах в интервале рабочих температур 200-300°C. Целью научно-исследовательской работы является получение и изучение суперионных проводников на основе группы кислых солей щелочных металлов $\text{MnHm}(\text{AO}_4)_p$: M = Cs, Rb, K, NH₄; A = S, Se, P, As. Группа этих солей существуют в суперионных фазах с динамически неупорядоченной сетью водородных связей, что обеспечивает им высокую протонную проводимость. Дигидрофосфат цезия проявляет самую высокую протонную проводимость среди солей этого семейства, что позволяет использовать это соединение в качестве протоннообменной мембраны в топливных элементах (ТЭ) средней температуры. Твёрдокислотные ТЭ на основе CsH_2PO_4 показали высокие значения удельной мощности в интервале 230 - 270°C. Работа в интервале средних температур позволяет использовать неочищенное топливо и избежать применения сложного и дорогостоящего оборудования.

В работе исследуется композитная система на основе полимера и дигидрофосфата цезия. Добавляя полимер, мы ожидаем получить: тонкие мембраны для уменьшения омического сопротивления, гидрофобных свойств, улучшения их механических характеристик, а также стабильности.

Полимер должен обладать высокой термической и химической стабильностью в рабочем интервале рабочих температур CsH_2PO_4 , поэтому в качестве полимерной матрицы использован полимер SKF-32 - фторполимер (сополимер винилиденфторида с трифторхлорэтиленом) с высокой термической стабильностью и химической инертностью. Благодаря высокому содержанию атомов фтора он обладает гидрофобными свойствами, устойчив во многих агрессивных средах при длительном нагревании при высоких температурах, а также негорюч. Данный полимер используется в композитной системе впервые.

Ранее проводились исследования аналогичных композитных полимерных систем на основе CsH_2PO_4 и сополимера винилиденфторида с гексафторпропиленом (SKF-26)[1].

Для получения протонного проводника были взяты: CsH_2PO_4 , имеющий суперионную проводимость, и полимер СКФ-32, как матрица. Анализ физико-химических свойств проводился следующими методами: дифференциальная сканирующая калориметрия, импедансная и ИК спектроскопия, рентгенофазовый анализ.

Синтез

1). Требуемые количества компонентов подвергли перемешиванию, а затем горячему прессованию при $T=150^\circ\text{C}$ до получения твёрдых плотных образцов.

2). Проведено сравнительное исследование электротранспортных и механических свойств в системе $(1-x)\text{CsH}_2\text{PO}_4$ - x ФП, где x - фторполимер (массовая доля $x = 0.05; 0.1; 0.15; 0.2$). В качестве полимерной добавки изучен SKF-32.

3). Образцы нагревали при $T = 240^\circ\text{C}$ при парциальном давлении водяного пара $\sim 0,3$ атм для формирования композитных систем.

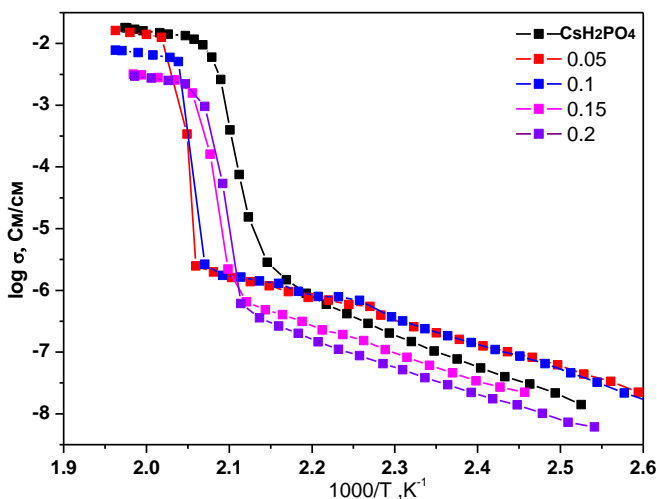


Рис. 1- График проводимости композитного материала

В этой системе протонная проводимость в высокотемпературной области высока, но снижается с ростом доли добавки и становится ниже по сравнению с солью, в результате эффекта перколяции проводник - изолятор. Полимер не оказывал существенного влияния на кристаллическую структуру и термодинамические свойства CsH_2PO_4 , но

наблюдается диспергирование соли. Согласно рентгенофазовому анализу, фаза CsH_2PO_4 ($P2_1/m$) присутствовала в полимерных композициях различного состава

Исходя из данных РФА, происходит непропорциональное изменение рефлексов в зависимости от массовой доли полимера, что может говорить о поверхностном взаимодействии компонентов. Положение рефлексов не изменилось, а лишь их величина, что означает отсутствие химического взаимодействия (только физические - адгезионные и водородные связи).

Результаты исследования показали, что полученный композитный материал может быть использован в электрохимических устройствах.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

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

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

г. Новосибирск, yu.sinelnikova.2014@stud.nstu.ru

Данная работа посвящена получению мезопористых углеродных материалов (МУМ), как перспективных материалов для применения в суперконденсаторах. МУМ получали темплатным методом с использованием цитрата магния в качестве прекурсора темплатного агента. Адсорбционные исследования методом БЭТ и электрохимические исследования методом циклической вольтамперометрии показали, что полученные материалы обладают характеристиками, удовлетворяющими электродным материалам в суперконденсаторах.

This work is devoted to the production of mesoporous carbon materials (MCM) as promising materials for use in supercapacitors. MCM were prepared by the template method using magnesium citrate as a template agent precursor. Adsorption studies using the BET method and electrochemical studies using cyclic voltammetry showed that the resulting materials have characteristics that satisfy electrode materials in supercapacitors.

С каждым годом в мире возрастает спрос на использование энергии. Ископаемые источники со временем иссякают, а возобновляемые источники энергии являются нестабильными. В связи с этим перспективным являются устройства для накопления и хранения энергии. Среди таких устройств наиболее значимыми являются суперконденсаторы. Они обладают высокой плотностью мощности,

длительным сроком службы, быстрой перезарядкой и достаточно широким диапазоном рабочих температур. Еще в середине 20 века стало известно, что пористый углеродный материал в суперконденсаторах может накапливать заряд. Накапливание заряда происходит за счет образования двойного электрического слоя на границе электрод/электролит. Поэтому важным является разработка и получение высокопористых углеродных материалов, которые бы могли работать в водных электролитах, поскольку органические электролиты являются экологически небезопасными, дорогими и имеют низкую электропроводность по сравнению с водными электролитами [1]. Одной из главных характеристик углеродного материала является его пористость. Для использования углеродных материалов в различных устройствах предпочтительными являются мезопористые соединения, так как в таких материалах отсутствуют диффузионные ограничения для миграции больших молекул по порам, они обладают большой поверхностью, высокой термической стабильностью, низкой плотностью, регулируемой пористостью и хорошей электропроводностью [2].

Среди перспективных и простых методов синтеза пористых углеродных материалов выделяют темплатный метод получения, который может быть как с использованием мягкий темплатных агентов, так и с использованием твердых темплатов. Мягкий темплатный синтез по сравнению с твердым (жестким) является более дорогим в связи с использованием мицеллообразующих поверхностно-активных веществ в качестве темплата, а также он требует дополнительной работы по подбору удовлетворяющего органического прекурсора [3]. Ввиду этого в нашей работе был использован темплатный метод синтеза с использованием твердого темплатного агента как метод получения высокопористых углеродных материалов.

Работа заключалась в синтезе пористых углеродных материалов из фенолформальдегидной смолы темплатным методом, где твердый темплатный агент образовывался *in-situ* в полимерной матрице. В качестве прекурсора темплатного агента использовался цитрат магния, методика получения и исследование которого представлены ранее [4]. Углерод, полученный таким методом, имеет высокую удельную поверхность порядка 200 м²/г, а удельная ёмкость в водном растворе 1М серной кислоты превышает 200 Ф/г. На данный момент эти характеристики уже дают возможность говорить о использовании полученного углеродного материала в суперконденсаторах.

Работа выполнена в рамках Тематического плана № ТП-ХХТ-1_23.

Литература:

1. Hybrid materials for supercapacitor application / A. Malak, K. Fic, G. Lota, C. Vix-Guterl, E. Frackowiak // Journal of Solid State Electrochemistry. – 2009. – Vol. 14, N 5. – P. 811–816.
2. Xin W., Song Y. Mesoporous carbons: Recent advances in synthesis and typical applications // RSC Adv. – 2015. - Vol. 5. – P. 239–285.
3. Chauhan S. Synthesis of ordered mesoporous carbon by soft template method // Mater Today Proc. Elsevier, 2023. –Vol. 81.– P. 842–847.
4. Sinelnikova Y. E., Uvarov N.F. Synthesis of nanocrystalline magnesium oxide by thermolysis of magnesium citrate // Mendeleev Communications. - 2022. – Vol. 32, iss. 5. – P. 697–699.

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА В ГАЗОВЫХ СЕНСОРАХ ДИОКСИДА АЗОТА

А.Р. Смагулова, А.Г. Баннов

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, arina_smagulova@bk.ru

Научный руководитель: Баннов А.Г., д.х.н., профессор

В данной работе проведено исследование газовых сенсоров диоксида азота, где в качестве слоя, обеспечивающего формирование аналитического сигнала, использовался нановолокнистый углерод.

In this work, a study of gas sensors where nanofibrous carbon was used as a layer providing analytical signal generation for nitrogen dioxide detection was carried out.

Загрязнение воздуха является одной из глобальных проблем крупных городов индустриального типа. Диоксид азота относится к одним из самых распространенных видов выбросов в атмосферу, имеющих антропогенное происхождение. Даже небольшая концентрация этого газа вызывает отек легких, который зачастую приводит к летальному исходу, а также оказывает разрушительное воздействие на леса, водные экосистемы и почву. Согласно официальным данным Всемирной организации здравоохранения всего в год от загрязнения атмосферы токсичными веществами и канцерогенами умирают около семи миллионов человек.

В данной работе рассматривается одно из решений вышеуказанной экологической проблемы. Для контроля окружающей среды используются газовые сенсоры, которые определяют наличие или концентрацию газов в атмосфере. Изменяя сопротивление материала

внутри датчика в зависимости от концентрации газа, датчик формирует соответствующую разность потенциалов, которую можно рассчитать как выходное напряжение [1]. Были проведены исследования газовых сенсоров на базе углеродных нановолокон.

В качестве активного материала хеморезистивных газовых сенсоров использовались углеродные нановолокна (далее НВУ-1), нанесенные на подложку методом drop casting. Сенсоры были протестированы в динамическом режиме. Сопротивление активного слоя сенсора определяли двухточечным методом. Аналит – диоксид азота. Была установлена зависимость изменения свойств сенсоров с разной навеской НВУ-1 при подаче диоксида азота в диапазоне от 1 до 25 ppm с различными показателями влажности при комнатной температуре. Увеличение влажности приводило к увеличению концентрации носителей заряда, вызванному отдачей протонов (H^+ или H^3O^+) из воды в воздухе. Рост относительной влажности повышал концентрацию протонов и вызвал улучшение сенсорных характеристик [2].

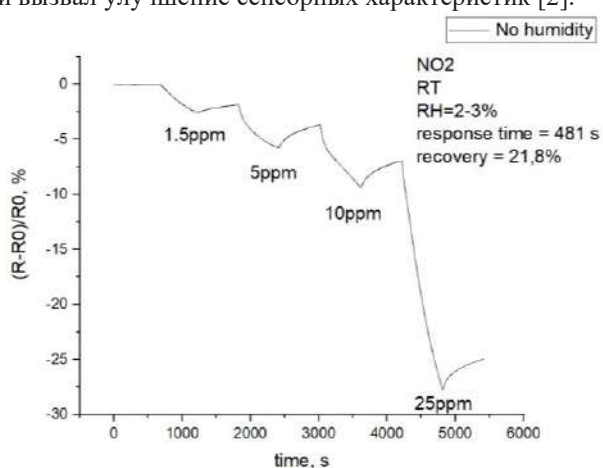


Рис.1 – данные тестирования сенсора NO_2 на базе УНВ при 2-3% относительной влажности воздуха ($25 \pm 1^\circ C$)

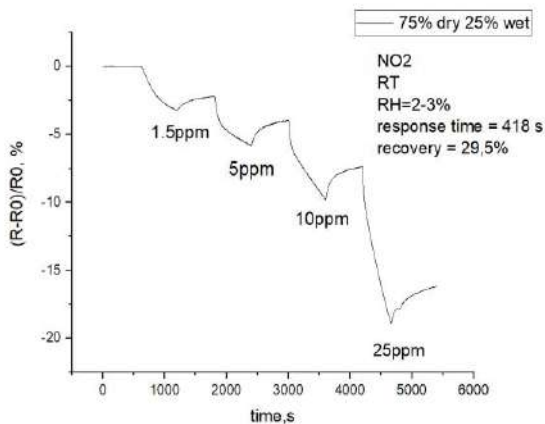


Рис.2 – данные тестирования сенсора NO₂ на базе УНВ при 25% относительной влажности воздуха (25±1°C)

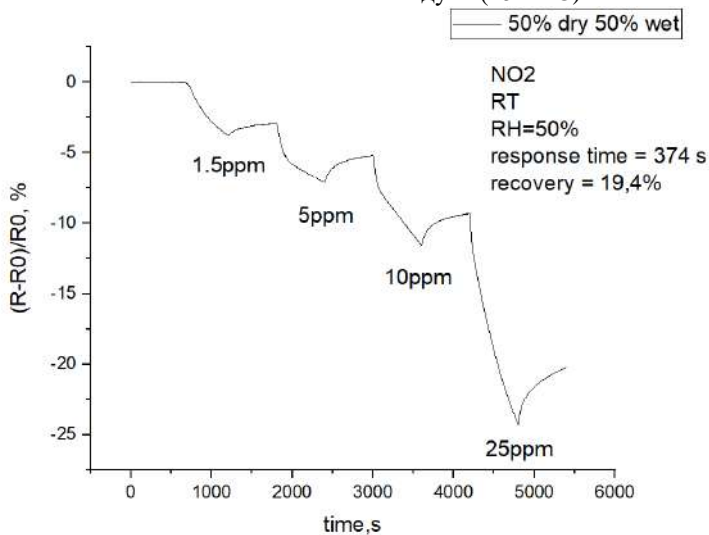


Рис.3 – данные тестирования сенсора NO₂ на базе УНВ при 50% относительной влажности воздуха (25±1°C)

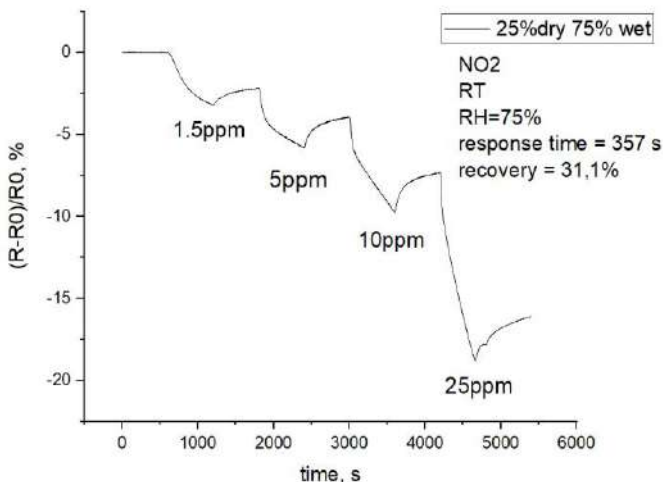


Рис.4 – данные тестирования сенсора NO₂ на базе УНВ при 75% относительной влажности воздуха (25±1°C)

В результате исследований определено, что изменение относительной влажности оказывает незначительное воздействие на полученный сенсор. С увеличением относительной влажности отклик сенсоров снижался, однако экспериментальные данные не имели большого расхождения, что доказывает эффективность использования НВУ в газовой сенсорике.

Работа выполнена в рамках Тематического плана № ТП-ХХТ-1_23.

Литература:

1. Ali Salehabadi, Morteza Enhessari, Banshi Dhar Gupta Metal Chalcogenide Biosensors // Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, 2023.
2. Bannov A.G. et al. Carbon Nanofibers Synthesized at Different Pressures for Detection of NO₂ at Room Temperature // Journal: Chemosensors, 2023.
3. Демьянцева, Е. А. Механизм образования и негативное влияние выбросов, содержащих оксиды азота / Е. А. Демьянцева, Е. А. Шваб, Е. О. Реховская. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 2(136)—С.231-234.

ВЛИЯНИЕ НАНОАЛМАЗНОЙ ДОБАВКИ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЁРДЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ СОЛЕЙ ЗАМЕЩЕННОГО АММОНИЯ

И.А. Стебницкий^{1,2}, Ю.Г. Матейшина^{1,2}

**¹Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет**

**²Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск, i.stebnitskii@g.nsu.ru**

Научный руководитель: Матейшина Ю.Г., к.х.н.

В ходе работы впервые синтезированы композиционные твёрдые электролиты $(1-x)(n-C_4H_9)_{4-y}(CH_3)_yNBF_4 - xC_{\text{наноалмазы}}$ ($0 \leq y \leq 2$, $0 \leq x < 1$) и изучены их свойства комплексом методов: импедансной спектроскопией, дифференциальной сканирующей калориметрией, рентгенофазовым анализом.

In this work composite solid electrolytes $(1-x)(n-C_4H_9)_{4-y}(CH_3)_yNBF_4 - xC_{\text{nanodiamonds}}$ ($0 \leq y \leq 2$, $0 \leq x < 1$) were synthesized for the first time and studied by a set of methods: impedance spectroscopy, differential scanning calorimetry, X-ray phase analysis.

В настоящее время для развития альтернативной энергетики уделяется особое внимание мобильным накопителям энергии, таким как аккумуляторы и суперконденсаторы. Для создания более совершенных и более безопасных аккумуляторов и суперконденсаторов можно перейти к использованию твёрдых электролитов вместо традиционных жидких. Однако ионный транспорт в твёрдых телах затруднителен по сравнению с жидкостями, поэтому создание новых твёрдых электролитов с высокой ионной проводимостью и изучение различных способов улучшения их транспортных свойств являются важной задачей.

Соли замещенного аммония – перспективный класс твёрдых электролитов благодаря высокой электрохимической и термической стабильности, пластичности и относительно высокой ионной проводимостью, однако недостаточной для практического использования. Транспортные свойства подобных солей можно улучшить путём гетерогенного допирования наноразмерными инертными добавками, как было показано ранее: например, для композита $0,1(n-C_4H_9)_4NBF_4-0,9MgO$ удалость достичь значения удельной электропроводности $\sigma=1,1 \cdot 10^{-3}$ См/см при 150 °С, что на три порядка выше, чем у исходной соли [1]. Схожего эффекта можно добиться при использовании наноалмазов в качестве добавки, однако

остаются неясными закономерности изменения свойств композитов на основе наноалмазов и органических солей.

В данной работе изучалось влияние добавки наноалмазов на термические, структурные и транспортные свойства твёрдых композиционных электролитов на основе солей $(n-C_4H_9)_{4-y}(CH_3)_yNBF_4$ ($0 \leq y \leq 2$). Результаты исследований обсуждаются в докладе.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 20-13-00302.

Литература:

1. Uvarov Mateyshina Y, Stebnitskii I, Shitsov D, Ilyina E, Ulihin A, Bukhtiyarov A, Uvarov N. Hybrid Nanocomposite Solid Electrolytes $(n-C_4H_9)_4NBF_4-MgO$ // International Journal of Molecular Sciences. - 2023. - Vol. 24. - Issue 13, № 10949.

ТЕРМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ АДИПИНАТОВ ВИСМУТА

Т.Е. Тимакова^{1,2}, В.А. Санарова¹, Л.И. Афонина^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

г. Новосибирск, tatanatimakova32@gmail.com

Научный руководитель: Афонина Л.И. к. х. н., доцент

В данной работе исследован процесс термического разложения основного адипината висмута, полученного осаждением из хлорнокислых растворов. Методом термического анализа установлена стадийность реакции, идентифицированы промежуточные и конечные продукты. Показано, что процесс окислительного термоллиза $(BiO)_2C_6H_8O_4$ протекает за одну стадию в интервале температур 250–350°C, сопровождается значительным экзотермическим эффектом с максимумом при 320°C, конечным продуктом разложения является $\alpha-Bi_2O_3$. Все полученные продукты охарактеризованы методом РФА, определены условия их образования. Предложен возможный механизм термического разложения основного адипината висмута на воздухе.

In this work the process of thermal decomposition of basic bismuth adipinate obtained by precipitation from chloric acid solutions is investigated. By the method of thermal analysis the reaction stages were established, intermediate and final products were identified. It has been shown that the process of oxidative thermolysis of $(BiO)_2C_6H_8O_4$ occurs in one stage in the temperature range 250–350°C, is accompanied by a significant exothermic effect with a maximum at 320°C, the final decomposition product is $\alpha-Bi_2O_3$. All the obtained products were characterised by XRD, and the conditions of their formation were determined. A possible mechanism of thermal decomposition of basic bismuth adipinate in air was proposed.

В процессах термического разложения соединений висмута, проводимых как в инертной, так и в окислительной атмосфере, наблюдается образование мелкокристаллических порошков металла, оксидов и смешанных оксидных материалов, которые находят широкое применение в качестве газовых сенсоров, твердооксидных топливных элементов, оптических покрытий, в производстве керамических стекол [1].

Исследование процессов термического разложения соединений висмута с органическими лигандами представляет определенный интерес, поскольку в большинстве случаев при их проведении наблюдается образование метастабильной модификации тетрагонального β - Bi_2O_3 , которая обладает повышенной фотокаталитической активностью по сравнению с α - Bi_2O_3 . На сегодняшний день разработки доступных способов получения β - Bi_2O_3 в виде индивидуального соединения особенно актуальны [2-3].

Образец основного адипината висмута состава $(\text{BiO})_2\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_4$ для термогравиметрических исследований получен в процессе осаждения из висмутосодержащих хлорнокислых растворов добавлением к ним раствора адипината натрия при $T = 70^\circ\text{C}$. Состав продукта подтвержден методами РФА, химического анализа, ИК спектроскопии [4].

Результаты термического анализа образца $(\text{BiO})_2\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_4$ представлены на рисунке 1. Исследование проводили в режиме линейного нагрева до температуры 500°C в атмосфере Ar (80 %)/ O_2 (20 %). Данные ДСК и ТГ анализов свидетельствуют о протекании ряда последовательных экзотермических стадий. Ступеням на кривой ТГ соответствуют экзотермические эффекты на кривой ДСК с максимумами пиков, указанными на температурной шкале.

По данным термического анализа процесс окислительного термоллиза $(\text{BiO})_2\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_4$ протекает за одну стадию в интервале температур $250 - 350^\circ\text{C}$ и сопровождается значительным экзоэффектом с максимумом при 320°C , соответствующим разложению органической составляющей. По данным масс-спектрометрии в газовой фазе регистрируется наличие углекислого газа ($m/z = 44$) и воды ($m/z = 18$).

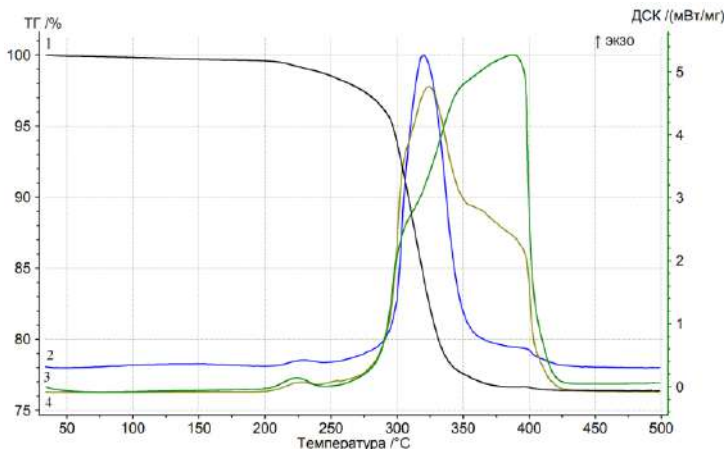
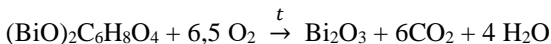


Рис. 1 – Кривые термогравиметрии (1), дифференциально-сканирующей калориметрии (2) основного адипината висмута $(\text{BiO})_2\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_4$ и масс-спектры выделяющихся газов: H_2O (3) и CO_2 (4)

По данным РФА конечный продукт разложения, полученный после прокаливания при 450°C , представляет собой $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$. Общая потеря массы, соответствующая разложению основного адипината висмута до оксида, рассчитанная по ТГ кривой, составляет 22,3 % и хорошо согласуется с потерей массы (теор. 21,54 %), рассчитанной по уравнению:



Кроме того, на кривой ДСК в области 400°C наблюдается небольшой экзоэффект, который не сопровождается потерей массы и может быть связан с полиморфным превращением тетрагональной модификации $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ в моноклинную модификацию $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$.

Для подбора оптимальных параметров термоллиза оксоадипината висмута с целью определения областей существования α - и β -модификаций оксидов висмута проведено исследование продуктов реакции термического разложения $(\text{BiO})_2\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_4$ на воздухе при различных температурах. При достижении необходимой температуры образцы выдерживали в заданных условиях не менее 3 ч. Фазовые составы продуктов оценивали на основании данных РФА с помощью базы данных ICDD PDF-4 (2011 г.). Результаты представлены на рисунке 2.

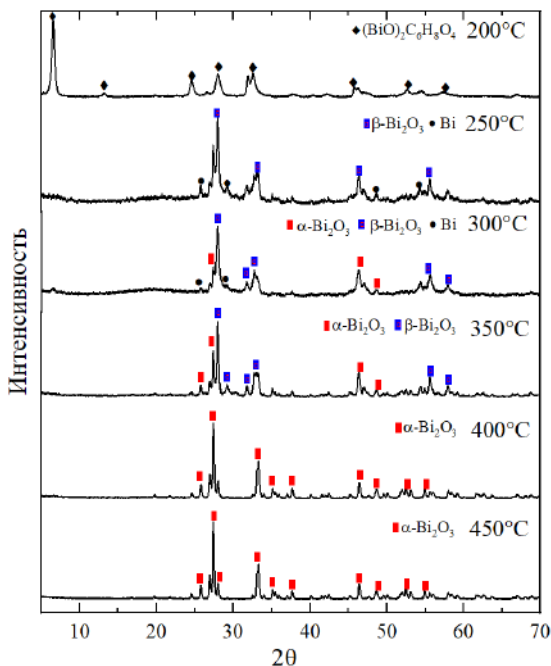


Рис. 2 – Рентгенограммы оксоадипината висмута(III) и продуктов его термоллиза на воздухе

Показано, что выдерживание образцов оксоадипината висмута при температуре 200°C не приводит к их заметному разложению, рентгенограмма соответствует, полученной для продукта осаждения из хлорнокислых растворов и высушенного при комнатной температуре. При температуре 250°C начинается окислительный термоллиз образцов, в продуктах регистрируется до 65 % $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$, 15-20 % $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$ и 10-15 % металлического висмута. Образование металла, вероятно, связано с большим количеством пиролизического углерода, который образуется в результате неполного сгорания достаточно длинного углеродного скелета аниона и обеспечивает частично восстановительный характер пиролизных газов. Выдерживание образцов при 300°C приводит к увеличению содержания в продукте фазы $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ (> 90%), суммарное содержание фаз $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$ и $\text{Bi}_{\text{мет.}}$ не превышает 10 %. Процесс окислительного термоллиза практически заканчивается при 350°C . При данной температуре продукт представляет собой смесь равных количеств оксидов висмута тетрагональной и моноклинной модификаций с небольшой примесью металлического висмута (~ 5%). Последующее увеличение температуры отжига до 400°C приводит к

резкому уменьшению рефлексов как β - Bi_2O_3 так и металлического висмута, рефлексы α - Bi_2O_3 наоборот увеличиваются. Поскольку по данным ТГ кривой изменения массы после 400°C не происходит (см. рисунок 1), можно сделать вывод, что небольшой экзотермический эффект, наблюдаемый в этой области, соответствует фазовому переходу β - $\text{Bi}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha$ - Bi_2O_3 . При температуре 450°C по данным РФА имеем монофазный продукт с рефлексами α - Bi_2O_3 .

Таким образом, наблюдается некоторый интервал температур (250 - 300°C), при котором существует только β - Bi_2O_3 . Для подбора оптимальных параметров термолиза оксоадипината висмута следует в дальнейшем более детально исследовать процесс образования β - Bi_2O_3 при температуре 300°C в зависимости от времени прокаливания в интервале от 1,5 до 12 ч., сохранив скорость нагрева $2^\circ/\text{мин}$.

Работа выполнена в рамках Тематического плана № ТП-ХХТ-1_23.

Литература:

1. Recent advances in bismuth-based multimetal oxide photocatalysts for hydrogen production from water splitting: Competitiveness, challenges, and future perspectives / Z. Zhu, S. Wan, Y. Zhao, Y. Gu, Y. Wang et al. // *Materials Reports: Energy*. – 2021. – № 9. – P. 9973–10011. doi: 10.1016/j.matre.2021.100019.
2. Thermal transformations of bismuth (III) tartrates / L.I. Afonina, T.E. Timakova, E.V. Timakova, K.B. Gerasimov, Yu.M. Yukhin // *Chimica Techno Acta*. – 2022. – Vol. 9 (3) – No. 20229315. doi: 10.15826/chimtech.2022.9.3.15.
3. Phase-controlled synthesis of bismuth oxide polymorphs for photocatalytic applications. / T. Selvamani, S. Anandan, L. Granone, D. W. Bahnemann, M. Ashokkumar // *Mater. Chem. Front.* – 2018. – № 2. – P. 1664-1673. doi: 10.1039/C8QM00221E.
4. Санарова В. А., Афонина Л.И. Осаждение адипинатов висмута из хлорнокислых растворов // *Наука. Технологии. Инновации: материалы всерос. науч. конф. молодых ученых: в 11 ч.* – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2022. – Ч. 3. – С. 61–64.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЛЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ FC-10 И КС-34

А.И. Швабауэр, А.Е. Брестер

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, shvabauer.2021@stud.nstu.ru

Научный руководитель: Жуков В.И., к.т.н., доцент

В работе представлены экспериментальные данные по определению гидравлического сопротивления двух фильтрующих материалов FC-10 и КС-34. Определили влияние скорости воздушного потока на гидравлическое сопротивление фильтрующих материалов. Показано, что гидравлическое сопротивление для КС-34 в 10 раз выше, чем для FC-10.

The paper presents experimental data on determination of hydraulic resistance of two filtering materials FC-10 and KS-34. The influence of air flow velocity on the hydraulic resistance of filtering materials was determined. It is shown that the hydraulic resistance for KS-34 is 10 times higher than for FC-10.

В настоящее время в разных областях химической промышленности используются сорбционные фильтры для очистки выбросов от опасных веществ. Самыми распространёнными сорбционными фильтрами являются фильтры на основе углеродных материалов. Это обусловлено относительно не высокой стоимостью сырья, универсальностью, низким расходом в процессе, возможностью многократной регенерации [1-2]. На сегодняшний день в литературе почти не встречается характеристика гидравлического сопротивления для различных фильтрующих материалов. Полученные данные потерь давления необходимы при проектировании промышленных систем газоочистки и подборе промышленных вентиляторов.

Цель данной работы – определить изменение гидравлического сопротивления от скорости воздушного потока для фильтрующих материалов FC-10 и КС-34.

Эксперименты проводились на установке, состоящей из прямоугольного фильтра (сечение фильтрующей камеры 170×170 мм), анемометра Testo 405i, воздуходувки Hitachi RB40SA (см. Таблица 1) и u-образного манометра. Одна часть U-образного манометра с помощью силиконового шланга соединялась с трубопроводом на входе в фильтр, другая часть – с трубопроводом на выходе из фильтра.

В качестве фильтрующих материалов использовали:

- 1) Угольный фильтрационный материал FC-10;
- 2) Ткань полипропиленовая КС-34.

Таблица 1 – Технические характеристики Hitachi RB40SA

Наименование	Значение
Напряжение	220 В
Потребляемая мощность	550 Вт
Скорость вращения без нагрузки	16000 мин ⁻¹
Давление воздуха	5,5 кПа
Подача воздуха	3,5 м ³ /мин
Вес	1,7 кг

Технические характеристики используемых фильтрующих материалов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики фильтрующих материалов

Название	Угольный фильтрационный материал FC-10	Ткань полипропиленовая KC-34
Удельный вес	200±10 г/м ²	435±22 г/м ²
Содержание активированного угля широкого спектра действия	≥50 г/м ²	-
Удельная воздушная нагрузка	800 м ³ /м ² ч	40 дм ³ /м ² с (при давлении 49 Па)
Толщина материала	10±2 мм	1,7 мм
Температура эксплуатации	70°С	70°С

В результате опытов получали высоту перепада водного столба, создаваемого разницей давления до и после фильтра. Затем полученные высоты водного столба пересчитывали в Па по формуле:

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

где, ρ – плотность воды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; Δh – высота столба воды, м.

Из рисунка 1 видно, что при увеличении скорости воздушного потока гидравлическое сопротивление возрастает для обоих материалов. При скорости воздушного потока 0,3 м/с для фильтрующего материала KC-34 перепад давления в 10 раз выше, чем для фильтра FC-10. Перепад давления равен 1680 Па и 164 Па, соответственно.

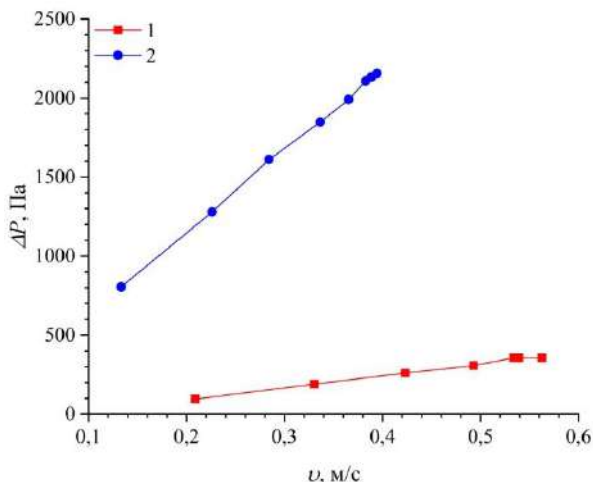


Рис.1 – Зависимость потерь давления от скорости воздушного потока для: 1) Угольный фильтрационный материал FC-10; 2) Ткань полипропиленовая КС-34

В результате проведённых экспериментов получили зависимость гидравлического сопротивления от скорости воздушного потока для различных фильтрующих материалов. Полученные данные могут использоваться для проектирования систем газоочистки.

Литература:

1. Маликов И.Н., Кураков Ю.И., Свиридова А.Н., Углеродные сорбенты в промышленности // Современные тенденции развития науки и технологий. – 201. № 6. – С. 74–78.
2. Николаева Л.А., Хуснутдинов А.Н. Исследование процесса адсорбции оксидов азота из дымовых газов котельной // «Теплоэнергетика». – 2018 – № 8. – С. 96–100.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСФТОРИРОВАНИЯ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ КИСЛЫХ ВОД

М.А. Шварцкопф

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, shvartskopf.mikhail@gmail.com**

В работе приводятся результаты анализа технологий обезфторирования кислых вод с целью выбора наиболее эффективной технологии.

The paper reports the results of the analysis of the technology for defluorination of acidic waters in order to select the most effective technology for defluoridation.

Очистка высококонцентрированных фторсодержащих кислых вод актуальна для таких областей, как производство печатных плат, производство защитных покрытий, производство фосфорной кислоты, производство безводного фтороводорода, производство минеральных фторсодержащих солей.

Целью данной работы являлось исследование доступных технологий обезфторирования воды. Существующие технологии очистки фторсодержащих вод можно проклассифицировать по используемому физико-химическому методу [1]:

1. Сорбционные методы,
 - 1.1. Адсорбция в колоннах с последующей регенерацией,
 - 1.2. Адсорбция в реакторе со стационарным слоем (PBR),
 - 1.3. Ионный обмен (IER),
2. Методы осаждения-кристаллизации,
 - 2.1. Коагуляция-флокуляция (CF),
 - 2.2. Электрокоагуляция и флотация (ECF),
 - 2.3. Кристаллизация в псевдооживленном слое (FBC),
3. Мембранные методы,
 - 3.1. Наночистка (NF),
 - 3.2. Обратный осмос (RO),
 - 3.3. Электродиализ (ED).

Ни один из методов очистки фторсодержащих вод не может обеспечить очистку в одну стадию до значений ПДК фтор-иона (1,5 мг/л). Адсорбция считается недорогой, простой методикой дефторирования, эффективность большинства сорбентов при более высоких концентрациях фтор-иона не доказана [2]. Осаждение является распространенным методом дефторирования прошлых десятилетий, позволяющим обрабатывать высококонцентрированные фторсодержащие воды [3]. Использование мембран является наиболее распространенным методом очистки за последнее десятилетие,

обеспечивающим высокую эффективность удаления большинства нежелательных компонентов воды. Мембранные технологии принципиально требуют высокого давления и высокого энергопотребления во время эксплуатации, что приводит к высокой стоимости.

При сравнении эксплуатационных затрат рассматриваемых методов можно отметить, что осаждение с последующей коагуляцией-флокуляцией является наиболее экономически выгодной технологией (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительная характеристика операционных затрат различных технологий обесфторивания

Технология обработки	Операционные затраты OpEx (руб/м ³)
Адсорбция (гранулированный активированный уголь)	393,8
Ионообмен (ионообменные смолы)	492,2
Коагуляция-флокуляция	19,4
Электрокоагуляция	21,2
Обратный осмос (мембраны)	33,3
Электродиализ	25,0

На основании сравнительного анализа методов обесфторивания можно выбрать оптимальную технологию для очистки стоков с высокой концентрацией фтор-иона (до 50 г/л). Для очистки фторсодержащих кислых вод с высокой концентрацией фтор-иона необходимо рассматривать гибридные технологии, включающие не менее двух этапов.

Первым этапом очистки является нейтрализация, так как только данный метод имеет высокую степень очистки при высоких концентрациях фтор-иона. В результате первого этапа очистки концентрация фтор-иона снижается до значений 10 – 20 мг/л, соответствующих пределу растворимости фторсодержащего осадка.

В качестве нейтрализующих веществ на первом этапе очистки кислых вод могут применяться следующие вещества [4]:

- сухой оксид кальция CaO;
- сухой гидроксид кальция Ca(OH)₂;
- 10%-ая суспензия гидроксида кальция Ca(OH)₂;

- сухой карбонат кальция CaCO_3 ;
- суспензия карбоната кальция CaCO_3 ;
- раствор хлорида кальция CaCl_2 ;
- суспензия гидроксида магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Наиболее распространенным технологическим решением для нейтрализации кислых фторсодержащих вод является использование 10%-ой суспензии гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, позволяющее автоматизировать процесс добавления реагента.

С целью ускорения седиментации образующегося осадка на первом этапе очистки модельной воды целесообразно применение флокулянта. В качестве флокулянта могут быть использованы высокомолекулярные соединения на основе полиакриламида.

На втором этапе очистки доступно множество методов в виду меньшей концентрации фтор-иона. Самыми распространенными методами среди них являются осаждение, однократная адсорбция, которые реализованы в промышленном масштабе, являются экономически эффективными технологиями и позволяют снизить концентрацию фтор-иона до значения ПДК (1,5 мг/л).

Наиболее перспективные технологии на втором этапе очистки [5]:

- Адсорбция и осаждение с применением сульфата алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$;
- Адсорбция на гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$;
- Адсорбция и осаждение с применением полиоксихлорида алюминия (ПОХА)
- Осаждение с применением двузамещенного фосфорнокислого натрия Na_2HPO_4 .

Полиоксихлорид алюминия показывает повышенную эффективность в очистке кислых вод от фтор-ионов по сравнению с другими алюмосодержащими соединениями и обладает флокулирующим, коагуляционным воздействием в сравнении с двузамещенным фосфорнокислым натрием.

Литература:

1. *C. F. Z. Lacson, M.-C. Lu, Y.-H. Huang.* Fluoride-containing water: A global perspective and a pursuit to sustainable water defluoridation management -An overview // *Journal of Cleaner Production.* – 2021. – V. 280. – P. 124236.
2. *W. Guan, X. Zhao.* Fluoride recovery using porous calcium silicate hydrates via spontaneous Ca^{2+} and OH^- release // *Separation and Purification Technology.* – 2016. – V. 165. – P. 71–77.

3. P. Rao, N. Suneetha, K. Rupa, V. Sabitha, K. Kumar, S. Mohanty, A. Kanagasabapathy. Defluoridation of water by a one step modification of the Nalgonda technique. // Ann. Trop. Med. Publ. Health. – 2008. – V. 1 – P. 56.
4. T. Ren, X. Gao, T. Zheng, P. Wang. Study on Treatment of acidic and highly concentrated fluoride waste water using calcium oxide-calcium chloride // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2006. – V. 39 – № 56. – P. 12003.
5. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т.2. – Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2003 – 884 с.

ИЗУЧЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ИНВЕРСИОННОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ КОНСТАНТ УСТОЙЧИВОСТИ КОМПЛЕКСОВ МЕЛАНИНОВ С ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Л.И. Юдина^{1,2}, А.Д. Кирьянов^{1,2}, Т.С. Скрипкина²

¹Новосибирский государственный университет

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

г. Новосибирск, l.yudina@g.nsu.ru, leha.kiryanov.00@mail.ru

В работе представлены данные по исследованию метода инверсионной вольтамперометрии для установления констант устойчивости комплексов тяжелых металлов (Zn^{2+} , Cd^{2+}) на примере растительного сырья при постоянном $pH=7,9$ и температуре $T = 25$ °C. Посчитана сорбционная возможность с помощью уравнения Ленгмюра и рассчитаны константы комплексообразования для представленных сорбентов.

The paper presents data on the study of the stripping voltammetry method for establishing the stability constants of heavy metal complexes (Zn^{2+} , Cd^{2+}) using the example of plant raw materials at a constant $pH=7.9$ and temperature $T= 25$ °C. The sorption capacity was calculated using the Langmuir equation and the complexation constants for the presented sorbents were calculated.

В ходе развития современной индустрии образовалось огромное количество чужеродных загрязнителей, такие как тяжелые металлы, которые на протяжении многих лет вызывали серьезный ущерб населению и природе. Было введено в эксплуатацию множество методик для очистки водоемов, но среди них метод сорбции оказался самым эффективным из-за его простоты и низкой себестоимости, особенно для тяжелых металлов [1].

Меланин, содержащийся в лузге гречихи признан экологически чистым и биосовместимым, поскольку он синтезируется многими

живыми организмами. Более того, тяжелые металлы, связанные с меланином, также могут высвободиться при растворении меланина в щелочной среде, без образования новых загрязняющих веществ [7].

Механохимия — раздел химии, изучающий химические и физико-химические изменения веществ всех агрегатных состояний под действием механической энергии. Предварительная обработка сырья, такого как шелуха гречихи, определенными реагентами, например твердофазными окислителями перед измельчением, способствует химической модификации меланина с прогнозируемыми свойствами.

Для характеристики механомодифицированной лузги гречихи используются различные методы, в том числе инверсионная вольтамперометрия. Данный метод позволяет рассчитать константы комплексообразования тяжелых металлов с меланинами благодаря определению их концентраций в растворе.

Экспериментальные полученные зависимости количества от его равновесной концентрации в растворе аппроксимируют и анализируют с помощью модели адсорбции Ленгмюра (рис. 1,2).

Таким образом, основная цель данной работы состояла в изучении эффективности каждого сорбента в комплексообразовании с тяжелыми металлами на примере с кадмием Cd (II) и цинком Zn (II) методом инверсионной вольтамперометрии.

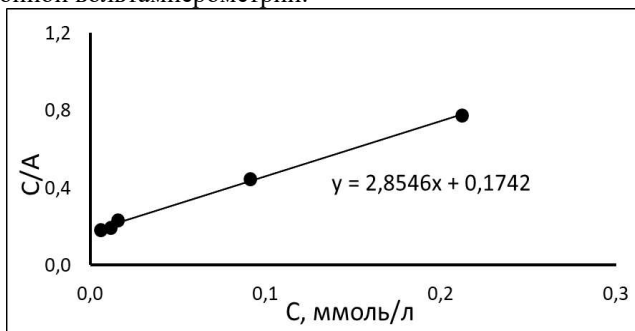


Рис. 1 – Изотерма Ленгмюра при $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ для лузги гречихи без добавки

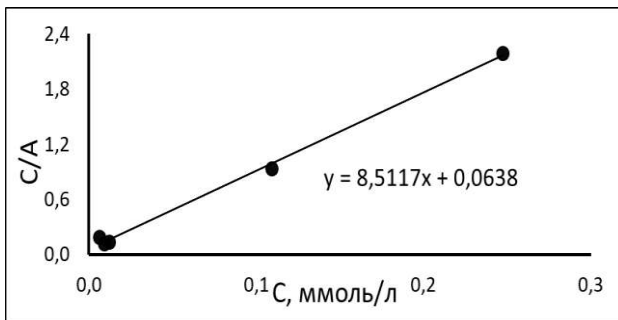


Рис. 2 – Изотерма Ленгмюра при $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ для лузги гречихи + перкарбонат натрия (40G)

Для расчета констант устойчивости необходимы три уравнения материального баланса:

$$C_M = [M] + [ML]$$

$$C_L = [L] + [ML],$$

где C_M и C_L аналитические концентрации металла и лиганда соответственно, $[M]$ – равновесная концентрация иона металла, $[L]$ – равновесная концентрация лигандов, которые не связаны с металлом, $[ML]$ – равновесная концентрация металл-лигандного комплекса. Выведем функцию Ледена:

$$\frac{C_M}{[M]} = 1 + \beta_1 [L],$$

где β_1 – степень комплексообразования.

Выведем уравнение для расчета константы комплексообразования:

$$K_{ML} = \frac{[ML]}{[M][L]}$$

Полученные в результате проведения эксперимента на вольтамперметре логарифмы констант устойчивые подтвердили предположение об устойчивости комплексов и позволили подобрать наиболее эффективные сорбенты.

Таким образом, данная работа позволила изучить применимость модели измерения констант устойчивости комплексов тяжелых металлов с меланинами методом инверсионной вольтамперметрии на примере кадмия и цинка и подтвердить дальнейшую применимость данных сорбентов для очистки окружающей среды.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-73-00192

Литература:

1. M. d'Ischia, Wakamatsu K., Napolitano A. Melanins and melanogenesis: methods, standards, protocols // Pigment Cell and Melanoma Research. V. 26, no. 5, 2013 – pp. 616 – 633.
2. Zhang F. Fossilized melanosomes and the colour of Cretaceous dinosaurs and birds // Nature. 2010. V. 463. – pp. 1075–1078.

СИНТЕЗ И АКТИВНОСТЬ КАТАЛИЗАТОРА Ni-Cu/CeO₂ В РЕАКЦИИ КИСЛОРОДНОЙ КОНВЕРСИИ МЕТАНА

Э.А. Юн, М.С. Боброва, Е.Ю. Либерман

**Российский химико-технологический университет им. Д. И.
Менделеева, г. Москва, eriliz.shilov@mail.ru**

Научный руководитель: Либерман Е.Ю., д.х.н., профессор

Синтезированы каталитические церийсодержащие композиции Ni-Cu/CeO₂ методом соосаждения ионов Ce⁺³, Ni⁺², Cu⁺² с применением в качестве осадителя щавелевой кислоты для процесса кислородной конверсии метана. Образцы охарактеризованы методами рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопии, низкотемпературной адсорбции азота, рентгенофлуоресцентного анализа и газовой хроматографии. Показано, что твердые растворы Ni-Cu/CeO₂ обладают высокой каталитической активностью в реакции окисления CH₄.

Catalytic cerium-containing compositions Ni-Cu/CeO₂ were synthesized by coprecipitation using oxalic acid as a precipitant for the CH₄ oxidation process. The samples were characterized by X-ray phase analysis (XRD), scanning electron microscopy (SEM), low-temperature nitrogen adsorption, X-ray fluorescence analysis (EDX), and gas chromatography. It has been shown that Ni-Cu/CeO₂ solid solutions have a high catalytic activity in the CH₄ oxidation reaction.

Обеспечение потребности в водороде является важной задачей химической технологии, поскольку он считается перспективным экологическим видом топлива. Водород является продуктом производства синтез-газа. Кислородная конверсия метана (ККМ) обладает, в отличие от применяемой в промышленности паровой конверсии, рядом преимуществ, к которым относятся экзотермичность и получаемое соотношение продуктов реакции H₂ и CO равное 2, что благоприятно для осуществления синтеза Фишера-Тропша и метанола. ККМ – каталитический процесс, в качестве катализаторов применяются Ni, Co и платиноиды, нанесенные на различные оксидные носители. Применение систем, содержащих благородные металлы, приводят к

удорожанию технологического процесса. Никелевые катализаторы существенно дешевле и не уступают по каталитической активности, однако их существенным недостатком является сажеобразование, приводящее к блокировке активных поверхностных центров и, как следствие, снижению каталитической активности [1]. Применение диоксида церия или твердых растворов на его основе позволяет не только снизить процесс сажеобразования, но и повысить каталитическую активность.

Целью данной работы являлся синтез каталитической биметаллической композиции Ni-Cu/CeO₂ и исследование его активности в реакции кислородной конверсии метана.

Синтез биметаллического катализатора проводили методом соосаждения ионов Ce⁺³, Ni⁺², Cu⁺². Носитель – диоксид церия получали путем осаждения оксалата церия из водного раствора нитрата церия Ce(NO₃)₃ (0,5 моль/л) с его последующим термолизом в окислительной атмосфере. В качестве осадителя применяли водный раствор щавелевой кислоты (1 моль/л). Полученную суспензию фильтровали под вакуумом. Осадок сушили при 80°C в течение 6 часов, затем прокаливали при температуре 550°C в течение 2 часов. Носитель пропитывали насыщенным раствором ацетилацетоната меди Cu(OAc)₂, сушили при температуре 80°C в течение 10 часов и прокаливали при температуре 550°C в течение 2 часов (скорость подъема температуры составляла 5°C/мин). После чего проводили пропитку носителя раствором нитрата никеля Ni(NO₃)₂ (1 моль/л), сушили при 80°C в течение 6 часов, затем прокаливали при температуре 550°C в течение 2 часов.

Для определения элементного состава образцов применяли метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФЛА) с помощью энергодисперсионного рентгеновского анализатора INCA ENERGY+ («Oxford Instruments», Великобритания) в Центре коллективного пользования Д.И. Менделеева. Исследования фазового состава проводили методом рентгенофазового анализа на порошковом дифрактометре D2 Phaser с использованием медного излучения ($\lambda = 0,15418$ нм). Морфологию поверхности синтезированных образцов исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на микроскопе JSM-6510 LV («JEOL», Япония) в центре коллективного пользования имени Д.И. Менделеева. Текстуальные характеристики образцов исследовали методом низкотемпературной адсорбции азота на приборе NOVA 1200e («Quantachrome» США).

Каталитическую активность образцов в реакции окисления CH₄ исследовали проточным методом. В U-образный кварцевый реактор помещали 0,3 г катализатора и кварц. Через реактор пропускали

модельную смесь: CH_4 – 3 об. %; O_2 – 1 об. %; N_2 – баланс (ОАО “Линде Газ Рус”). Эксперименты проводили при скорости газовой смеси 60 мл/мин в интервале температур от 20 до 700°C. Концентрацию компонентов смеси (O_2 , N_2 , CH_4 , CO) определяли на газовом хроматографе CHROM-5 (Чехия). Для оценки активности катализаторов применяли температуры 50%-ной и 90%-ной конверсии CH_4 .

По результатам проведенного элементного анализа, содержание нанесенных компонентов составляет: Ni – 18%, Cu – 3%, в пересчете на металл. С помощью проведенных исследований методом рентгеновской дифракции установлено наличие двух фаз: диоксида церия ($a = 5.422 \text{ \AA}$) и металлического никеля ($a = 3.526 \text{ \AA}$). Размер кристаллитов фазы диоксида церия составляет 17 нм, никеля – 18 нм. При этом не обнаружено фазы медьсодержащих соединений, что может быть обусловлено как ограниченностью применяемого метода, так и возможным образованием поверхностных твердых растворов $\text{Cu}_x\text{Ce}_{1-x}\text{O}_{2-\delta}$ на основе кубической решетки диоксида церия. Частицы образца, по данным СЭМ, имеют ярко-выраженную пластинчатую форму (Рисунок 1). Размер частиц составляет 3-5 мкм. На поверхности частиц визуализируются частицы нанесенного компонента.

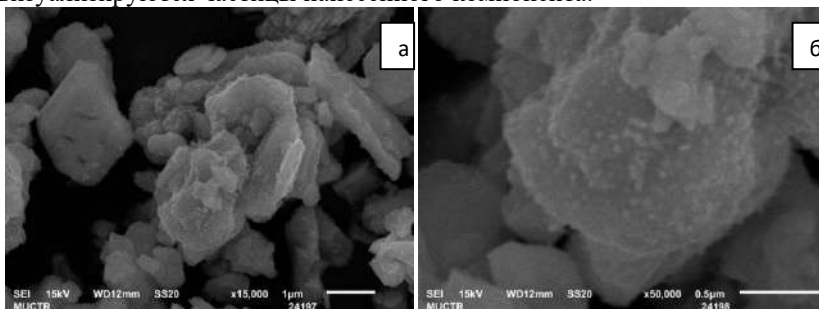


Рис. 1 – Микроснимки СЭМ образца Ni-Cu/CeO₂; а – на увеличении x15,000, б – на увеличении x50,000

Синтезированный образец обладает мезопористой структурой, о чем свидетельствует наличие конденсационно-капиллярного гистерезиса на кривой адсорбции-десорбции азота (Рисунок 1). Форма петли гистерезиса относится к типу В, характерным для щелевидных пор, что, очевидно, обусловлено пластинчатой формой частиц. Удельная поверхность образца составляет 62 м²/г, суммарная пористость – 0,1143 мл/г. Образец имеет мономодальное распределение пор по размерам, преобладающий размер которых составляет 4 нм.

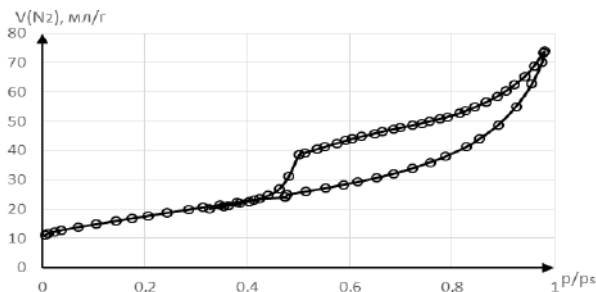


Рис. 2 – Изотерма адсорбции-десорбции азота катализатора Ni-Cu/CeO₂

Синтезированный катализатор обладает высокой каталитической активностью в реакции КKM. Полная конверсия метана в синтез-газ наблюдается при температуре 657°С, что ниже температуры конверсии для образца 18% Ni/Al₂O₃ (T_{100%} = 715°С). Эффект увеличения каталитической активности, очевидно, обусловлен наличием в составе образца меди, принимающей участие протекающей реакции конверсии метана.

Существенным недостатком исследованного образца является низкая термическая устойчивость. Так, после проведения каталитических испытаний наблюдается снижение удельной поверхности до 21 м²/г и уменьшение суммарного объема пор до 0,051 мл/г. По-видимому, наблюдаемый эффект обусловлен спеканием образца в процессе проведения каталитических исследований. Для повышения термостойкости диоксида церия рекомендуются следующие действия. Проводить допирование ионами Zr⁴⁺ для повышения термостойкости [2]. А также на стадии синтеза проводить прокалику образца при температурах равных или больших, чем температура полной конверсии.

Литература:

1. Кислородная и углекислотная конверсия метана в синтез-газ на новых катализаторах Ni-Co/MFI / А.Г. Дедов, А.С. Локтев, И.Е. Мухин, А.А. Караваев, С.И. Тюменова, А.Е. Баранчиков, В.К. Иванов, К.И. Маслаков, М.А. Быков, И.И. Моисеев // Нефтехимия. – 2018. – Т. 58, № 2. – С. 156-166.
2. Thermal stability and catalytic activity of the MnO_x-CeO₂ and the MnO_x-ZrO₂-CeO₂ highly dispersed materials in the carbon monoxide oxidation reaction / E.Y. Liberman, B.S. Kleusov, A.V. Naumkin, I.V. Zagainov, E.A. Simakina, A.O. Izotova // Inorganic Materials: Applied Research. – 2021. – V. 12. – Is. 2. – P. 468-476.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В NF_3

М.И. Якубова, П.Б. Молоков

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ

г. Северск, shachnevamr@yandex.ru

Научный руководитель: Молоков П.Б., к.т.н., доцент

Трифторид азота применяется в основном в электронной и полупроводниковой промышленности для плазменного травления кремниевых пластин и очистки камер химического осаждения из паровой фазы. Использование трифторида азота обусловлено тем, что данный газ не приводит к накоплению углеродистых остатков, однако его синтез представляет собой сложный процесс, в связи с этим газ обычно загрязнен. Обнаружение большинства примесей в NF_3 осуществляется с помощью метода газовой хроматографии.

Nitrogen trifluoride is used primarily in the electronics and semiconductor industries for plasma etching of silicon wafers and cleaning of chemical vapor deposition chambers. The use of nitrogen trifluoride is due to the fact that this gas does not lead to the accumulation of carbon residues, but its synthesis is a complex process, and therefore the gas is usually contaminated. Detection of most impurities in NF_3 is carried out using the gas chromatography method.

За последние десятилетия актуальность производства высокочистых фторсодержащих газов значительно возросла и будет увеличиваться с каждым годом, так как именно эти газы играют важную роль в производстве микроэлектроники. Трифторид азота применяется при производстве светодиодов, плоских дисплеев, интегральных микросхем и другой микроэлектроники.

К трифториду азота, применяемому при производстве различной микроэлектроники, предъявляются некоторые требования, ключевым из которых является чистота газа. Товарная стоимость продукта обусловлена минимально возможными пределами обнаружения примесей в газах, в связи с тем, что она определяется способностью производителя определять мельчайшие количества загрязняющих веществ в высокочистых газах. В настоящее время в России не проводят сертификацию данных газов, что затрудняет развитие отечественной полупроводниковой промышленности. Поэтому существует необходимость в разработке оптимальной и экономичной методики проведения анализа трифторида азота на содержание в них примесей.

Трифторид азота (NF_3) – окисляющий бесцветный газ с характерным запахом. Основными компонентами, загрязняющими трифторид азота

являются фтороводород (HF), углекислый газ (CO₂), азот (N₂), оксид азота (I) (N₂O) и другие.

Производители микроэлектроники, опасаясь дефектов при производстве, предъявляют наиболее жесткие требования по содержанию примеси тетрафторметана, возникающей при электрохимических методах получения, а именно для CF₄ – менее 1-5 ppmv.

В данной работе исследуется газохроматографический метод для определения примесей в трифториде азота, проводится сравнительная характеристика используемых методик анализа газа и рассматривается возможность осуществления их на представленном отечественном оборудовании.

Газовая хроматография позволяет анализировать высокочистые агрессивные вещества. Применение высокоэффективных капиллярных колонок – один из способов обнаружения требуемых примесей. Меньшая емкость капиллярных колонок позволяет проводить анализ при пониженных температурах, что снижает вероятность химических превращений с участием разделяемых веществ. Эффективность капиллярных колонок в 30-100 раз выше, чем насадочных, а времена удерживания в 5-10 раз меньше.

Определение требуемых примесей в данных газах напрямую зависит от характеристик используемого оборудования. Российский рынок оснащен значительным выбором газовых хроматографов. Однако не всё оборудование можно использовать для проведения анализа данного газа. В частности, для определения загрязняющих компонентов в данных газах на уровне 1 ppm требуется гелиевый ионизационный детектор (HID).

В докладе, представленном на конференцию, авторами будут приведены подробные результаты исследования газохроматографического метода анализа трифторида азота на содержание примесей методом газовой хроматографии.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОГО ДОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОРОШКОВ ГИРДИДОВ ОТРАБОТАВШИХ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ Nd-Fe-B

М.И. Якубова, Е.К. Грачев

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ

г. Северск, shachnevamr@yandex.ru

Научный руководитель: Грачев Е.К., инженер-исследователь

Механическое доизмельчение порошков гидридов отработавших магнитных сплавов Nd-Fe-B – одна из стадий технологии рециклирования магнитных материалов. Данный процесс позволяет частично восстанавливать утраченные магнитные характеристики, влияя на микроструктуру частиц. Научной группой СТИ НИЯУ МИФИ было проведено исследование влияния процесса доизмельчения в органической среде на свойства порошков гидридов отработавших магнитных сплавов.

Mechanical regrinding of hydride powders of used Nd-Fe-B magnetic alloys is one of the stages of the technology for processing magnetic materials. This process makes it possible to partially eliminate the lost magnetic characteristics that affect the microstructure of particles. The scientific group of STI NRNU MEPhI conducted a study of the influence of the regrinding process in an organic environment on the properties of hydride powders of spent magnetic alloys.

Рециклирование магнитных материалов на основе редкоземельных металлов (РЗМ) в современном мире имеет большое значение для развития отечественной промышленности и поддержания экономики страны. Технология рециклирования включает в себя несколько этапов, одним из которых является механическое доизмельчение (домол) порошков отработавших магнитных сплавов. Данному процессу материал подвергается после процесса водородного охрупчивания и термообработки. Необходимость данной стадии обусловлена тем, что при проведении процесса водородного охрупчивания невозможно получить частицы гидридов требуемого размера. Процесс домола способствует получению частиц гидридов отработавших магнитов требуемой формы и размера, тем самым оказывая влияние на магнитные свойства материала.

В данной работе изучается метод механического доизмельчения порошков гидридов отработавших магнитных сплавов Nd-Fe-B на планетарной шаровой мельнице и исследуется влияние органической среды на степень окисления материала в результате процесса измельчения, а также на размер и форму частиц.

Процесс домола материала производится в органической среде, а именно в органических разбавителях. Измельчение в средах

органических разбавителях способствует значительному снижению содержания намола (сколов от соударений размоленных тел), образующегося в результате трения между размольными телами – шарами, в доизмельченных образцах и повышению магнитных свойств материала.

В качестве органических разбавителей были рассмотрены технический этиловый спирт, ацетон и гексан. В результате ацетон был выбран в качестве органического разбавителя в связи с низкой стоимостью и сниженной вероятностью набора влаги порошками гидридов. После доизмельчения порошки гидридов просеивались через сито, пропускающее частицы размером менее 20 мкм. Просеянный порошок был исследован на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ). Средний размер частиц составляет от 10 до 30 мкм.

В докладе авторами будут представлены подробные результаты изучения процесса доизмельчения порошков гидридов отработавших магнитных сплавов и влияние органической среды – технического этилового спирта, на степень окисления материала в результате процесса измельчения, а также на размер и форму частиц.

Секция АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
СОВРЕМЕННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ.
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

**СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРИАЛЮМИНИДОВ
ТИТАНА, ЛЕГИРОВАННЫХ Fe И Cu**

Н.С. Александрова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, aleksandrovanatalie99@gmail.com**

Научный руководитель: Лазуренко Д.В., д.т.н., доцент

Триалюминид титана со структурой $L1_2$ является перспективным соединением для производства сплавов конструкционного назначения. По сравнению с обычным триалюминидом титана, имеющим $D0_{22}$ структуру, триалюминид со структурой $L1_2$ характеризуется более высокой пластичностью и вязкостью разрушения. Стабилизация $L1_2$ структуры возможна путем легирования $TiAl_3$ переходными металлами. В представленной работе исследовано влияние Fe и Cu, добавленных в количестве 12,5 ат. %, на структурные особенности и фазовый состав сплавов, полученных дуговым переплавом. Выявлено, что в обеих системах Ti-Al-Fe и Ti-Al-Cu произошло образование $TiAl_3$ со структурой типа $L1_2$. Кроме того, в сплавах были сформированы другие интерметаллидные соединения, такие как $CuAl_2$ и $TiFeAl_2$, что свидетельствует о необходимости проведения гомогенизирующей термообработки с целью получения однородного материала.

Titanium trialuminide with the $L1_2$ structure is a promising compound for the production of structural alloys. Trialuminide with the $L1_2$ structure is characterized by higher ductility and fracture toughness compared to conventional titanium trialuminide with the $D0_{22}$ structure. Stabilization of the $L1_2$ structure is possible by alloying $TiAl_3$ with transition metals. In this work, the effect of Fe and Cu added in the amount of 12,5 at. % was investigated on the structural features and phase composition of the alloys obtained by arc melting. It was established that the formation of $TiAl_3$ with the $L1_2$ structure occurred in both Ti-Al-Fe and Ti-Al-Cu systems. In addition, other intermetallic compounds such as $CuAl_2$ and $TiFeAl_2$ were formed in the alloys, which indicates the need for homogenizing heat treatment in order to obtain a homogeneous material.

Уже на протяжении нескольких десятилетий триалюминид титана вызывает большой интерес различных исследовательских групп, поскольку среди соединений алюминия и титана, он обладает наименьшей плотностью, наибольшей удельной жесткостью, твердостью и стойкостью к окислению [1]. Однако его применение

ограничено из-за недостаточного уровня трещиностойкости и отсутствия пластичности при низких температурах [2].

TiAl₃ кристаллизуется в структуре D0₂₂ с тетрагональной элементарной ячейкой. Основным видом деформации данного соединения при комнатной температуре является двойникование. Структура D0₂₂ является производной от кубической структуры L1₂, образующейся путем введения антифазных границ на плоскостях (001) [3]. Легирование триалюминида титана переходными элементами, к которым относятся Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Rh, Pd, Ag, Pt и Au, позволяет стабилизировать L1₂ структуру TiAl₃. L1₂ структура более симметрична и имеет большее количество независимых систем скольжения, что приводит к более высокой пластичности и трещиностойкости триалюминида с такой структурой [4].

В представленной работе образцы для исследования получали методом дугового переплава в среде аргона. Для стабилизации триалюминида титана с кубической решеткой были выбраны легирующие компоненты Fe и Cu, которые добавляли в количестве 12,5 ат. %.

Структура образцов была исследована на растровом электронном микроскопе Carl Zeiss EVO50 XVP. Микрорентгеноспектральный анализ производился с использованием спектрометра EDS X-Act. Образец с добавлением Fe имеет дендритное строение (рис. 1). Также в структуре присутствуют отличающиеся по контрасту области. Элементный анализ этих зон показал (табл. 1), что они соответствуют различным соединениям. В светло-серых участках содержится большее количество железа и по элементному составу они близки к фазе TiFeAl₂.

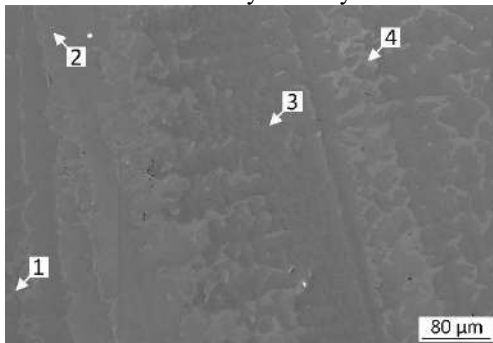


Рис. 1 – Анализируемые области Ti-Al-Fe при микрорентгеноспектральном анализе

Содержание железа в темно-серых участках близко к 8 ат. %. Такое количество железа может содержаться в $TiAl_3$ со структурой $L1_2$. Сплав с медью (рис. 2 а) оказался обеднен легирующим элементом. Содержание меди в нем не превышало 10 ат. % (табл. 2). Данный факт можно связать с недостаточно равномерным распределением элементов при выплавке, что привело к образованию в образце локальной зоны (рис. 2 б), содержащей $CuAl_2$.

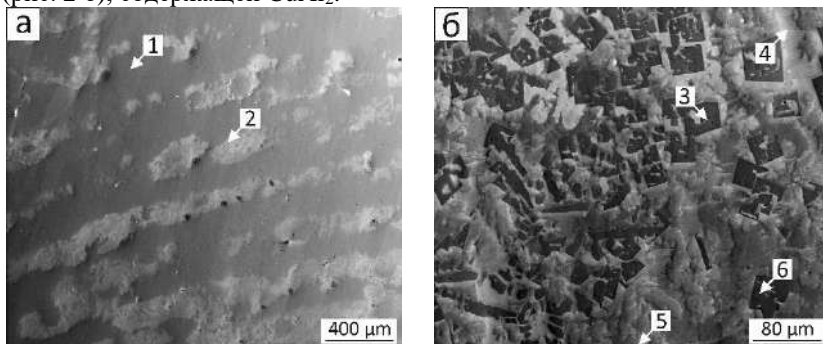


Рис. 2 – Анализируемые области Ti-Al-Cu при микрорентгеноспектральном анализе: а – общий объем образца; б – локальная зона

Таблица 1 – Элементный состав анализируемых областей для Ti-Al-Fe

№	Элементный состав, ат. %				Фаза
	Al	Ti	Fe	Si	
1	52,12	23,84	22,80	1,24	$TiFeAl_2$
2	65,02	27,43	7,54	–	$TiFe_{0,3}Al_{2,7}$
3	64,41	26,97	8,63	–	$TiFe_{0,3}Al_{2,7}$
4	53,05	23,34	22,85	0,76	$TiFeAl_2$

Таблица 2 – Элементный состав анализируемых областей для Ti-Al-Cu

№	Элементный состав, ат. %			Фаза
	Al	Ti	Cu	
1	62,56	27,09	10,35	$TiCu_{0,4}Al_{2,6}$
2	62,69	27,25	10,07	$TiCu_{0,4}Al_{2,6}$
3	62,32	24,94	12,75	$TiCu_{0,5}Al_{2,5}$
4	68,96	–	31,04	$CuAl_2$
5	67,77	0,94	31,29	$CuAl_2$
6	63,24	24,73	12,04	$TiCu_{0,5}Al_{2,5}$

С целью точного установления фазового состава образцов производилась съемка дифракционных картин с использованием

дифрактометра ADVIN POWDIX600. Полученные результаты (рис. 3 и 4) подтвердили результаты микрорентгеноспектрального анализа. В образцах после дуговой плавки наблюдается образование несколько фаз. Выявлено, что в обеих системах произошла стабилизация желаемой фазы – триалюминид титана с кубической решеткой. $TiAl_3$ с тетрагональной $D0_{22}$ структурой обнаружен не был. Также следует отметить, что на дифракционных картинах наблюдается перераспределение интенсивностей рефлексов $L1_2$, что свидетельствует о некоторой текстурованности полученных материалов.

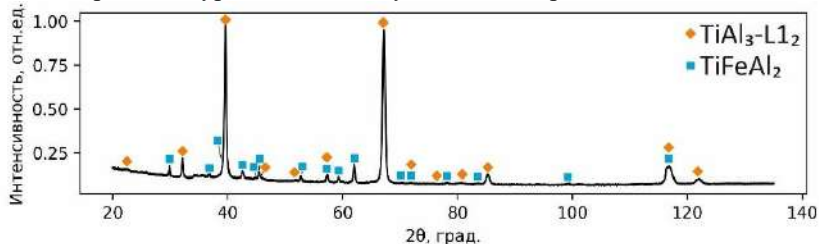


Рис. 3 – Фазовый состав образца, легированного железом в количестве 12,5 ат. %

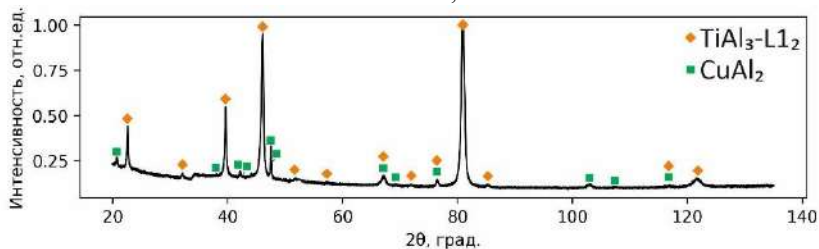


Рис. 4 – Фазовый состав образца, легированного медью в количестве 12,5 ат. %

Таким образом, можно заключить, что легирование триалюминид титана переходными металлами Fe и Cu в количестве 12,5 ат. % позволяют стабилизировать желаемую кубическую фазу $L1_2$ - $TiAl_3$. Однако в материале обнаружено присутствие текстуры и других интерметаллидных фаз, которые могут негативным образом отразиться на свойствах сформированного материала. Полученные данные свидетельствуют о необходимости проведения дальнейшей гомогенизирующей термообработки.

Литература:

1. Vecchio K.S. Synthetic multifunctional metallic-intermetallic laminate composites // JOM. – 2005. – Vol. 3, N 57. – P. 25–31.

2. Biswas S., Varin R.A. Evolution of microstructures in the nickel modified titanium trialuminides near the L1₂ phase field // Metallurgical and Materials Transactions A. – 1996. – Vol. 27. – P. 5-17.

3. Sauthoff G. Intermetallics. – John Wiley & Sons, 2008. – 165 p.

4. Brandt C., Inal O.T. Mechanical properties of Cr, Mn, Fe, Co, and Ni modified titanium trialuminides // Journal of materials science. – 2002. – Vol. 37. – P. 4399-4403.

ФОРМИРОВАНИЕ НИТРИДОВ БОРА НА ХРОМОНИКЕЛЕВОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ 12Х18Н9Т

В.Е. Андрюшкина

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, andryushckina.valeria@yandex.ru

Научный руководитель: Бушуева Е.Г., к.т.н., доцент

В данной работе проводилась оценка структуры поверхностного слоя, сформированного на хромоникелевой аустенитной стали 12Х18Н9Т методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки. Наплавка производилась порошковыми нитрида титана и карбида бора. Также оценивались механические и триботехнические свойства материалов, методом микротвердости и испытаний на абразивное изнашивание при трении о закрепленные частицы соответственно.

In this work, the structure of the surface layer formed on austenitic steel 12Cr18Ni9Ti was cladded by the non-vacuum electron beam surfacing. The surfacing of titanium nitride and boron carbide powders was carried out. The mechanical and tribotechnical properties of materials were measured by the method of microhardness and tests for abrasive wear during friction against fixed particles.

Данная работа проводилась с целью получения на поверхности стали нитрида бора. Такие соединения согласно литературным данным [1] являются достаточно высокопрочными для повышения уровня износостойкости и твердости материала.

Формирование нитрида бора происходит при повышенных температурах (~2000 °С) [1]. В связи с высокой температурой образования был выбран метод вневакуумной электронно-лучевой обработки, который является высокоэнергетическим методом [2].

Для оценки влияния концентрации нитрида титана и карбида бора на изменение структуры поверхностных слоев, были сформированы образцы, состав которого и режим обработки приведен в таблице 1. В

качестве материала основы использовалась пластина из стали 12Х18Н9Т размером 100х50х12 мм.

Таблица 1 – Режим обработки и концентрация компонентов

Состав порошка, 40 %	Смачивающий компонент, 10 %	Флюс, 50 %	Величина тока пучка, мА
TiN + V ₄ C	Ti	MgF ₂	24

Структура сформированного слоя представлена на рисунке 1. Модифицированный слой имеет дендритную структуру. На вытянутых кристаллах хорошо видны мелкие нерасплавленные частицы, размер которых не превышает нескольких микрометров. Предположительно, этими частицами являются карбиды титана и нитриды бора. Наличие нерасплавленных частиц объясняется недостаточной температурой (от 1652 до 1887 °С – максимальная температура на поверхности образцов) для расплавления порошка нитрида титана (температура плавления составляет 2930 °С) и высокой скорости кристаллизации.

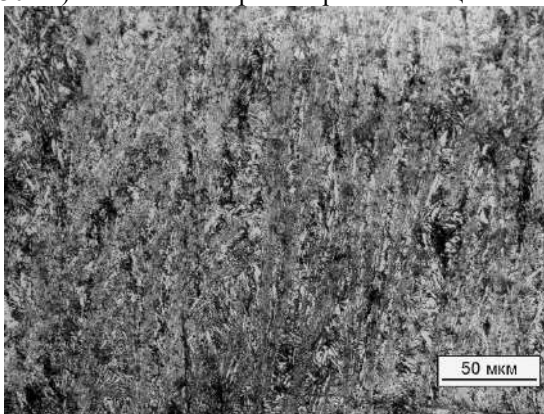


Рис. 1 – Структура модифицированного слоя TiN + V₄C + Ti

На рисунке 2 представлена микротвердость сформированного слоя, толщина которого составляет ≈ 2,7 мм.

Микротвердость поверхностного слоя увеличилась в 2,5 раза по сравнению с исходной сталью 12Х18Н9Т (≈ 210 HV_{0,1}). Установлено, что средние значения микротвёрдости наплавленных слоёв составляет 600 – 800 HV_{0,1}.

На рисунке 3 представлены результаты измерения износостойкости модифицированных слоев. Испытание слоев проводили в условиях трения о закреплённые частицы абразива в соответствии с ГОСТ 17367-71. За эталон была принята сталь 12Х18Н9Т без наплавки.

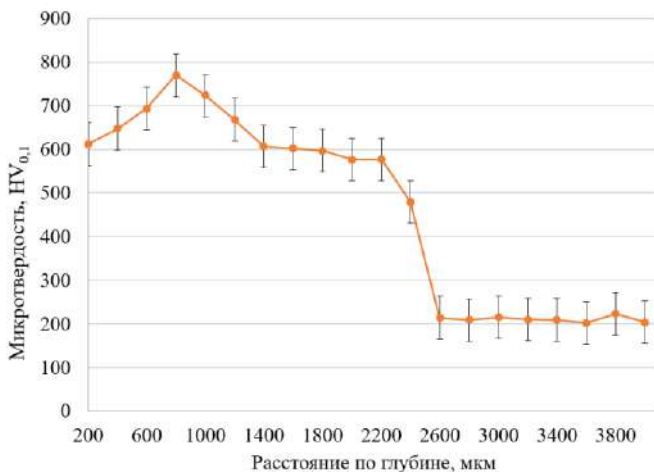


Рис. 2 – Микротвёрдость по поперечному сечению сформированного образца

Модифицированные слои состава TiN + B₄C + Ti показали износостойкость в 2,2 раза выше, чем эталон.

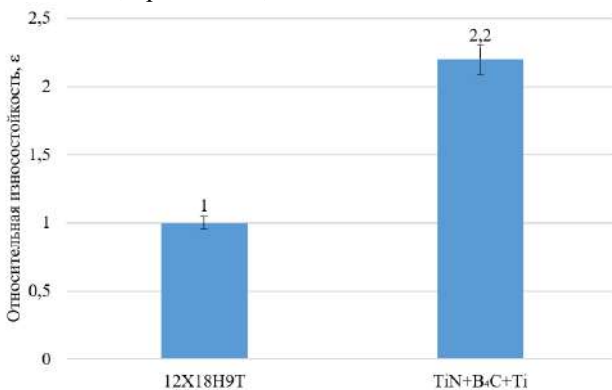


Рис. 3 – Показатели относительной износостойкости сформированного образца

В ходе проделанной работы было выяснено, что соотношение используемых компонентов не позволяет сформировать на поверхности хромоникелевой аустенитной стали 12X18H9T нитридов бора. Однако результаты испытаний по измерению микротвёрдости и износостойкости показали увеличение данных показателей в 2,5 и 2,2 раза, что доказывает перспективность данного направления.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-00066, <https://rscf.ru/project/23-79-00066/>.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП "Структура, механические и физические свойства материалов".

Работа выполнена с использованием ускорителя электронов ЭЛВ-6 в ИЯФ СО РАН им. Г.И. Будкера.

Литература:

1. Андреевский Р.А. Тугоплавкие соединения: новые подходы и результаты. // Успехи физических наук. – 2017. – Т. 187, № 3. – С. 296–310.

2. Голковский М.Г. Закалка и наплавка релятивистским электронным пучком вне вакуума. Технологические возможности метода. – Саарбрюккен: LAPLAMBERT Academic Publishing, 2013. – 317 с.

ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЬ КАК РАБОЧАЯ ЖИДКОСТЬ ДЛЯ ЖИДКОСТНО-ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ

И.С. Бадин, А.Г. Панина, А.С. Бачурин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, badin0309@mail.ru**

Научный руководитель: Бачурин А.С., к.т.н.

В работе рассматривается вопрос применения пропиленгликоля и его растворов с водой в сравнении с иными жидкостями и растворами для применения в установке жидкостно-лазерной резки материалов.

The paper considers the issue of the use of propylene glycol and its solutions with water in comparison with other liquids and solutions for use in the installation of liquid laser cutting of materials.

Резка различных материалов с применением лазерного излучения является широко распространенным методом раскроя листовых материалов, применяемость которого зависит от их технологических качеств. В частности, лазерная резка алюминиевых сплавов в основном применяется в общегражданском секторе промышленности или же для деталей в неотчетливых конструкциях из-за образования дефектов в зоне теплового влияния (ЗТВ) (Рисунок 1) [1,3]. В самолёто- и вертолётостроении, по этой причине, данная технология не применяется для изготовления деталей авиационной техники.

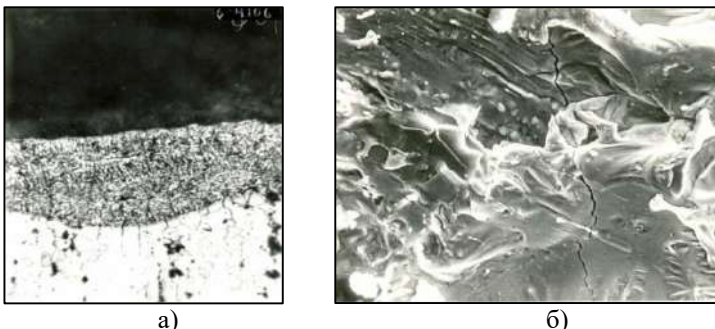


Рис. 1 – Характерные дефекты материала после лазерной резки: а) – Микроструктура алюминиевого сплава Д16; б) – Трещины на поверхности алюминиевого сплава в зоне обработки.

Теория. Рассматриваемая технология жидкостно-лазерной резки в своей сути базируется на эффекте полного внутреннего отражения, при котором, следуя закону преломления [2], переход из более плотной среды в менее плотную, при некотором угле падения, – невозможен. Таким образом достигается полное отражение лазерного луча от границы раздела жидкость-воздух и формируется своего рода жидкий «оптопровод», позволяющий снижать влияние расфокусировки и тем самым увеличить толщину обрабатываемого материала.

Немаловажным является применение жидкости с целью снижения влияния теплового воздействия на получаемые кромки за счёт её непрерывной подачи в зону резания, где жидкость будет отбирать часть тепла.

Помимо озвученных и ожидаемых качественных эффектов, будут возникать явления внутри головки жидкостно-лазерной (ЖЛ) резки, препятствующие её эффективной работе. В частности, это эффект волнового поглощения средой, через которую будет проходить лазерный луч. Это приведет к её нагреву, а ввиду локализации нагрева и уменьшения проходного сечения жидкостной струи будет происходить изменение коэффициента преломления среды, что в конечном итоге приведет к разрушению светового потока. Данный эффект носит название «тепловой линзы» [4].

Таким образом представляется необходимым подобрать такую скорость истечения жидкости из сопла, чтобы не возникал перегрев жидкости внутри головки ЖЛ, и её объем был достаточен для охлаждения зоны резания.

Помимо озвученного выше, из-за малых размеров струи и необходимости сохранения её ламинарного течения, появляется необходимость поиска прозрачной жидкости с максимальными

значениями динамической вязкости и минимальной плотностью. Что нас подводит к заманчивому вводу, в качестве определяющего фактора, условного параметра, который необходимо максимизировать в ходе выбора жидкости, – а именно: отношение динамической вязкости к плотности жидкости.

Анализ пропиленгликоля. Составы на основе пропиленгликоля, с точки зрения применения в описанной технологии, в качестве рабочей жидкости позволяют иметь жидкость высокой теплоёмкости, и в тоже время увеличенной динамической вязкости и плотности. Это позволит увеличить скорость ламинарного потока «жидкого оптопровода» с сохранением высоких теплоотводящих характеристик. Что крайне важно для резки алюминиевых сплавов.

Также пропиленгликоль обладает той же прозрачностью, что и обычная вода, что делает его смеси подходящими для пропускания лазерного излучения. С точки зрения применения в производстве данная жидкость безопасна для человека в виду отсутствия токсичных элементов в химическом составе и не требует особых указаний по технике безопасности и при обработке металлических элементов конструкции не вызывает коррозионного эффекта, что расширяет перечень обрабатываемых материалов. При применении того же силиконового масла возникает вопрос к особым режимам работы и условиям труда по причине его высокой пожароопасности.

Сравнения с другими жидкостями для ЖЛ резки. Перед анализом состава на основе пропиленгликоля в качестве рабочей среды для ЖЛ резки ранее рассматривались другие жидкости: вода и её растворы с глицерином, в различном соотношении, а также силиконовое масло ПМС-10. Ключевые параметры жидкостей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры рабочих жидкостей

Жидкость	Плотность, кг/м ³	Теплоемкость, Дж/кг·°С	Динамическая вязкость, Па·с	Коэффициент преломления	Крит. угол преломления
Вода	1000	4200	0,00089	1,3329	48,6°
Силикон. масло	935	1632	0,00935	1,3990	45,6°
25% р-р пропилен-ля	1024	3980	0,00286	1,3557	47,5°
38% р-р пропилен-ля	1036	3770	0,00456	1,3691	46,9°
47% р-р пропилен-ля	1044	3620	0,00626	1,3784	46,5°
10% р-р глиц-на	1022	1998	0,00131	1,3448	48,0°
20% р-р глиц-на	1047	1907	0,00176	1,3575	47,4°
30% р-р глиц-на	1073	1816	0,00250	1,3707	46,8°
40% р-р глиц-на	1099	1725	0,00372	1,3841	46,3°
50% р-р глиц-на	1126	1634	0,00600	1,3981	45,7°

Для определения максимально теоретически достижимых скоростей было выбрано сопло диаметром 0.1мм. Согласно формуле 1 [5]:

$$v = \frac{Re_{кр} \cdot \mu}{d \cdot \rho}, \quad (1)$$

где v – скорость жидкость, м/с; ρ – плотность жидкости, кг/м³; d – внутренний диаметр канала, м; μ – динамическая вязкость жидкости, Па · с.

Помимо этого, рассматривался условный параметр – максимальная скорость удаления тепла, представленный формулой 2.

$$v_t = v \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \rho \cdot q, \quad (2)$$

где v_t – скорость уноса тепла, Дж/(с·°C); q – теплоемкость жидкости, Дж/(кг·°C). Его суть сводится к теоретической оценке возможности уноса тепла жидкостью, при условии её постоянной подачи и смены в зоне резания. Очевидно, что для более реальной оценки необходимо оценивать и коэффициент теплопередачи, однако в данном ключе, пока решено ограничиться данным условным параметром. Результаты оценки предсталены на рисунке 2 в виде диаграммы.

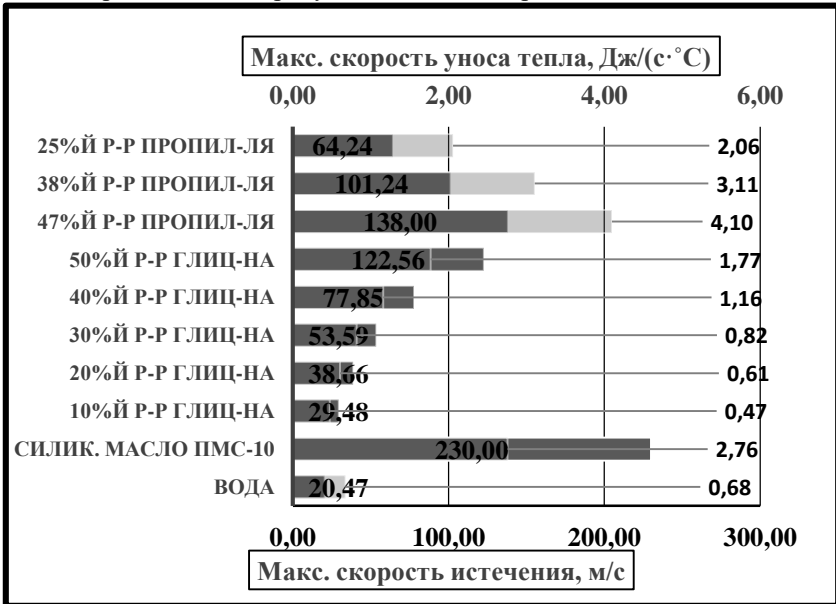


Рис. 2 – Сравнение скорости истечения жидкостей и удаления тепла из сопла.

Выводы. Можно заключить, что растворы пропиленгликоля в воде являются более перспективными, с точки зрения повышения скорости отвода тепла из зоны резания, по сравнению с растворами глицерина в воде. Безусловно, растворы пропиленгликоля даже теоретически не

приблизилась к значениям силиконового масла, однако столь высокие скорости, показанные для него, представляется труднодостижимыми на практике и будут требовать специальных ухищрений, которые в конечном итоге будут вести к удорожанию технологии в целом. Перед авторами же стоит поиск жидкости, которая сможет обеспечить достаточный уровень охлаждения при резке алюминиевых сплавов и в тоже время обеспечить простоту конструкции излучающей головки и сопла, формирующего ламинарную струю. Таким образом, в дальнейшем необходимо оценить способность к поглощению тепла от разрезаемого материала для растворов пропиленгликоля и оценить уже их отдельно в сравнении с водой, поскольку она обладает наилучшими теплофизическими показателями, а сохранение ламинарного течения водяной струи достигается специальными техническими решениями.

Литература:

1. *Гайдачук В.Е.* Анализ эффективности технологии лазерной резки листовых деталей из цветных металлов в серийном авиационном производстве / В.Е. Гайдачук, А.И. Костекнко // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2010. – Вып. 2. – С. 20 – 37.
2. *Михеенко А.В.* Геометрическая оптика: учеб. пособие / А. В. Михеенко. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. – 100 с.
3. *Цегельник Е. В.* Перспективные направления применения лазерных технологий в авиационной промышленности // Open Information and Computer Integrated Technologies. 2015. Т. 70. С. 121–129.
4. *Петропавловский В. М.* Определение показателя поглощения слабопоглощающей жидкости методом "тепловой линзы" / В. М. Петропавловский // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 8. – С. 135-139.
5. *Гостеев Ю. А.* Гидравлика и газодинамика: учеб. пособие / Ю. А. Гостеев; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2008. – 103 с

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ, СОДЕРЖАЩИХ TiN И Ti

Б.Б. Батыров, Е.А. Пухова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, beka-sebat@mail.ru**

Научный руководитель: Бушуева Е.Г., к.т.н., доцент

В данной работе исследовалась структура поверхности, созданная на хромоникелевой аустенитной стали 12X18H9T методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки. В качестве материалов для наплавки использовались порошки нитрида титана. Микротвердость сформированных слоев достигает 265 HV_{0,1}, толщина 2,5 мм. Оценка износостойкости показала увеличение данного показателя в 1,9 раз относительно исходной стали.

In this work, the surface structure created on chromium-nickel austenitic steel 12Cr18Ni9Ti by the method of non-vacuum electron beam surfacing was investigated. Titanium nitride powders were used as surfacing materials. The microhardness of the formed layers reaches 265 HV_{0.1}, thickness 2.5 mm. The assessment of wear resistance showed an increase of this indicator by 1.9 times relative to the original steel.

Целью данной работы является формирование на поверхности стали высокопрочных слоев нитрида титана. Формирование данных слоев позволит повысить твердость и износостойкость конструкционной стали 12X18H9T. Существует ряд технологий, позволяющих получить высокопрочную поверхность стали, но не все обеспечивают высокую адгезию и толщину покрытия. Один из методов, решающий эти проблемы является метод вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей (ВЭЛН) [1,2].

В нашей работе наплавочная порошковая смесь состояла из TiN и чистого Ti в качестве смачивающего компонента (TiN/Ti 40%/10%). Для предотвращения окисления поверхности в процессе обработки применялся MgF₂ в качестве флюсующего компонента (50% от порошковой смеси). Модифицированные слои формировались на пластинах 12X18H9T размером 100x50x12 мм.

Структура сформированного слоя представлена на рисунке 1. В поверхностном слое образца установлено образование фазы, по форме, напоминающей интерметаллиды. Анализ диаграммы состояния Fe-Ti [3], позволил предположить, что интерметаллиды имеют состав TiFe₂ или TiFe. Также в структуре наблюдается некоторое скопление нерасплавленных частиц порошковой смеси, что может объясняться недостаточной температурой для расплавления порошка нитрида титана.

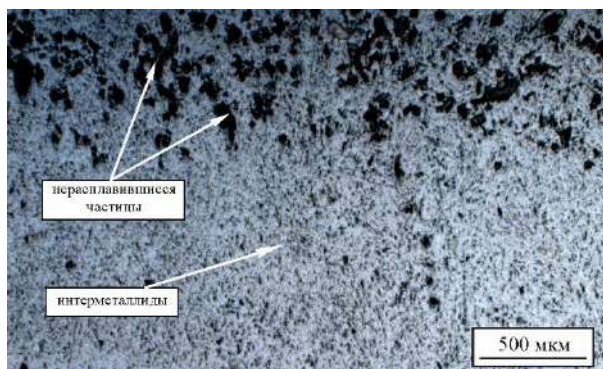


Рис. 1 – Структура модифицированного слоя, сформированного при наплавке порошковой смеси TiN и Ti

На рисунке 2 представлена микротвердость сформированного слоя.

Для полученных образцов микротвердость модифицированного слоя составила 265 HV_{0,1}.

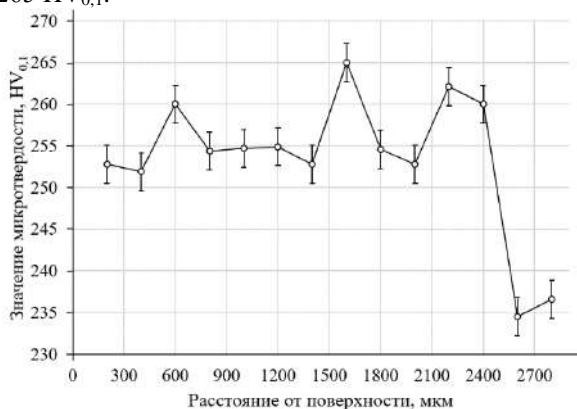


Рис. 2 – Микротвёрдость по сечению сформированного образца

Оценка износостойкости сформированных слоев проводилась в условиях трения о закреплённые частицы абразива в соответствии с ГОСТ 17367-71 [4]. В качестве эталона использовалась сталь 12X18H9T в состоянии поставки. Модифицированные слои имеют износостойкость в 1,9 раза выше, чем материал эталона (рисунок 3).

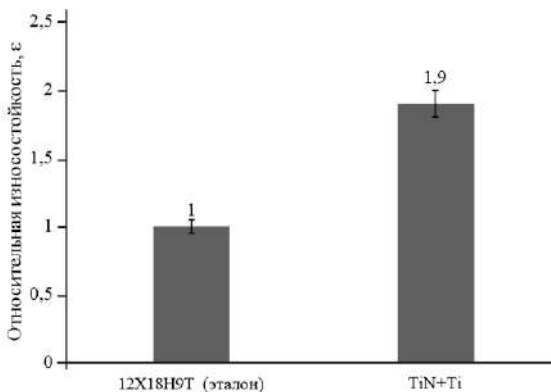


Рис. 3 – Показатели относительной износостойкости сформированного образца

В заключении стоит отметить, что сформированные модифицированные слои повышают износостойкость и твердость исходной стали. Но уровень повышения не является достаточным. Таким образом, требуется изменение исходных компонентов (или их соотношений) порошковой смеси.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП "Структура, механические и физические свойства материалов" НГТУ.

Работа выполнена с использованием ускорителя электронов ЭЛВ-8 в ИЯФ СО РАН им. Г.И. Будкера.

Литература:

1. *Голковский М.Г.* Закалка и наплавка релятивистским электронным пучком вне вакуума. Технологические возможности метода. – Саарбрюккен: LAPLAMBERT Academic Publishing, 2013. – 317 с.

2. Электронно-лучевая наплавка износостойких и коррозионно-стойких покрытий на низкоуглеродистую сталь / *И.М. Полетика, С.А. Макаров, М.В. Тетюцкая, Т.А. Крылова* // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 2. – С. 86–89.

3. *Лякишев Н.П.* Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник. В 3т. Т.2. – М.: Машиностроение, 1997. – 1024 с.

4. ГОСТ 17367-71. Металлы. Методы испытания на абразивное изнашивание при трении о закрепленные абразивные частицы. : государственный стандарт союза ССР : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 29 марта 1971 г. № 54 : введен впервые : дата введения 1971 – 12 – 31 / разработан Всесоюзным научно-исследовательским институтом по нормализации в

машиностроения (ВНИИНМАШ). – Москва: Издательство стандартов, 1972. – 7 с. – Текст : непосредственный.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ МЕТАСТАБИЛЬНОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ 12X18H9T

К.А.Белов, И.Е.Насенник

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, super.mr-kirill-belov-03@yandex.ru
Научный руководитель: Батаев И.А., д.т.н., профессор**

В работе было проведено исследование микроструктуры метастабильной аустенитной стали после термической обработки и последующей прокатки с разными степенями обжатия. Также были измерены значения микротвердости в состоянии поставки и при различных степенях деформации.

The study of the microstructure of metastable austenitic steel after heat treatment and subsequent rolling with different degrees of compression was carried out. Microhardness values were also measured in the delivery state and at various degrees of deformation.

Важным и широко используемым классом конструкционных материалов являются аустенитные хромоникелевые стали. Они используются в пищевой, химической, текстильной, фармацевтической, бумажной, нефтяной промышленности и других областях человеческой жизни [1]. Фазовые превращения и двойникование являются эффективными механизмами повышения прочностных свойств данных аустенитных сталей. Эти механизмы зависят от термодинамической стабильности аустенита (химического состава) и условий деформации (величины, температуры).

В работе исследовали структуру, фазовый состав, и механические свойства отожжённой метастабильной аустенитной стали 12X18H9T (1000°C, 1 час, в вакууме) в состоянии поставки и после холодной прокатки до степени деформации $\epsilon = 75\%$.

Холодная деформация проводилась на лабораторном прокатном стане типа «Кварто» с диаметром рабочих валков 28 мм. Степень обжатия заготовок за один проход составляла $\epsilon = 5\%$. Изображения микроструктуры, были получены с использованием светового микроскопа «Carl Zeiss AXIOVERT 40MAT». Измерения механических свойств, в частности, микротвердости проводились на микротвердомере WOLPERT Group 402.

В результате проведенной термической обработки в структуре материала наблюдалась частичная рекристаллизация и изменение текстуры (форма зерен изменилась от неравноосной к полиэдрической). Кроме того, было отмечено, что в процессе отжига произошло явление вакуумного травления.

Также, с увеличением степени деформации увеличивается микротвердость исследуемых образцов, предположительно, данное явление связано не только с уменьшением размера зерна, но и с протекающим в структуре $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращением [2].

Литература:

1. Гуляев А. П. Металловедение. – Рипол Классик, 1986.
2. Мельников Е. В., Астафурова Е. Г., Майер Г. Г. Фазовый состав, структура и механические свойства аустенитных сталей 08X18H9T и 01X17H13M3 после прокатки // Вестник российских университетов. Математика. – 2016.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛМАЗОВ ДЕТОНАЦИОННОГО СИНТЕЗА В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Е.С. Беляева, Д.А. Деморецкий, И.Р. Тонеев
Самарский государственный технический университет
г. Самара, liza.s.belyaeva@gmail.com
Научный руководитель: Тонеев И.Р., к.т.н.

На сегодняшний день, нефтяная промышленность является высокотехнологичным видом производства. Эксплуатацию оборудования для бурения скважин и нефтегазодобычи следует рассматривать как систему управления показателями качества, обеспечивающими эффективное использование техники, а поддержание ее в работоспособном состоянии позволяет сократить затраты на производственный процесс. В связи со сложной геополитической обстановкой остро встал вопрос изготовления комплектующих для оборудования нефтедобычи. В данной статье рассматривается вопрос применения абразивных паст на основе алмазов детонационного синтеза, изготовленных с использованием отечественной компонентной базы, для производства запорной арматуры, применяемой в нефтедобыче.

Today, the oil industry is a high-tech type of production. The operation of equipment for drilling wells and oil and gas production should be considered as a management system for quality indicators that ensure the efficient use of equipment, and maintaining it in working condition allows reducing the costs of the production

process. Due to the difficult geopolitical situation, the issue of manufacturing components for oil production equipment has become acute. This article examines the issue of using abrasive pastes based on detonation synthesis diamonds, manufactured using domestic components, for the production of shut-off valves used in oil production.

На сегодняшний день головным предприятием в России по производству детонационных алмазов является АО «ГосНИИмаш», которое совместно с ФГБОУ ВО «СамГТУ» ведёт разработки паст и суспензий на основе алмазов детонационного синтеза с целью вытеснения с рынка обрабатываемых материалов, таких крупных зарубежных игроков как Kemet (Великобритания) и др. При этом стоит отметить, что данный процесс является неизбежным, так как одной из основных задач для российского машиностроения является полное импортозамещение иностранных комплектующих.

Целью данной работы было рассмотрение возможности применения разработанных паст на основе алмазов детонационного синтеза для производства запорной арматуры на одном из ведущих российских предприятий (ООО «УЗСА»).

Ближайшими российскими аналогами, применяемыми на данном производстве были пасты отечественных производителей: ООО «ОЭ АЗПИ» АСМ 14/10 НОМ, ООО «Реал-Дзержинск» НОМ 3/2 и НОМ 7/5.

В результате реверсивного инжиниринга было установлено, что связующей основой данных паст являются вещества на основе животных жиров, поэтому, аналогичное вещество российского производства было выбрано для дальнейшей разработки пасты.

При разработке паст были проведены сравнительные испытания по такому важнейшему показателю как абразивная способность. Данные испытания производились согласно методике и на оборудовании, разработанным в условиях ФГБОУ ВО «СамГТУ».

Сравнивались абразивной способности разработанных ФГБОУ ВО «СамГТУ» паст основе алмазов детонационного синтеза производства АО «ГосНИИмаш»: АСМ 14/10 НОМ, АСМ 3/2 НОМ, АСМ 7/5 НОМ с абразивной способностью паст отечественных производителей: ООО «ОЭ АЗПИ» АСМ 14/10 НОМ, ООО «Реал-Дзержинск» НОМ 3/2 и НОМ 7/5.

Схема постановки эксперимента приведена на рисунке 1.

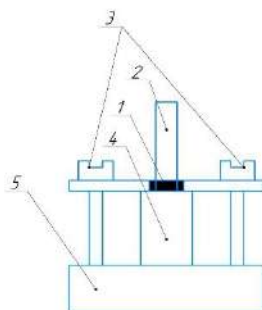


Рис. 1 – Схема сборки для проведения исследования на абразивную способность: 1 – алмазный порошок, смоченный маслом И-12А, 2 – контртело, 3 – шпильки, 4 – ролик, 5 – основание

Ролик обезжиривается при помощи этилового спирта и взвешивается, затем помещается на центр основания сборки и фиксируется на нём при помощи шайбы с отверстием и шпилек. В отверстие шайбы помещается 0,03 грамма алмазной пасты. Запускается вращение контртела и запускается таймер на 20 минут, по истечении данного времени вращение останавливается. После остановки вращения, ролик извлекается из сборки, промывается в этиловом спирте и взвешивается.

Внешний вид образца (ролика) до и после испытаний представлен на рисунке 2.



Рис. 2 – Характерный внешний вид образца (ролика) перед испытаниями (слева) и после испытаний (справа)

Испытания на абразивную способность показали, что значения по данному показателю у паст разработки ФГБОУ ВО «СамГТУ», на основе алмазов детонационного синтеза производства ОА «ГосНИИМаш» выше на 5-10% чем у отечественных аналогов.

Далее разработанные пасты были испытаны в условиях ООО «УЗСА» при операции притирка седла к пробке шаровой DN150. Материалами исполнения данных комплектующих являлся карбид вольфрама.

Промышленные испытания показали высокую производительность разработанных паст при операции притирки, аналогичную показателям зарубежных аналогов, таких как Kemet (Великобритания). Внешний вид седла в процессе притирки к пробке показан на рисунке 3.



Рис. 3 – Процесс притирки седла к пробке шаровой DN150

Результаты исследований, как лабораторных, так и промышленных показывают, что алмазы детонационного синтеза производства АО «ГосНИИМаш» позволяют достигать высокой производительности в процессе механической обработки различных изделий и дальнейшие разработки по их использованию в составе паст и суспензий являются перспективными в целях достижения технологического суверенитета Российской Федерации.

Литература:

1. ГОСТ 9206-80. Порошки алмазные. Технические условия. [Текст] / Введ. 1989-09-21. // М.: Издательство стандартов, 1989 – 55 с.
2. ГОСТ 25593-83. Пасты алмазные. Технические условия. [Текст] / Введ. 1990-03-12. // М.: Издательство стандартов, 1990 – 27 с.
3. *Беляева Е.С., Деморецкий Д.А., Тонеев И.Р., Акопян А.А. (2023): Разработка паст и суспензий на основе алмазов детонационного синтеза*

ПЛАВНО НАСТРАИВАЕМАЯ ЖИДКАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ ЛИНЗА

А.А. Бурдилов¹, Я.В. Ракшун^{2,3}, Ю.В. Хомяков², В.А. Чернов²

¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, burdilov12@gmail.com

²ИЯФ СО РАН, Институт ядерной физики Г.И. Будкера СО РАН, г.
Новосибирск

³СибГУТИ, Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики

Научный руководитель: Ракшун Я.В., к.ф.-м.н.

Рентгеновские методы исследования структуры основаны на широком использовании оптических устройств, позволяющих управлять спектральными и геометрическими характеристиками излучения, падающего на образцы веществ. Одним из таких оптических элементов являются рентгеновские линзы. Однако, использование структурированных материалов для этих линз на современных синхротронах наталкивается на трудности, связанные с теплоотводом (вследствие высокой яркости и малой расходимости СИ), а также с формированием спекл-структур (вследствие высокой доли когерентности СИ). В данной работе представлен вариант рентгеновской линзы с жидким рабочим телом, позволяющим избежать описанных трудностей. Дополнительным преимуществом таких линз является возможность плавной регулировки оптической силы, что необходимо для спектроскопических методов, таких, как XAFS.

X-ray structure research methods are based on the extensive use of optical devices that allow controlling the spectral and geometric characteristics of radiation incident on samples of substances. One of such optical elements are X-ray lenses. However, the use of structured materials for these lenses at modern synchrotrons encounters difficulties related to heat dissipation (due to the high brightness and low divergence of the SI), as well as to the formation of speckle structures (due to the high coherence fraction of the SI). In this paper we present a variant of the X-ray lens with a liquid working body, which allows us to avoid the described difficulties. An additional advantage of such lenses is the possibility of smooth adjustment of the optical power, which is necessary for spectroscopic methods such as XAFS.

Свойства веществ обусловлены их внутренней структурой. Для исследования структуры с характерными межатомными размерами порядка 2 – 3 ангстрем необходим соответствующий инструмент. Таким инструментом является рентгеновское излучение (РИ). Одними из наиболее интенсивных источников рентгеновского излучения являются кольцевые накопители заряженных частиц (по-другому, синхротроны), соответственно, излучение из них называется синхротронным (СИ). При этом одним из важных свойств СИ является его малая угловая

расходимость, что позволяет говорить о распространении коллимированных пучков СИ.

Рентгеновские методы исследования структуры веществ основаны на широком использовании различных оптических устройств, позволяющих управлять спектральными (например, монохроматоры, фильтры, зеркала ПВО) и геометрическими характеристиками излучения (щели, фокусирующие зеркала и линзы). Одним из преимуществ рентгеновских линз по сравнению с зеркалами является сохранение направления оптического пути пучка СИ, что важно для реализации исследований на различных масштабах в одной и той же области образца. Традиционными материалами для таких линз являются бериллий, алюминий [1].

Современные синхротроны генерируют пучки СИ высокой яркости и малой расходимости, обладающих при этом относительно высокой степенью когерентности. Поэтому использование структурированных материалов для рентгеновских линз на современных синхротронах наталкивается на трудности, связанные с теплоотводом, а также с формированием спекл-структур [2], приводящих к пространственному перераспределению интенсивности при изменении энергии падающего излучения. Такое перераспределение интенсивности в пространстве является губительным для спектроскопических методов, таких, как XAFS-спектроскопия. Использование полимерных материалов принципиально позволяет избавиться от спекл-структур, но не решает вопросы тепловой и радиационной стойкости линз.

В качестве альтернативы были предложены жидкие линзы [3], однако в данном случае недостатком является вариация оптической силы линзы в сечении пучка СИ и невозможность плавной регулировки оптической силы при изменении энергии падающего излучения.

В данной работе представлен вариант рентгеновской линзы с жидким рабочим телом, позволяющим избежать описанных трудностей. Формирование профиля линзы осуществляется с помощью тонкостенных стеклянных микрокапилляров, расположенных последовательно. Рабочее тело линзы формируют потоки жидкости, протекающие между микрокапилляров. Дополнительным преимуществом таких линз является возможность плавной регулировки оптической силы путем сдавливания микрокапилляров в поперечном направлении. Изменение кривизны микрокапилляров приводит к изменению кривизны боковых поверхностей потоков жидкости, при этом форма поверхности остается параболической.

Литература:

1. Serebrennikov D., Clementyev E., Semenov A., Snigirev A. Optical performance of materials for X-ray refractive optics in the energy range 8-100 keV // Journal of synchrotron radiation, 2016
2. Lyatun I., Ershov P., Snigireva I., Snigirev A. Impact of beryllium microstructure on the imaging and optical properties of X-ray refractive lenses // Journal of synchrotron radiation, 2019
3. Last A., Gutekunst J., Opolka A., Krug M., Schwitzke C., Koch R., Mohr J. Liquid compound refractive X-ray lens // Optic express, 2020

ВЛИЯНИЕ ГЕКСААЛЮМИНАТА КАЛЬЦИЯ НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМОЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ

Н.Ю. Бурхинова

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

Оценено влияние гексаалюмината кальция на структуру и свойства керамики Al_2O_3 - ZrO_2 - CaO , спеченной при температуре 1520 °С. Формирование гексаалюмината кальция в спеченной керамике приводит к снижению размеров зерен оксида алюминия с 1 мкм до 0,94 мкм, а диоксида циркония с 0,43 мкм до 0,38 мкм. Образуются поры, вследствие чего кажущаяся плотность уменьшается на 5,5% при увеличении содержания $CaAl_2O_9$. С увеличением открытой пористости материала происходит снижение микротвердости на 14,9%. Критический коэффициент интенсивности напряжений вырос с 5 до 5,7 МПа·м^{1/2}.

The influence of the addition of calcium-hexaaluminate on microstructure and properties of Al_2O_3 - ZrO_2 - CaO ceramics sintered at a temperature of 1520 °C is considered. During calcium hexaaluminate is sintered, average grains size of ZrO_2 and Al_2O_3 was decreased. Open porosity increases from 0,7 to 16%, therefore, with increasing the content of $CaAl_2O_9$. Apparent density and microhardness decrease by 5,5% and 14,9%, respectively. Fracture toughness increases from 5 to 5,7 MPa·m^{1/2}.

За счет сочетания высоких прочностных свойств и твердости, химической, термической и коррозионной стойкости, а также бионертности, алюмоциркониевая керамика широко применяется в машиностроении, авиации, строительстве и медицине. В связи с глобальным ростом промышленности требования к современным материалам значительно выросли, а материалы на основе оксидной керамики хрупкие. Так критический коэффициент интенсивности

напряжений (K_{IC}) алюмооксидной керамики не превышает $3,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$. Одним из подходов к повышению трещиностойкости керамики является введение дополнительных добавок, что в свою очередь также влияет на другие свойства материала. В последнее время активно используются гексаалюминаты щелочных металлов, которые за счет эффекта дисперсного упрочнения и пластинчатой структуры препятствуют дальнейшему распространению трещины [1].

Целью настоящей работы является оценка влияния гексаалюмината кальция (CaAl_2O_9) на фазовый состав, структурные изменения, на физические и механические свойства спеченных керамических композитов системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-CaO}$.

В качестве исходных материалов для изготовления алюмоциркониевой керамики с добавлением оксида кальция использовали порошки Al_2O_3 производства Almatiss CT3000 SG чистотой 99,7%, 3Y-ZrO_2 (PSZ-5.5YS, Stanford Materials) и CaO. Компакты получали методом свободного спекания при температуре 1520 C° с предварительным формованием при давлении 100 МПа.

Для анализа фазового состава и структуры керамических композитов системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-CaO}$ были проведены рентгенофазовый анализ с использованием дифрактометра Thermoscientific ARLX'TRA и исследования на растровом электронном микроскопе Merlin (Carl Zeiss). Плотность и пористость материала определяли методом гидростатического взвешивания. Измерение микротвердости по Виккерсу проводили на установке Wolpert Group 402MVD с нагрузкой 0,5 кг. Для определения трещиностойкости методом индентирования при нагрузке 5 кг в качестве индентора служила четырехгранная пирамидка Виккерса. Коэффициент интенсивности напряжений рассчитывали по формуле Ниихары с учетом модуля Юнга.

Известно, что при добавлении различных добавок в керамику изменяется вязкость и кислотность суспензий, поэтому важно определять реологические свойства керамики на первых этапах ее изготовления, чтобы определить при каких соотношениях компонентов система остается стабильной, получение водных суспензий и результаты измерений динамической вязкости и кислотности подробно описаны в предыдущем исследовании [2].

Методом рентгенофазового анализа и электронной микроскопии подтверждено формирование гексаалюмината кальция в процессе спекания, который обладает пластинчатой морфологией (рисунок 1). При оценке влияния гексаалюмината кальция на средние размеры зерен Al_2O_3 и ZrO_2 было установлено, что средний размер зерен Al_2O_3 уменьшается с 1 до 0,94 мкм при увеличении содержания CaAl_2O_9 с 3

до 12 масс.%, что связано с образованием CaAl_2O_9 , для формирования которого расходуется оксид алюминия. Для диоксида циркония размер зерен уменьшился с 0,43 мкм до 0,38 мкм при увеличении содержания гексаалюмината кальция. Пластинчатые зерна преимущественно располагаются вдоль зерен Al_2O_3 и имеют следующие размеры: средняя длина – 1,22 мкм, толщина – 0,51 мкм.

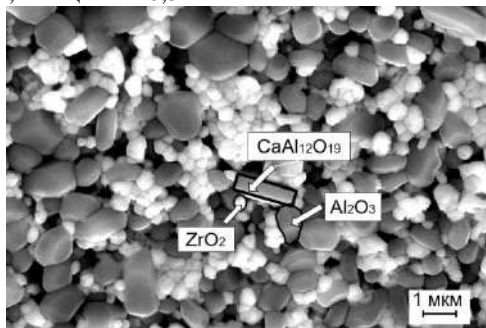


Рис. 1 – Микроструктура алюмоциркониевой керамики с добавлением 12 масс.% CaAl_2O_9

По результатам измерения плотности и пористости керамики $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ с добавлением CaAl_2O_9 , можно сделать вывод, что гексаалюминат кальция негативно влияет на физические свойства керамики. Кажущаяся плотность уменьшается в пределах от 3,47 до 3,29 г/см³, открытая пористость, наоборот, увеличивается в пределах от 0,5 до 1 %.

Гексаалюминат кальция понижает микротвердость алюмоциркониевой керамики с 1700 до 1410 $\text{HV}_{0,5}$, снижение данного параметра связано с увеличением пористости материала. Однако CaAl_2O_9 положительно влияет на трещиностойкость керамики, так критический коэффициент интенсивности напряжений увеличился с 5 до 5,7 $\text{МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ при добавлении 3 масс.% гексаалюмината кальция. Полученные значения согласуются с [4], где авторы получили трещиностойкость керамики системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-CaO}$ равную 5,6 $\text{МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$. За счет пластинчатой морфологии гексаалюмината кальция, которая отклоняет и перекрывает распространение трещины, благодаря чему и повышаются механические свойства, в первую очередь трещиностойкость.

Таким образом, проведенные исследования показали благоприятное влияние гексаалюмината кальция на трещиностойкость алюмоциркониевой керамики. Наилучшие физико-механические характеристики были получены при содержании 3 масс.% гексаалюмината кальция, поэтому при использовании представленной

технологии рекомендуется формировать данное количество $\text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$ в алюмоциркониевой керамики.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП "Структура, механические и физические свойства материалов".

Литература:

1. *Подзорова Л.И.* и др. Керамические композиты на основе Al_2O_3 с высокой устойчивостью к хрупкому разрушению // Неорганические материалы. – 2019. – Т. 55. – №. 6. – С. 671-677.

2. *Бурхинова Н.Ю.* и др. Вязкость суспензии из оксида алюминия с добавлением оксида кальция // Наука Промышленность Оборона. – 2022. – С. 5-8.

3. *Cui, S.* Effect of nickel oxide and titanium oxide on the microstructural, optical, and mechanical properties of calcium hexaaluminate ceramics // Ceramics International. – 2021. – Vol. 47. – №. 24. – P. 35302-35311.

4. *Дмитриевский А.А.* Структура и механические свойства композиционной керамики $\text{CaO-ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ в условиях циклических термических и механических нагрузок. – 2019.

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Д.Н. Ганненко

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

**Научный руководитель: Григорьев Д.Н., к.ф-м.н., доц.,
доц. кафедры ЭФУиУ**

В ИЯФ СО РАН ведется разработка уникального детектора с высокими разрешением и чувствительностью для проведения рентгенографических исследований объектов с большой оптической толщиной. Данная работа посвящена разработке оптимального модуля из сцинтилляционных кристаллов. С этой целью был разработан специализированный стенд для измерения световых выходов и проведены измерения на нем модулей с различными светоотражающими покрытиями. Для обеспечения совмещения кристаллов и волокон была оптимизирована технология изготовления.

The BINP SB RAS is developing a unique detector with high resolution and sensitivity for X-ray studies of objects with large optical thickness. This work is devoted to the development of an optimal module from the scintillation crystals. For this purpose, a specialized stand was developed for measuring light output and

performance of modules with various reflective coatings were measured. The manufacturing technology has been optimized to ensure alignment between crystals and fibers.

Рентгенография – исследование внутренней структуры объекта при помощи рентгеновских лучей. Схема рентгенографии представлена на рисунке 1 [1].

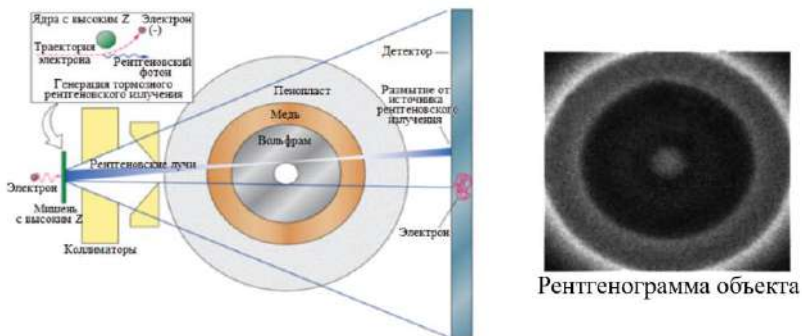


Рис. 1 – Схема рентгенографии.

Традиционно для проведения рентгенографических исследований используется метод, в котором свет со сцинтилляционного конвертора передается на матричный фотоприемник при помощи объективов. Основным недостатком данного метода является малая величина сбора светового сигнала, которая составляет не более 0,2% [2]. Замена традиционной оптической системы на полимерные оптические волокна позволила увеличить величину сбора света $O(100)$ (Рисунок 2).

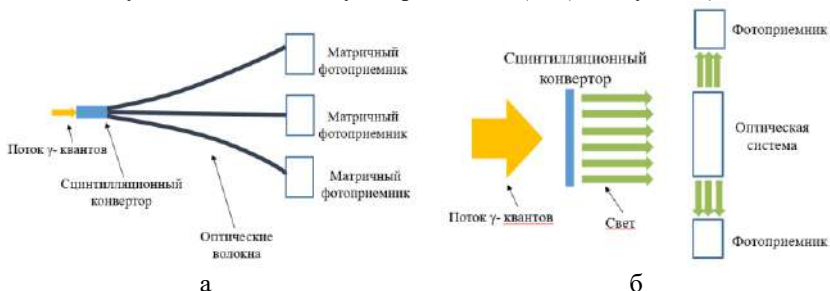


Рис. 2 – а) Схема традиционного метода;
б) Схема метода при помощи волоконной оптики.

Принцип работы детектора показан на рисунке 3. Основной идеей является сбор светового сигнала с торца матрицы сцинтилляционных

кристаллов при помощи волоконной оптики. Один конец оптических волокон крепится к матрице сцинтилляционных кристаллов, другой конец оптических волокон в равных долях распределен по трем матричным фотоприемникам. Это позволяет избежать потери информации в случае повреждения отдельного волокна или оптического контакта с ним.

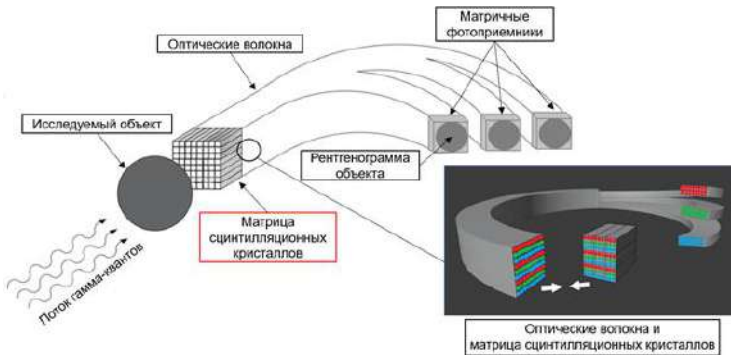


Рис. 3 – Принцип работы детектора высокого разрешения.

В детекторе предполагается использовать кристаллы LYSO с поперечным сечением $1,5 \times 1,5 \text{ мм}^2$ и длиной не менее 20 мм. Для кристаллов с большим отношением длины к поперечному сечению, характерна сильная зависимость величины световыхода от типов светоотражающих покрытий [3], а также возможное появление значительной неоднородности светового сигнала в зависимости от точки высвечивания гамма-квантов. Ещё одной проблемой является то, что для обеспечения необходимой контрастной чувствительности переход света в соседние каналы должен быть не более 0,1%. Для этого требуется высокая точность позиционирования кристаллов, которую сложно обеспечить.

Традиционно для увеличения светового сигнала используется покрытие из одного слоя тефлона (76 мкм) и одного слоя алюминия (7 мкм), а также слой клея (10 мкм). Но в маленьких кристаллах это приводит к большой потери света, поэтому для увеличения эффективности нужно максимально увеличить эффективную площадь. В работе была посчитана эффективная доля сигнала в зависимости от типа светоотражающего покрытия. Эти расчеты показали, что использование только алюминиевого покрытия увеличивает эффективность регистрации на 25% за счет увеличения эффективной площади сечения кристалла.

Для измерения величины световыхода был разработан стенд с использованием рентгеновской трубки (Рисунок 4). На этом стенде был исследован световыход сцинтилляционных кристаллов LYSO длиной 50 мм в зависимости от точки взаимодействия гамма-квантов

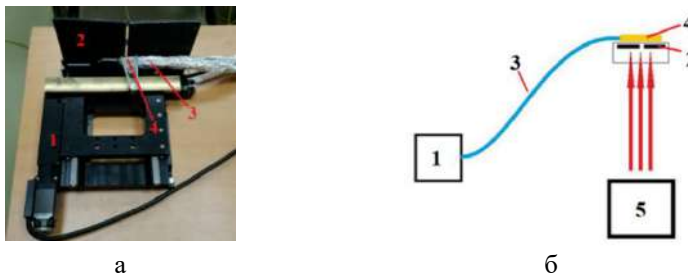


Рис. 4 – Стенд для измерения световыхода:

- а) Фото стенда: 1 – подвижный стол 8MTF-75LS05; 2 – свинцовые пластины коллимации; 3 – оптоволоконный жгут; 4 – место крепления кристалла; б) Схематичное изображение стенда: 1 – камера GSENSE2020 - Gpixel; 2 – свинцовые пластины коллимации; 3 – оптоволоконный жгут; 4 – сцинтилляционный кристалл; 5 – рентгеновская трубка.

Проведенные измерения показали, что величина световыхода практически не зависит от точки взаимодействия гамма-квантов с кристаллом, что позволяет увеличить длину кристалла с традиционных 20 мм до 50 мм. В результате можно увеличить эффективность регистрации больше, чем в 2 раза. А также было показано, что использование алюминиевой фольги в качестве светоотражающего покрытия уменьшает световой сигнал всего на 27% в сравнении с тефлоновым и алюминиевым покрытием, но при этом эффективность регистрации увеличивается на 25% за счет увеличения эффективной площади сечения кристаллов, поэтому принято решение использовать в качестве покрытия алюминий (Рисунок 5).

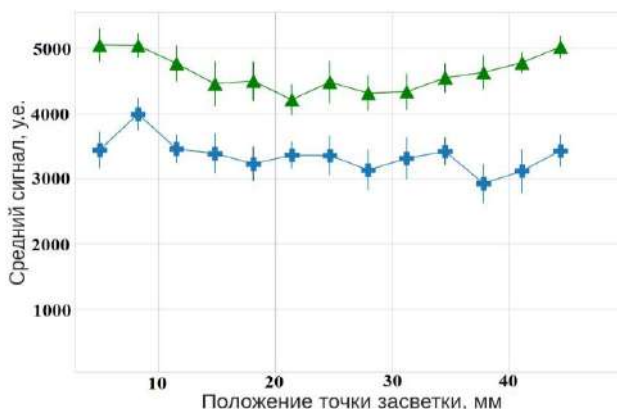


Рис. 5 - Зависимости световыхода от места взаимодействия гамма-квантов для кристаллов длиной 50 мм: Треугольники - LYSO со светоотражающим покрытием из тефлона и алюминия (среднее = 4558,26); Крестики - LYSO со светоотражающим покрытием из алюминия (среднее = 3346,0).

Для совмещения кристаллов и волокон требуется высокая точность изготовления. Были изготовлены по различным технологиям 2 модуля кристаллов. На основании проведенных измерений геометрических параметров модулей сцинтилляционных кристаллов была выбрана оптимальная технология изготовления.

Литература:

1. *Cunningham G. S., Morris C.* Flash Radiography. Historical Origins // Los Alamos Science. – 2003. – nr 28. – P. 76–91.
2. *Partouche-Sebban D., Abraham I., Lauriot S., and Missault S.* Multi-MeV Flash Radiography in Shock Physics Experiments: Specific Assemblages of Monolithic Scintillating Crystals for Use in CCD-Based Imagers // X-Ray Optics and Instrumentation. – 2010. – Vol. 2010. – P. 1–9.
3. *Zhiming Ji, Haihong Ni, Lanying Yuan, Junfeng Chen, Shaohua Wang.* Investigation of optical transmittance and light response uniformity of 600-mm-long BGO crystals // Nuclear Instruments and Method in Physics Research. – 14 March 2014. – A753. – P.143–148.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ Ni3Al, ПОЛУЧЕННЫХ ПЛАЗМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

В.В. Головахин, Е.Е. Корниенко

Новосибирский государственный технический университет

г. Новосибирск, golovaxin-valera@mail.ru

Научный руководитель Смирнов А.И. к.т.н., доцент

В данной работе исследуется структура и свойства интерметаллидных покрытий системы Ni-Al. Покрытия Ni3Al обладают высокой жаростойкостью и прочностью, но при этом характеризуются высокой хрупкостью и низкой трещиностойкостью. На показатели жаростойкости большое влияние оказывает пористость материала, которая зависит от характеристик метода нанесения покрытий. В настоящей работе изучается влияние скорости охлаждения на структуру и свойства покрытий Ni3Al, полученных различными методами: атмосферным плазменным напылением (APS) и сверхзвуковым плазменным напылением (HV-APS). Методы исследования покрытий: оптическая микроскопия, рентгенофазовый анализ, а также измерение микротвердости и жаростойкости. Полученные результаты показывают, что HV-APS-покрытия обладают меньшей пористостью и микротвердостью, а также лучшими характеристиками при высокотемпературном окислении по сравнению с APS-покрытиями.

This paper investigates the structure and properties of intermetallic coatings of the Ni-Al system. Ni3Al coatings have high heat resistance and strength, but are characterized by high brittleness and low crack resistance. The heat resistance performance is strongly influenced by the porosity of the material, which depends on the characteristics of the coating method. In the present work, the influence of cooling rate on the structure and properties of Ni3Al coatings obtained by different methods: atmospheric plasma spraying (APS) and supersonic plasma spraying (HV-APS) is studied. The methods used to investigate the coatings are optical microscopy, X-ray phase analysis, and measurement of microhardness and heat resistance. The results show that HV-APS coatings have lower porosity and microhardness, as well as better high-temperature oxidation performance compared to APS coatings.

В настоящее время применение функциональных интерметаллидных покрытий систем Ti-Al, Fe-Al, Ni-Al является перспективным ввиду улучшения комплекса свойств покрываемого материала [1]. Например, интерметаллидные покрытия Ti3Al характеризуются высокой жаростойкостью [2], Fe3Al – высокой прочностью [3], а Ni3Al – и высокой жаростойкостью, и приличными прочностными характеристиками [4]. Однако, большинство подобных покрытий характеризуются высокой хрупкостью и низкой трещиностойкостью, что можно связать с условиями их нанесения: высокими скоростями

напыления и охлаждения, которые реализуются при использовании APS и высокоскоростного газотермического напыления (HVOF/HFAV), Использование этих методов оправдано тем, что полученные слои имеют низкую пористость, что, в свою очередь, положительно сказывается на их жаростойкости.

В данной работе рассматривается влияние скорости охлаждения на структуру и свойства покрытий Ni₃Al, полученных APS (скорость охлаждения 247 м/с) и в качестве новизны работы будет проведено сравнение HV-APS-покрытиями (скорость охлаждения 478 м/с). В таблице 1 представлены данные о режимах напыления.

Таблица 1. Режимы напыление

Режим напыления	APS	HV-APS
Диаметр сопла, мм	8	6
Расход газа: плазмообразующий (общий), г/с	3,0 (5,25)	5,0 (8,75)
Ток / напряжение дуги, А / В	200 / 220	200 / 350
Дистанция напыления, мм	170	170
Скорость частиц, м/с	247 ± 56	478 ± 84
Температура частиц, °С	2270 ± 280	2077 ± 160
Диаметр пятна напыления, мм	14,7	9,6

При помощи оптической микроскопии (ОМ) было показано, что пористость APS-покрытий, значительно выше, чем HV-APS-покрытий, 15 % и 5,4 %, соответственно (рисунок 1). Стоит также отметить, что граница раздела между покрытиями и основным металлом отличается: она практически не различима на HV-APS-покрытиях и четко прослеживается на APS-покрытиях.

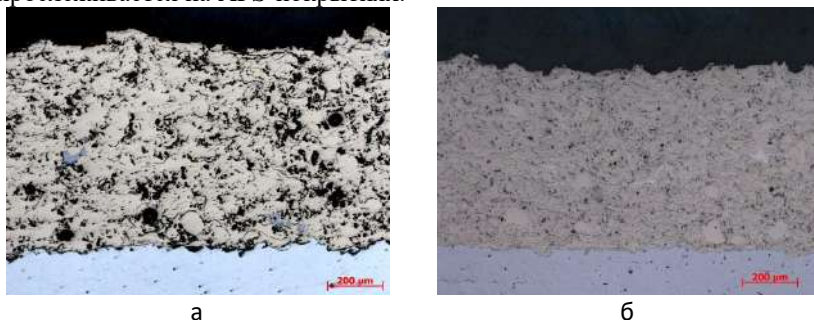


Рис.1 – Изображения покрытий, полученных разными методами:
а) APS, б) HV-APS

Согласно данным рентгенофазового анализа, фазовый состав обоих покрытий идентичен: было показано наличие двух фаз (таблица 2).

Подробные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2. Сводная таблица экспериментальных данных

Метод нанесения покрытия	Средний размер пор, мкм	Фазовый состав	Микротвердость покрытия, HV
APS	15	Ni ₃ Al, Ni ₃ Al ₅	470
HV-APS	5,4		303

Среднее значение микротвердости HV-APS-покрытий составляет 303 HV, а APS-покрытий – 470 HV. Разница в значениях, вероятно, связана с большим количеством более твердых фаз β' - и Ni₅Al₃ в APS-покрытия. При этом следует отметить, что более низкие значения пористости у HV-APS-покрытий способствовали получению более высоких результатов при высокотемпературном окислении. Доля окисленного материала при нагреве до 1000 °C оказалась почти в 5 раз меньше, чем в покрытиях, полученных APS методом.

Таким образом, было показано, что увеличение скорости напыления (HV-APS метод) обеспечивает получение более плотных слоев, характеризующихся более высокой стойкостью к окислению при температурах до 1000 °C.

Литература:

1. Ковтунов, А.И. Интерметаллидные сплавы: электронное учебное пособие / А.И. Ковтунов, С.В. Мямин. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018.
2. Liu, S.-G., Wu, J.-M., Zhang, S.-C., Rong, S.-J., & Li, Z.-Z. High temperature erosion properties of arc-sprayed coatings using various cored wires containing Ti–Al intermetallics. *Wear*, 262(5-6), 555–561. doi:10.1016/j.wear.2006.06.021
3. Durejko, et. all. Structure and properties of the Fe 3 Al-type intermetallic alloy fabricated by laser engineered net shaping (LENS). // *Durejko, T., Ziętała, M., Łazińska, M., Lipiński, S., Polkowski, W., Czujko, T., & Varin, R. A. Materials Science and Engineering: A*, 650, 374–381. doi:10.1016/j.msea.2015.10.076
4. Косицын С. В., Косицына И. И. Фазовые и структурные превращения в сплавах на основе моноалюминида никеля [Текст] / Косицын С. В., Косицына И. И. // *Успехи физ. мет.* – 2008. – № 9. – С. 195-258.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ РЕАКЦИОННОГО ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ НА СВОЙСТВА КЕРАМИКИ В₄С-СrВ₂

Д.В. Дик^{1,2}, Т.С. Гудыма¹, А.А. Филиппов²

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт теоретической и прикладной механики им.

С. А. Христиановича СО РАН,

г. Новосибирск, dickdmit@yandex.ru

Получены керамические композиционные материалы на основе В₄С с содержанием СrВ₂ 0-30 мол. %. Метод получения – горячее прессование одновременно с химической реакцией. Синтез СrВ₂ уплотнил В₄С за счет образования эвтектической жидкой фазы СrВ₂-В₄С. Относительная плотность всех составов независимо от времени выдержки больше 90%. Получена зависимость относительной плотности от концентрации СrВ₂ и от времени выдержки на температуре 2000 °С и усилие пресса 17.5 МПа.

Ceramic composite materials based on В₄С with СrВ₂ content of 0-30 mol% were obtained. The method of obtaining was hot pressing simultaneously with chemical reaction. СrВ₂ synthesis compacted В₄С due to the formation of eutectic liquid phase СrВ₂-В₄С. The relative densities of all compositions regardless of soaking time are greater than 90%. The dependence of relative density on СrВ₂ concentration and on holding time at temperature 2000 °С and press force 17.5 МПа was obtained.

Сочетание высокой температуры плавления, высокой прочности и твердости, износостойкости, жаростойкости и химической инертности делает керамику на основе карбида бора привлекательным материалом для многочисленных применений [1]. Однако формовать такую керамику достаточно сложно, и получаемые материалы имеют низкую вязкость разрушения.

В мировой практике идет поиск решений, позволяющих синтезировать высокоплотную керамику на основе карбида бора с минимальной потерей твердости и одновременной максимальным повышением трещиностойкости.

Предлагаемый в данной работе способ – горячее прессование шихты прессование шихты из В₄С, Сг₂О₃ и нановолокнистого углерода с протеканием реакции карбидоборного восстановления оксида хрома в присутствии углеродного материала.

Шихты для изготовления керамики предложенным методом предварительно смешивали в стехиометрических коэффициентах, дробили в шаровой мельнице и прессовали на компактном лабораторном горячем прессе (КТИ НП СО РАН, Россия) при параметрах меньше промышленных для формования карбида бора. Максимальное давление прессования – 17,5 МПа, максимальная

температура – 2000 °С, время выдержки на максимальных параметрах в атмосфере аргона – 0-15 минут.

Для определения элементного состава образцов был проведен энергодисперсионный анализ. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Весовой состав образцов от мол.% CrB₂

Элемент	Массовый доля CrB ₂ , %					
	5	10	15	20	25	30
В	80.25	75.86	79.76	72.68	77.36	70.86
С	17.50	19.01	17.31	16.43	16.20	16.58
О	0.17	0.80	0.20	2.24	0.61	1.00
Cr	2.08	4.33	2.73	8.65	5.82	11.56
Cr _{теор.}	1.59	3.27	5.07	6.97	9.00	11.16

Температуры, требуемые для спекания карбида бора, так же способствуют его разложению и возгонке простых С и В, с уменьшением массы образца и нарушению стехиометрии. Данные условия способны сильно изменить физико-механические свойства получаемых материалов. Однако экспериментальные данные по массовому содержанию хрома хорошо сходятся с теоретическими, что позволяет сделать вывод о предотвращении возгонки при горячем прессовании одновременно с небольшим временем выдержки.

На рисунке 1 приведены снимки растровой электронной микроскопии (РЭМ) образцов керамических материалов, синтезированных при разном составе шихты.

Чистый карбид бора при выбранных мягких параметрах спекания формируется плохо, видно множество пор с большим диапазоном их размеров. Значение кажущейся пористости этого образца равно 24%.

Кажущаяся пористость всех образцов с добавкой CrB₂ составляет 13-17%. Размер пор растет с концентрацией спекающей добавки, это связано с ростом количества выделяющихся газообразных продуктов реакции.

Видно равномерное распределение фазы диборида хрома по всему объему образца. Средний размер зерен этой фазы для составов 5-10, 15-20 и 25-30 мол.% CrB₂ равен соответственно 2, 3 и 4 микромметра. С увеличением концентрации добавки растет средний размер ее зерен и уменьшается диапазон их размеров.

Плотность образцов измерена методом гидростатического взвешивания. Найдены зависимости плотности от концентрации CrB₂, представлена на рисунке 2 (а), и от времени выдержки при максимальных параметрах, представлена на рисунке 2 (б). Все значения больше 90%, что говорит о достаточности условий горячего прессования для обеспечения спекания. Плотность монотонно

уменьшается при повышении концентрации CrB_2 и при увеличении времени выдержки.

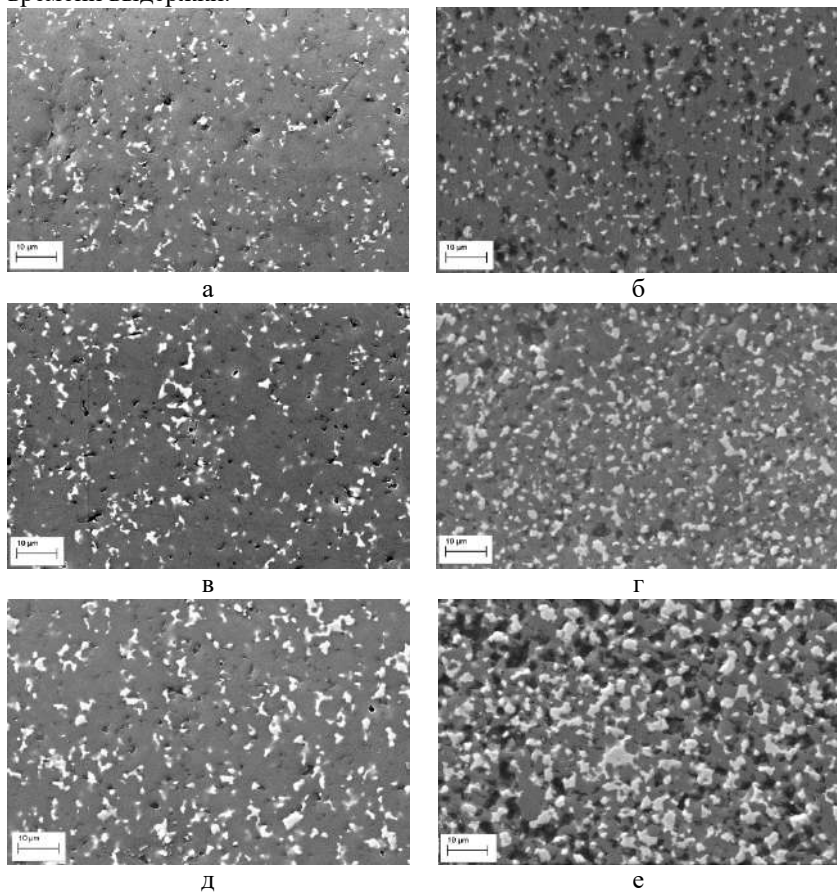


Рис. 1 – Снимки РЭМ керамических материалов $\text{W}_4\text{C-CrB}_2$ синтезированных для составов, мол.% CrB_2 : 5 (а), 10 (б), 15 (в), 20 (г), 25 (д), 30 (е)

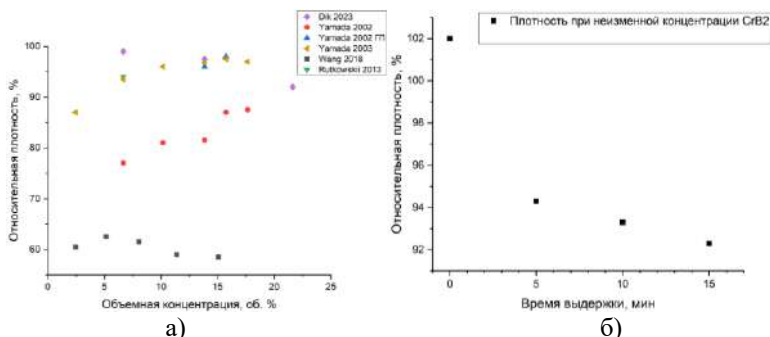


Рис. 2 – Зависимость плотности керамики V_4C-CrB_2 : а) от концентрации CrB_2 в сравнении с другими методами формирования [2-4] б) от времени выдержки при концентрации CrB_2 равной 20 мол.%

Найдена методом наноиндентирования пирамидкой Виккерса зависимость трещиностойкости от концентрации CrB_2 . Она представлена и сравнена с другими методами получения идентичной керамики на рисунке 3. Ее значение получено по формуле Ниихары:

$$K_{1c} = 0.048 \cdot \left(\frac{l}{a}\right)^{-0.5} \cdot \left(\frac{H_v}{E\Phi}\right)^{-0.4} \cdot \frac{H_v \cdot a^{0.5}}{\Phi}, \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0.5} \quad (1)$$

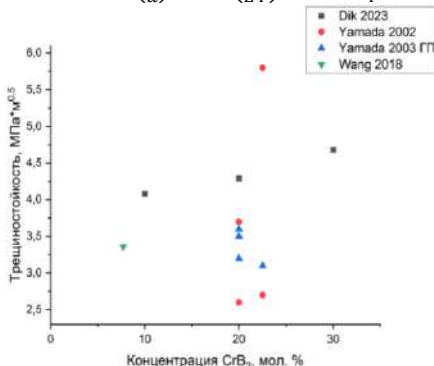


Рис. 3 – Зависимость трещиностойкости керамики V_4C-CrB_2 от концентрации CrB_2

Исследована микроструктура полученной по предложенному методу керамики. Получены зависимости плотности и трещиностойкости от содержания пластичной фазы, а также зависимость плотности от времени выдержки.

Литература:

1. Thévenot F. Boron carbide-A comprehensive review // Journal of the European Ceramic Society. - 1990. – V. 6, N 4. - P. 205–225.

2. Sintering behavior of B_4C-CrB_2 ceramics / S. Yamada, K. Hirao, Y. Yamauchi, S. Kanzaki // J. Mater. Sci. Lett. - 2002. - V. 21. - P. 1445–1447.
3. $B_4C - CrB_2$ composites with improved mechanical properties / S. Yamada, K. Hirao, Y. Yamauchi, S. Kanzaki // J. Eur. Ceram. Soc. - 2003. - V. 23. - P. 561–565.
4. Effect of in-situ formed CrB_2 on pressureless sintering of B_4C / S. Wang, P. Xing, S. Gao W. Yang, Y. Zhuang, Z. Feng. // Ceramics International. – 2018. – Vol. 44. – P. 20367-20374.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ

В.А. Долгова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, veronika.dolgova19@gmail.com

Научный руководитель: Рябинкина П. А.

Покрытия на основе меди были сформированы методом детонационного напыления. Структура покрытий исследована с использованием оптической микроскопии. Определено влияние добавления хрома в механическую смесь для напыления на механические свойства формируемых покрытий.

Copper-based coatings were formed using detonation spraying. The coatings' microstructure was investigated using optical microscopy. The influence of chromium addition to the spraying powder blends on the mechanical properties of the obtained coatings was evaluated.

Покрытия используются для придания необходимых свойств поверхностным слоям материалов деталей и изделий. Экономическая целесообразность покрытий состоит в том, что расход материалов при нанесении покрытия меньше, чем при формировании монолитного изделия. Использование более дешевого материала в качестве подложки также снижает стоимость конечного продукта. Одним из способов нанесения покрытия является детонационное напыление.

Принцип работы установок для детонационного напыления покрытий заключается в нагреве и разгоне порошковых частиц с использованием энергии взрыва. Продукты детонации, нагретые до 3500-4500 К, и газ-носитель, нагретый от взрывной волны до 1000-1500 К, движутся со сверхзвуковой скоростью [1]. Покрытия, сформированные данным методом, характеризуются высокими

значениями плотности и твердости, низкой пористостью. С использованием детонационного напыления можно наносить покрытия из различных материалов, включая металлы, керамику и их комбинации.

В данной работе для формирования покрытий на основе меди был использован детонационный комплекс ССДС2000 [2]. Длина и диаметр ствола установки составляли 1000 мм и 20 мм, соответственно. Дистанция напыления во всех экспериментах была одинаковой и равнялась 150 мм. В качестве напыляемых материалов были использованы порошки меди и хрома с размерами частиц 20-40 мкм. Из данных порошков были подготовлены механические смеси с различным соотношением меди и хрома – 50/50, 65/35, 75/25 масс. %, также были получены покрытия только из медного порошка. Напыление проводили на стальные и медные подложки. Для нагрева и разгона порошковых частиц была использована смесь кислорода и ацетилена в эквимолярном соотношении. Доля заполнения ствола взрывчатой смесью во всех экспериментах составляла 60 % от общего объема ствола.

Для исследования сформированных покрытий были подготовлены микрошлифы. Подготовка микрошлифов проводилась по стандартной методике, которая включает операции шлифования с использованием абразивных бумаг, а также полирования с применением суспензии на основе оксида алюминия.

Микроструктуру исследовали с использованием оптического микроскопа Carl Zeiss Axio Observer A1m. Микротвердость материалов оценивали на полуавтоматическом микротвердомере Wolpert Group 402 MVD при нагрузке на индентор 0,3 кг.

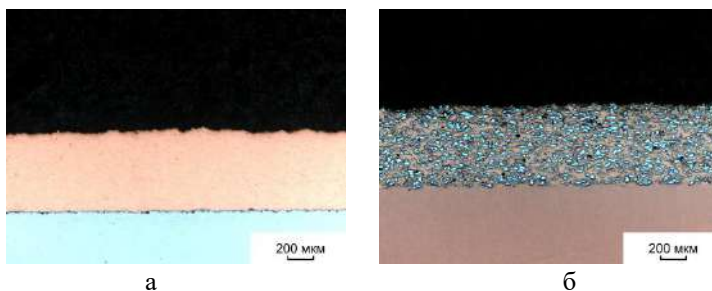


Рис. 1 – Структура покрытий, сформированных из порошка меди (а) и механической смеси порошков меди и хрома, взятых в соотношении 50/50 (б)

По результатам проведенного микроструктурного анализа было выявлено, что в структуре полученных покрытий отсутствуют дефекты

в виде трещин, крупных пор, расслоений. Частицы хрома в покрытиях, полученных при детонационном напылении механических смесей, распределены равномерно.

Для оценки механических свойств сформированных материалов были проведены измерения их микротвердости. Результаты измерений представлены на рисунке 2. Как видно из диаграммы, твердость покрытия из меди выше, чем у меди, использованной в качестве подложки. Добавление хрома приводит к дальнейшему увеличению твердости, при этом чем в большем количестве добавлен хром в напыляемую смесь, тем выше твердость сформированного материала.

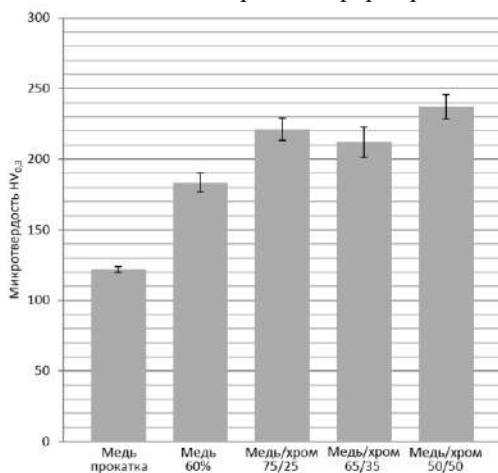


Рис. 2 – Микротвердость покрытий на основе меди, полученных детонационным напылением

Таким образом, с использованием детонационного напыления были получены покрытия из порошка меди и механических смесей меди и хрома с различным содержанием в них хрома. Покрытия характеризуются высокой плотностью, низкой пористостью, трещины и расслоения отсутствуют. Добавление хрома в механическую смесь привело к повышению твердости формируемых покрытий.

Исследования проведены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов» НГТУ.

Литература:

1. Computer-Controlled Detonation Spraying: FlexibleControl of the Coating Chemistry and Microstructure / V. Ulianitsky, D. Dudina, A. Shtertser, I. Smurov// Metals. – 2019. – P. 1-22. – doi: 10.3390/met9121244

2.Computer-controlled detonation spraying: from process fundamentals toward advanced applications / V. Ulianitsky, A. Shtertser, S. Zlobin, I. Smurov // Journal of Thermal Spray Technology. – 2011. – Т. 20. – P. 791-801. – doi: 10.1007/s11666-011-9649-6

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 12Х18Н9Т МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЧАСТИЦАМИ Cr И В

А.А. Дударева, Е.Г. Бушуева

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, dudareva-alina@mail.ru**

Научный руководитель: Бушуева Е. Г., к.т.н., доцент

В данной работе для формирования боридных частиц на поверхности стали 12Х18Н9Т применялся метод вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей Cr и В. Упрочнённая частицами боридов хрома сталь подвергалась горячей пластической деформации с разной степенью обжатия. Структурные исследования подтвердили деформацию и разрушение боридных частиц в пластичной матрице. Кроме того, в работе приведен анализ данных дюрометрических испытаний образцов.

In this work, the boride coating on the surface of stainless steel by the non-vacuum electron beam treatment was used. Strengthened steel by hot plastic deformation with varying degrees of compression were carried out. Surface structure and boride particles destruction in the plastic layer were shown. In addition the durometric test data of the samples were analyzed.

В области нефтегазовой промышленности, хромоникелевая аустенитная сталь активно используется для производства полых деталей, которые имеют цилиндрическую форму. Особенно востребованы такие изделия, как трубы и компоненты насосов. Использование данного вида стали при производстве ответственного оборудования связано с ее высокой коррозионной стойкостью, пластичностью, высокой вязкостью разрушения, свариваемостью. Важным фактором является защита внутренней поверхности этих деталей от агрессивных и абразивных воздействий. Решение этой проблемы заключается в нанесении модифицированных слоев, обладающих высокой коррозионной стойкостью, адгезией и износостойкостью. Создание труб с упрочненным внутренним модифицированным слоем является сложным техническим решением для решения которого, необходимо сформировать листовые заготовки с

упрочненным поверхностным слоем и последующее изготовление из них сварных труб [1-4].

В качестве перспективного метода модифицирования поверхностного слоя применялась наплавка порошковых смесей пучком релятивистских электронов, выведенным в воздушную атмосферу. Вневакуумная электронно-лучевая осуществлялась на ускорителе электронов промышленного типа ЭЛВ-6 ИЯФ СО РАН им. Г.И. Будкера. В качестве упрочняемого материала использовали сталь 12Х18Н9Т. Наплавляемая порошковая смесь состояла из 30 мас. % порошка аморфного бора, 10 мас. % хрома и 60 мас. % флюса MgF_2 .

После упрочнения методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки, полученные образцы подвергались процедуре горячей и холодной пластической деформации со степенью обжатия до 70 и 90 %, соответственно. Разница в размерах после горячей и холодной деформации обусловлена разными физическими процессами, которые происходят в материале при рабочих температурах прокатки. Горячая деформация способствует росту и рекристаллизации зерен, что приводит к увеличению их размеров. В то же время, холодная деформация приводит к сжатию и изменению структуры материала без рекристаллизации, что приводит к уменьшению размеров образцов. Горячую пластическую деформацию проводили при температуре 950 °С, холодную - 350 °С. Шаг деформации составлял 5 %.

Для образцов после горячей и холодной пластической деформации наблюдается уменьшение габаритных размеров по ширине в 1,5 и 8 раз для модифицированного слоя и в 3,4 и 8,4 раза для всего образца, соответственно.

Результаты дюрометрических испытаний полученных материалов показали, что микротвердость образцов полученных после горячей пластической деформации составляет – 630 $HV_{0,1}$, после холодной – 510 $HV_{0,1}$. Микротвердость основного металла 12Х18Н9Т – 200 HV .

Структура модифицированных слоев после пластической деформации характеризуется плотно расположенными боридами. Однако, наблюдается разрушение прочных частиц боридов с образованием трещин, расслоений, ступенек. Горячая пластическая деформация ведет к частичному диффузионному растворению боридов (рис. 1а).

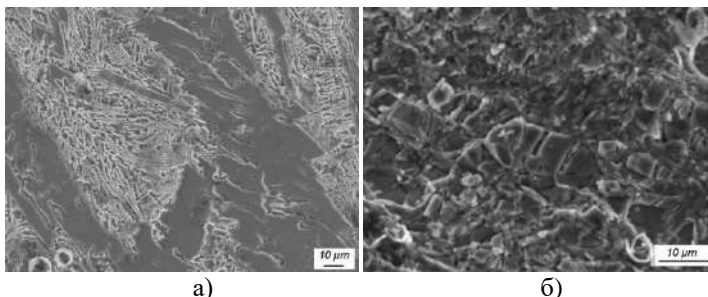


Рис. 1 – микроструктура модифицированных слоев после: а - горячей пластической деформации; б - холодной пластической деформации

Холодная пластическая деформация ведет к образованию хрупкого камневидного излома между основным металлом и модифицированным слоем по переходному слою (рис. 1б).

Таким образом, после горячей и холодной пластической деформации габаритные размеры образцов значительно уменьшились. Микротвердость после пластической деформации выше, чем у основного металла, что свидетельствует о повышении прочности модифицированных слоев за счет плотно расположенных боридных частиц.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП "Структура, механические и физические свойства материалов"

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием Минобрнауки России (проект FSUN-2023-0009)

Литература:

1. Калашикова Т. А., Чумаевский А. В., Филиппов А. В. Механические свойства стали 12Х18Н9Т, полученной методом электронно-лучевой наплавки //Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций. – 2018. – С. 154-154.
2. Santana D. A. et al. Wear-resistant boride reinforced steel coatings produced by non-vacuum electron beam cladding //Surface and Coatings Technology. – 2020. – Т. 386. – С. 125466.
3. Bataev I. A. et al. Non-vacuum electron-beam boriding of low-carbon steel //Surface and Coatings Technology. – 2012. – Т. 207. – С. 245-253.
4. Bushueva E. G. et al. Raising the resistance of chromium-nickel steel to hydroabrasive wear by non-vacuum electron-beam cladding with boron //Metal Science and Heat Treatment. – 2019. – Т. 60. – С. 641-644.

СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-CeO}_2$ КЕРАМИКИ

Ю.О. Зобова, К.А. Антропова

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Julia.makkol@mail.ru

В данной работе исследована структура и фазовый состав алюмоциркониевых керамических материалов с содержанием CeO_2 от 0 до 3,56 %, полученных по технологиям свободного спекания и горячего прессования. Методом рентгенофазового анализа установлено, что в спеченных образцах по технологии горячего прессования образуется пластинчатое соединение – $\text{CeAl}_{11}\text{O}_{18}$.

In this article, the structure and phase composition of alumina-zirconia ceramics s with a CeO_2 content from 0 to 3,55 wt. % obtained by free sintering and hot pressing technologies are investigated. Using X-ray phase analysis, it was found that a platelets compound, $\text{CeAl}_{11}\text{O}_{18}$, is formed in sintered samples using the hot pressing technology.

Материалы на базе оксида алюминия и диоксида циркония, и их смесей в настоящее время вызывают особый интерес у специалистов в области разработки и изготовления конструкционной и функциональной (био) керамики. Рассматриваемая конструкционная керамика привлекательна изготовителям доступностью и высоким комплексом механических качеств. Так, алюмооксидная керамика обладает лучшими показателями таких свойств как твердость и износостойкость среди иных конструкционных материалов, а диоксидциркониевая керамика включает в себя высокие характеристики прочности и трещиностойкости [1-4].

В литературе описаны эффективные методы повышения твердости и трещиностойкости оксидной керамики за счет формирования пластинчатых соединений в спеченных керамических материалах. Например, в работе [5] суспензию приготавливали из алюмоциркониевой керамики, далее для формирования пластинчатого соединения $\text{CeAl}_{11}\text{O}_{18}$ в суспензию вводили порошок CeO_2 . Было выявлено, что образование пластин $\text{CeAl}_{11}\text{O}_{18}$ привело к повышению трещиностойкости, твердости по Виккерсу, материалы обладали низким процентом пористости.

В другом исследовании [6] к суспензии алюмоциркониевой керамики для получения гексаалюмината кальция, добавляли 3% СаО. Наличие гексаалюмината было подтверждено рентгенофазовым анализом. Материал обладал высокими прочностными показателями.

Для проведения исследований важно определить технологию спекания, в результате которой материал будет иметь наиболее высокий показатель трещиностойкости. Была поставлена цель данной работы: оценить влияние технологии спекания на структуру и фазовый состав алумоциркониевой керамики с добавлением 0-3,56 масс.% CeO₂.

В качестве исходных материалов использовались субмикронные высококислотные порошки α-Al₂O₃ и ZrO₂, CeO₂. В таблице 1 представлены составы материалов анализируемых серий.

Таблица 1 – Составы образцов экспериментальных серий системы Al₂O₃-ZrO₂-CeO₂

№	Химический состав материала, масс. %
1	50% Al ₂ O – 50%ZrO ₂
2	49,29% Al ₂ O – 50%ZrO ₂ – 0,71% CeO ₂
3	48,58% Al ₂ O – 50%ZrO ₂ – 1,42% CeO ₂
4	47,86% Al ₂ O – 50%ZrO ₂ – 2,14% CeO ₂
5	47,15% Al ₂ O – 50%ZrO ₂ – 2,85% CeO ₂
6	46,44% Al ₂ O – 50%ZrO ₂ – 3,56% CeO ₂

Проводили диспергирование суспензий в шаровой мельнице. При получении материалов методом свободного спекания подготавливали гранулированные порошки, которые в последующем прессовали при давлении 100 МПа. Свободное спекание проводили в воздушной атмосфере в трубчатой печи ПТ 1700 при температуре 1520 °С в течение 2 часов;

Также получали материалы одноосным горячим прессованием в защитной атмосфере аргона с использованием лабораторного пресса Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН в графитовой пресс-форме при температуре 1520 °С в течение 20 минут. Перед спеканием подготовленные порошки отжигали при температуре 900 °С для испарения органических примесей, в том числе, диспергатора.

На рисунке 1 представлена микроструктура керамики Al₂O₃-ZrO₂-CeO₂, спеченной при 1520 °С свободным спеканием. Микрофотографии были получены на РЭМ. На рисунке 1 видны светлые участки – оксид алюминия, а темные зерна представляют собой диоксид циркония.

Образцы, спеченные по технологии горячего прессования, имели в структуре пластины с вытянутой формой, что говорит о формировании гексаалюмината церия в керамическом материале. Данный факт подтверждается результатами рентгенофазового и микрорентгеноспектрального анализа.

С помощью рентгенофазового анализа было выявлено, что в спеченных материалах по технологии горячего прессования формировалось соединение $\text{CeAl}_{11}\text{O}_{18}$, а также присутствуют такие фазы как $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, $t\text{-ZrO}_2$, $m\text{-ZrO}_2$, $c\text{-ZrO}_2$.

При свободном спекании рентгенофазовый анализ выявил следующие фазы: $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, $t\text{-ZrO}_2$.

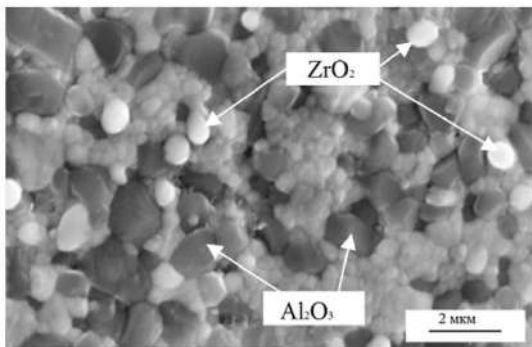


Рис.1 – Структура керамики $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-CeO}_2$, спеченной при 1520 °C

Таким образом, в данной работе был проведен анализ микроструктуры и фазовый состав керамики $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-CeO}_2$ спеченной по двум технологиям. Было установлено, что при горячем прессовании образовался гексаалюминат церия.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП "Структура, механические и физические свойства материалов"

Литература:

1. Mechanical properties of 12Ce-ZrO₂/3Y-ZrO₂ composites / M. Turon-Vinas, J.J. Roa, F.G. Marro, M. Anglada // *Ceramics International*. – 2015 – Vol. 41 – P. 14988–14997.
2. Thakare V. Progress in synthesis and applications of zirconia // *International Journal of Engineering Research and Development*. – 2012 – Vol. 5, iss 1 – P. 25–28.
3. Carter C.B., Norton M.G. Ceramic materials: science and engineering. – New York: Springer Science+Business Media. 2007 – 716 p. - ISBN 0387462708
4. Zirconia-based composites for biomedical applications: role of second phases on composition, microstructure and zirconia transformability / M. Fornabaio, P. Palmero, R. Traverso, C. Esnouf, H. Reveron, J. Chevalier, L. Montanaro // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2015 – Vol. 35, iss 14 – P. 4039–4049.

5. Neutron Diffraction Measurements of the Residual Stresses in Al₂O₃-ZrO₂ (CeO₂) Ceramic Composites / Xun-Li Wang; Camden R. Hubbard; Kathleen B. Alexander; Paul F. Becher; Jaime A. Fernandez-Baca; Steve Spooner // Journal of the American Ceramic Society. – 1994 – Vol. 77 – P. 1569–1575.

6. Подзорова, Л. И. Композиты системы Al₂O₃/Yb-TZP, модифицированные катионами кальция, стронция и бария / Л. И. Подзорова, В. Е. Кутузова, А. А. Ильичёва, О. И. Пенькова, В. П. Сиротинкин, А. А. Коновалов, О. С. Антонова, А. С. Баикин // Перспективные материалы. – 2022. – №3. – С. 61-69.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ МЕХАНОАКТИВАЦИЕЙ

Е.А. Иванова, Е.И. Сыч, В.Б. Елифанов

Самарский государственный технический университет,

г. Самара, htpkm@samgtu.ru

Научный руководитель: Сыч Е.И., к.т.н., ст. преподаватель

Наиболее распространенный подход поиска эффективных препаратов основан на разработке новых химических соединений с улучшенными свойствами. В настоящее время развивается еще один путь: повышение эффективности уже известных препаратов, путем активации структуры вещества. В работе приводятся описание метода механоактивации, применение данного метода для уротропина, оценка характеристик вещества по РФА и ДТА анализам.

The most common approach to finding effective drugs is based on the development of new chemical compounds with improved properties. Currently, another way is being developed: increasing the effectiveness of already known drugs by activating the structure of the substance. The work provides a description of the method of mechanical activation, the application of this method for methenamine, and an assessment of the characteristics of the substance using XRD analysis and DTA analyses.

Механоактивация подразумевает процесс образования вещества, обладающего большей химической активностью, чем исходное вещество. Важно понимать отличие механоактивации от измельчения [1,2]. Цель измельчения – получить увеличенную поверхность вещества при минимальных затратах энергии. Когда же механоактивацию применяют для накопления энергии в виде дефектов и других изменений в твердом веществе, которые позволяют снизить энергию

активации его последующего химического превращения. Она сопровождается изменением энергии кристаллической решетки вещества [2].

Измельчение при ударном, ударно-истирающем или истирающем воздействиях приводит к фазовым превращениям, накоплению в частицах твердого тела структурных дефектов и даже аморфизации кристаллов, что влияет на их химическую активность. В случаях, когда скорость накопления дефектов превышает скорость их исчезновения, и происходит механоактивация [1].

Следует понимать, что помимо увеличения реакционной способности и улучшения некоторых физико-механических свойств, уменьшение размера частиц может повлечь за собой некоторые технологические сложности, например при хранении и транспортировке (увеличение гигроскопичности, слеживаемости, комкуемости) [3].

Исследование ставило перед собой задачу повышения эффективности лекарственных компонентов (уротропина) без изменения химического состава вещества путем поиска оптимального способа механоактивации и подбора технологических параметров.

Для отработки технологии механоактивации лекарственных компонентов был выбран кристаллический уротропин.

Уротропин имеет несколько направлений применения, в медицине используется как антибактериальный и антитокической препарат.

Связь между пространственной структурой и активностью является фундаментальной характеристикой действия лекарственных препаратов в связи с тем, что от их молекулярной структуры зависит способность вещества проникать в организм (или клетку), его транспорт к месту воздействия, взаимодействие с определенными рецепторами, что определяет степень и направленность биологического действия.

Новизна исследования состоит в подборе технологического режима и способа механоактивации уротропина для повышения эффективности.

Предложенный способ механоактивации состоит в условиях активации в вибрационной шаровой мельнице.

Механоактивация проводилась на вибрационно-шаровой мельнице, которая представляет собой цилиндрический корпус, на 80% своего объема загруженный шарами. Корпус приводится в движение валом. При работе мельницы происходит механоактивация уротропина под действием частых соударений мелющих тел. Корпус установлен на деревянные опоры, предотвращающие передачу вибраций основанию мельницы.

К достоинству данной мельницы можно отнести высокую дисперсность материала, который подвергается активации (частицы вещества не слеживаются, не слипаются).

Подбор параметров для механоактивации уротропина проводился в следующих интервалах: частота вибрации от 14 до 25 Гц, амплитуда вибрации 1,4- 2,2 мм, продолжительность от 0 до 60 минут.

Основываясь на параметре «плотность дислокаций», была проведена оптимизация механоактивации уротропина по времени работы мельницы (рисунок 1). Максимальные изменения происходят при времени активации 10 минут, далее на графике видно плато, отсутствие каких-либо существенных изменений в плотности дислокаций.

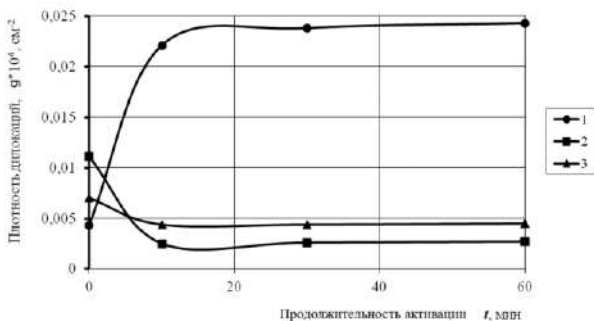


Рис. 1 - Оптимальное время механоактивации уротропина (параметры активации: $\nu=22$ Гц, $a= 1,4$)

Для выявления новых кристаллических фаз и изменения термической активности были использованы методы рентгенофазового и дифференциального термического анализированных после механической активации (рисунок 2 и рисунок 3 соответственно).

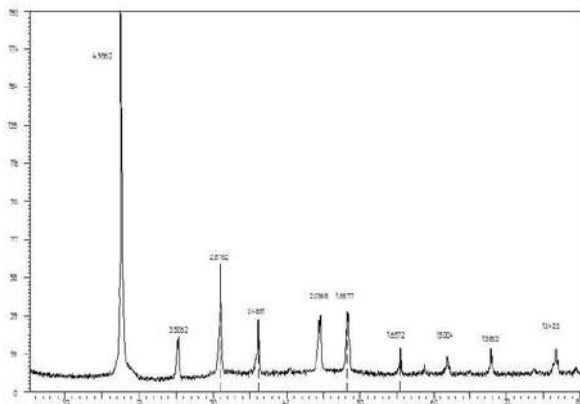


Рис. 2 - РФА уротропина активированного(параметры активации: $\nu=22$ Гц, $a= 1,4$)

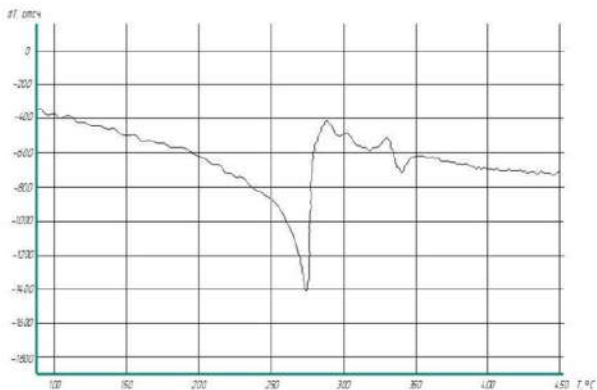


Рис. 3 - ДТА уротропина активированного (параметры активации: $\nu=22$ Гц, $a=1,4$)

Экспериментально установлено изменение положения и интенсивности дифракционных максимумов, а также структурно-физических характеристик отражающих состояние кристаллической решетки и указывающих на отклонение в сторону менее стабильного состояния механоактивированных образцов.

Обработка образца уротропина в шаровой вибрационной мельнице (параметры активации: $\nu=22$ Гц, $a=1,4$) влияет на реакционную способность, происходит повышение термической активности.

Также в результате исследования было выявлено увеличение скорости растворения порошка активированного уротропина до 30%.

Метод активации лекарственных компонентов достаточно перспективный, т.к. весь цикл по созданию медицинского препарата дорогостоящий и занимает более 10 лет. С помощью механоактивации представляется возможным получить улучшенное вещество с минимизацией финансовых и временных затрат.

Литература:

1. Епифанов В.Б., Сыч Е.И. Механическая активация энергетических веществ [Монография] Самара: ООО "Издательство. АСГАРД", 2016. – 228 с.
2. Авакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, 1986. - 305 с.
3. Епифанов В.Б., Сыч Е.И., Тонеев И.Р. Роль механоактивации в формировании кристаллической структуры уротропина // Наука. Промышленность. Оборона. XX Всероссийская научно-техническая конференция: сб. науч.тр. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. - С. 45-48

МОДИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОДОВ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ ИЗ АКТИВНЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СОРБЕНТОВ НАНОЧАСТИЦАМИ ТАНТАЛА

О.И. Кан

Национальный исследовательский технологический университет

МИСиС, г. Москва, m2106915@edu.misis.ru

Научный руководитель: Фролов Г.А., к.х.н., доцент

Приведены результаты измерений экспериментальных ячеек суперконденсаторов из активных углеродсодержащих сорбентов из исходных материалов и материалов, модифицированных наночастицами тантала.

The results of measurements of experimental supercapacitor cells made of active carbon-containing sorbents from the original materials and materials modified with tantalum nanoparticles are presented.

Анализ научной литературы даёт понять, что ранее не проводилось подробных систематических исследований, связанных с целенаправленным поиском корреляций между электрическими характеристиками электродов и их структурой.

Принципиальное отличие суперконденсаторов (СК) от аккумуляторов связано с высокой скоростью высвобождения большого количества электрической энергии. Кроме этого, СК являются дополнительными источниками электропитания в паре с основными источниками электрической энергии.

Текущие емкостные характеристики существующих СК не отвечают современным требованиям, связанным с повышением потребительских свойств СК.

В ходе исследований применялись различные методики при изготовлении образцов электродов из углеродсодержащих сорбентов. Методика подбиралась исходя из исходного материала образца и его структуры. В качестве исследуемых объектов использовались материалы производства АО ЭНПО «Неорганика» – активные углеродсодержащие сорбенты марок АУТ-М и КНМ. Все ячейки суперконденсаторов с перечисленными материалами измерялись методом гальваностатического заряда-разряда (ГЗР) на измерительном приборе АСК-2.1.8 производства российской фирмы «Яростанмаш». При исследовании электрических характеристик материалов применялись водные электролиты. Испытания проводились в среде кислого электролита – 1М раствора H_2SO_4 .

Наночастицы тантала, применяемые для модификации материалов, имеют размер в интервале от 1 до 3 нм. Получены методом осаждения

холодной плазмы в среде этилового спирта. Концентрация металла в исходных растворах составляет от 4 до 5 мг/л.

Сорбент тканевый углеродный АУТ-М

Таблица 1 – Ёмкость удельная, Ф/г

<i>Кол-во циклов</i>	<i>Исходный материал</i>	<i>Концентрация тантала, 10⁻³ мг/см²</i>			
		<i>0,9</i>	<i>1</i>	<i>1,6</i>	<i>2</i>
1000	60	76	116	56	95
2000	61	75	117	55	88
3000	61	72	-	53	-
4000	-	71	-	48	-
5000	-	73	-	48	-

Таблица 2 – Сопротивление при заряде, Ом

<i>Кол-во циклов</i>	<i>Исходный материал</i>	<i>Концентрация тантала, 10⁻³ мг/см²</i>			
		<i>0,9</i>	<i>1</i>	<i>1,6</i>	<i>2</i>
1000	1	1,3	0,4	0,3	0,2
2000	1	1,3	0,4	0,3	0,2
3000	1	1,4	-	0,3	-
4000	-	1,4	-	0,5	-
5000	-	1,3	-	0,5	-

Таблица 3 – Сопротивление при разряде, Ом

<i>Кол-во циклов</i>	<i>Исходный материал</i>	<i>Концентрация тантала, 10⁻³ мг/см²</i>			
		<i>0,9</i>	<i>1</i>	<i>1,6</i>	<i>2</i>
1000	1,3	1,3	0,3	0,3	0,3
2000	1,3	1,3	0,3	0,3	0,2
3000	1,3	1,3	-	0,3	-
4000	-	1,2	-	0,4	-
5000	-	1,2	-	0,4	-

Углеродный волокнистый материал КНМ

Таблица 7 – Удельная ёмкость, Ф/г

Кол-во циклов	Исходный материал	Концентрация тантала, 10^{-3} мг/см ²		
		2	4	5
1000	104	119	116	107
2000	90	112	116	111
3000	74	111	111	102
4000	40	107	106	99
5000	3	113	106	97

Таблица 8 – Сопротивление при заряде, Ом

Кол-во циклов	Исходный материал	Концентрация тантала, 10^{-3} мг/см ²		
		2	4	5
1000	0,6	3	0,3	1
2000	0,7	3	0,3	1
3000	1	3	0,3	1
4000	1	3	0,6	1
5000	3	3	0,3	1

Таблица 9 – Сопротивление при разряде, Ф/г

Кол-во циклов	Исходный материал	Концентрация тантала, 10^{-3} мг/см ²		
		2	4	5
1000	0,5	3	0,3	1
2000	0,6	3	0,3	1
3000	0,8	3	0,3	1
4000	1,2	3	0,3	1
5000	3,5	3	0,3	1

Заключение: модификация поверхности активных углеродсодержащих электродов наночастицами тантала повышает электрические характеристики экспериментальных ячеек суперконденсаторов.

Наблюдается рост удельной ёмкости, а также снижение электрического сопротивления. Значение удельной ёмкости для электрода из сорбента АУТ-М при концентрации металла 10^{-3} мг/см²

увеличилось почти в 2 раза к исходу 1000 циклов по сравнению с исходным образцом, а для КНМ (концентрации металла 2×10^{-3} мг/см²) – 13%. Сопротивление при заряде ткани АУТ-М при концентрации наночастиц металла 2×10^{-3} мг/см² снизилось в 5 раз к исходу 2000 циклов заряда-разряда (таблица 2), сопротивление при заряде и разряде электродов из ткани КНМ при концентрации 4×10^{-3} мг/см² к исходу 5000 циклов – снизилось в 10 и 11 раз соответственно (таблицы 8 и 9).

Планируется модификация активных углеродсодержащих материалов наночастицами титана и ванадия.

Литература:

1. *Табаров Фаррух Саадиевич* Получение и свойства волокнистых углеродных материалов для электродов суперконденсаторов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.09. – Москва, 2021, 115 с.

2. Содержащие полианилин композиты на основе высокопористой углеродной ткани для гибких электродов суперконденсаторов / *А. А. Климонт, С. В. Стаханова, К. А. Семушин, М. В. Астахов, А. Т. Калашник, Р. Р. Галимзянов, И. С. Кречетов, М. Кунду* // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2017. – № 9. – С. 44–51.

3. Накопители энергии с бусофитовыми электродами, модифицированными титаном / *В. Г. Гоффман, В. В. Слепцов, А. В. Гороховский, Н. В. Горшков, Н. Н. Ковынёва, А. В. Севрюгин, М. А. Видулова, А. М. Байняшев, А. Д. Макарова, Ч. Зо Левин* // Электрохимическая Энергетика. – 2020. – Т. 20. – № 1. – С. 20–32.

4. Oriented arrays of polyaniline nanorods grown on graphite nanosheets for an electrochemical supercapacitor / *Li Y., Zhao X., Yu P., Zhang Q.* // Langmuir. – 2013. – V. 29. – № 1. – P. 493–500.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СПЛАВА КАНТОРА

Д.А. Каратеева, А.Б. Юргин

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, dashuta.karateeva@yandex.ru

Научный руководитель: Эмурлаев К. И., к.т.н., старший
преподаватель

В рамках данной работы был проведен анализ структуры сплава системы CoCrMnNiFe и влияние введения частиц NbC на микротвёрдость. Структура и фазовый состав исследовались с использованием светового микроскопа и дифракции рентгеновского излучения. Микротвёрдость определялась по методу Виккерса. По итогам исследования было установлено положительное влияние упрочняющей добавки на микроструктуру сплава.

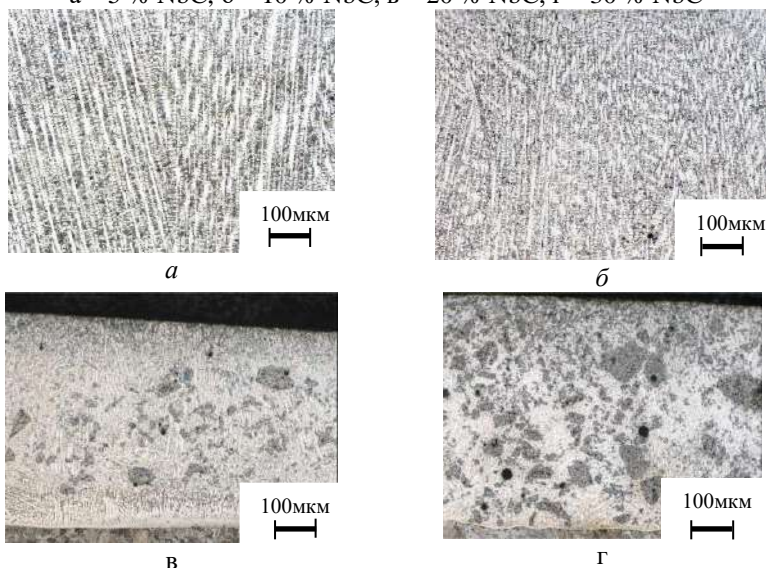
Within the framework of this work, the structure of the alloy of the Co Cr Mn Ni Fe system and the effect of the introduction of NbC particles on microhardness were analyzed. The structure and phase composition were studied using a light microscope and x-ray diffraction. Microhardness was determined by a using the Vickers method. According to the results of the study, a positive effect of the strengthening additive on the microstructure of the alloy was established.

Высокоэнтропийные сплавы привлекли большое внимание благодаря своим превосходным механическим свойствам, термодинамической стабильности и коррозионной стойкости. Износ и трение - это две неизбежные проблемы в механически подвижных системах, поэтому разработка новых материалов с более высокой твёрдостью и прочностью актуально и сейчас. Сплавы с высокой энтропией представляют собой новый класс сплавов. В этой статье описывается структура сплава и влияние легирующих элементов на его твёрдость [1].

Образцы с покрытиями были получены методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки на промышленном ускорителе электронов ЭЛВ-6М в ИЯФ СО РАН. В качестве подложки были выбраны заготовки из стали 20. Для формирования покрытий использовалась порошковая смесь, состоящая из порошков металлов (Co, Cr, Ni, Mn), порошка карбида ниобия и порошка флюса. В качестве флюса для защиты ванны расплава от окисления использовали порошок CaF₂. Порошки металлов технической чистоты предварительно смешивали в равном соотношении. Для получения серии экспериментальных образцов были подготовлены смеси с различным соотношением металлических порошков CoCrNiMn к порошку NbC по массе (100:0,

95:5, 90:10, 80:20, 70:30). Соотношение масс наплавляемых порошков и флюса составляло 7:3. Следует отметить, что порошок железа в состав смеси не вводился, и железо в покрытие поступало при плавлении материала основы [2].

Рис. 1 – Микроструктура образцов с различным содержанием NbC:
а – 5 % NbC, б – 10 % NbC, в – 20 % NbC, г – 30 % NbC



Микроструктура исследовалась на поперечных шлифах, изготовленных по стандартной методике с последующим химическим травлением образцов. Исследование микроструктуры проводилось на оптическом микроскопе Carl Zeiss AxioObserver Z1.m

На рисунке 1 представлены микроструктуры покрытий. На изображениях видна вытянутая преимущественно по вертикальной оси дендритная структура, что связано с градиентом температур при остывании ванны расплава. Следует отметить, что с увеличением содержания карбида ниобия в микроструктуре можно наблюдать появление крупных нерастворённых карбидных частиц. Исследование микроструктуры сплавов полученных при введении 20% и 30% NbC, позволило выявить большое количество крупных частиц размером более 200мкм. Можно предположить, что это происходит из-за неподходящего режима наплавки.

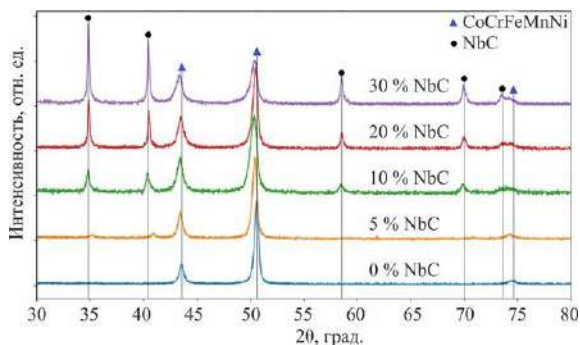


Рис. 2 – Дифрактограммы покрытий, полученных наплавкой порошковых смесей с различным содержанием NbC

Для определения состава полученных образцов был проведён рентгенофазовый анализ (рис. 2). Во всех образцах зафиксировано формирование твердого раствора с ГЦК кристаллической решеткой. Покрытие, полученное без добавления упрочняющих частиц, является однофазным. В образцах с 5 % и 10 % добавки зарегистрированы слабые рефлексы в районе, соответствующие карбидной фазе NbC. С увеличением процентного содержания карбида ниобия, наблюдается увеличение их интенсивности.

В работе исследовалась микротвёрдость сплавов системы CoCrFeMnNi с различным содержанием NbC. Данные измерения микротвёрдости образцов были получены с использованием микротвердомера WolpertGroup 402 MVD по методу Виккерса.

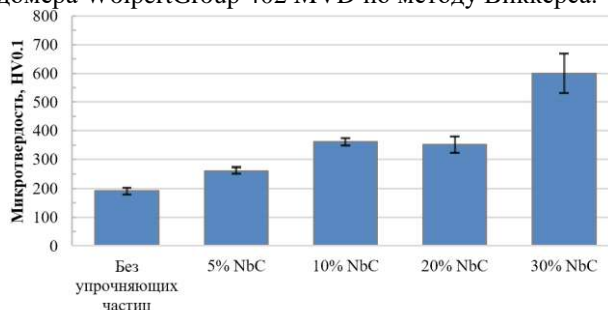


Рис. 3 – Средняя микротвёрдость покрытий

На рисунке 3 отображены результаты измерения микротвёрдости. По мере введения упрочняющих частиц в исходный состав, средняя микротвёрдость покрытия возрастает с $191 \pm 11 \text{HV}_{0,1}$ неупрочнённого покрытия до $600 \pm 14 \text{HV}_{0,1}$ при 30% добавки. Следует отметить, что с

повышением содержания NbC увеличивается доверительный интервал, что обусловлено неоднородностью микроструктуры.

Подводя итоги, значения микротвёрдости наплавленных покрытий на основе ВЭС могут быть существенно увеличены при добавлении упрочняющей добавки в виде частиц NbC. Значения микротвёрдости выросли более чем в 3 раза, что может положительно сказываться на износостойкости покрытий.

Литература:

1. Research status of tribological properties optimization of high-entropy alloys: a review/Jia-li Zhou, Jin-yong Yang, Xiao-feng Zhang, Fu-wen Ma, Kai Ma & Yan-hai Cheng //Journal of Materials Science. – 2023. –Vol. 58– P 4257–4291.

2. Структура и свойства композиционного покрытия на основе высокоэнтропийного сплава упрочненного частицами CrB /А.А. Руктуев, А.Б. Юргин, В.С. Шикалов, А.В. Ухина, И.К. Чакин, Е.В. Домаров, Г.Д. Довженко // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2022. – № 3 (76). – С. 33–35.

СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ КЕРАМИКИ Al_2O_3 -BaO

Е.Ю. Ким, Э.А. Федоренко, К.А. Антропова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, katerina_kim95@mail.ru

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

В данной работе исследована структура и фазовый состав алюмооксидных керамических материалов с содержанием оксида бария 3 масс. %, полученных по технологии электроискрового спекания. С помощью рентгенофазового анализа было установлено, что в спеченных образцах образуется пластинчатое соединение – гексаалюминат бария.

In this paper, the structure and phase composition of aluminum oxide ceramic materials with a barium oxide content of 3 wt.% obtained by spark plasma sintering technology are investigated. X-ray phase analysis showed that a lamellar compound, barium hexaaluminate, is formed in the sintered samples.

Алюмооксидная керамика всегда привлекала внимание исследователей для изучения и применения ее в различных сферах производства из-за сочетания благоприятных свойств: высокой механической прочностью, хорошими диэлектрическими свойствами,

стойкостью к действию термоударов и т.д. [1]. Однако данная керамика имеет ряд недостатков, например, низкая трещиностойкость и низкая прочность на изгиб [2].

Для повышения прочности керамики на основе оксида алюминия применяют метод добавления частично стабилизированного ZrO_2 [3]. Данное сочетание материалов получило большое распространение в медицине, в изготовлении режущих пластин, стержней, используемых для прецизионного лития в авиастроении [4].

Также, в литературе описаны эффективные методы повышения трещиностойкости и термостойкости оксидной керамики за счет формирования пластинчатых соединений в спеченных керамических материалах. Например, в работе [5] в суспензию приготавливали из $\alpha-Al_2O_3$ и ZrO_2 , далее для формирования пластинчатого соединения – $SrAl_{12}O_{19}$, в суспензию вводили порошок SrO. По результатам работы было выявлено, что образование пластин $SrAl_{12}O_{19}$ привело к повышению трещиностойкости.

В настоящее время электроискровое спекание (в англоязычной литературе SPS – spark plasma sintering) является современной перспективной технологией для спекания материалов [6]. На данный момент описано мало работ об использовании электроискрового спекания для изготовления керамических материалов, а также проведено мало исследований о влиянии гексаалюмината бария на трещиностойкость и термостойкость керамических материалов. Для проведения исследований сначала важно отработать температурные режимы спекания и исход из этого, была поставлена цель данной работы: оценить влияние температуры электроискрового спекания на структуру и фазовый состав алюмооксидной керамики с добавлением 3 масс.% BaO.

В качестве исходных материалов использовались субмикронные высокочистые порошки $\alpha-Al_2O_3$ и BaO. Суспензия была изготовлена на основе изопропилового спирта. Для приготовления суспензии брали 40 г изопропилового спирта, 38,8 г $\alpha-Al_2O_3$ и 1,2 г BaO. Смесь подготавливали методом диспергирования в шаровой мельнице с помощью мелющих тел диаметром 1 мм из оксида алюминия в течение 6 часов, скорость вращения мельницы составляла 130 об/мин. Далее смесь сушилась в чашках Петри, а после высыхания сухую смесь дробили в керамической ступке керамическим пестиком и просеивались через сито с размером ячейки до 50 мкм.

Далее изготовленный порошок засыпали в углеродную оснастку. Чтобы материал не вступал в реакцию с углеродной оснасткой, пространство между порошком и оснасткой было заполнено

терморасширенным графитом. Электроискровое спекание порошков проводили на установке производства компании FUJI при температурах 1500, 1550, 1600, давлении 17 МПа и выдержкой 10 минут.

На рисунке 1 представлена микроструктура керамики $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-BaO}$, спеченной при 1600 °С. Микрофотографии были полученные на оптическом микроскопе Carl Zeiss AXIOVERT 40MAT. На рисунке 1 видны светло-серые участки – оксид алюминия, а темные вкрапления представляют собой пустоты. Также, на микрофотографии можно увидеть темно-серые пластинки с вытянутой формой, что возможно означает о формировании гексаалюмината бария в керамическом материале. Данный факт подтверждается результатами рентгенофазового анализа.

С помощью рентгенофазового анализа было выявлено, что в всех спеченных материалах сформировалось соединение $\text{Ba}_{0,83}\text{Al}_{11}\text{O}_{17,33}$, а также присутствует фаза $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

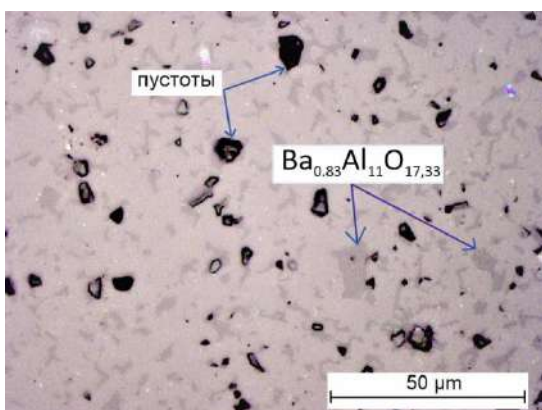


Рис.1 – Структура керамики $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-BaO}$, спеченной при 1600 °С

Таким образом, в данной работе был проведен анализ микроструктуры и фазового состава керамики $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-BaO}$, полученной по технологии электроискрового спекания. Было установлено, что при всех трех температурах (1500, 1550, 1600 °С) образовался гексаалюминат бария.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП "Структура, механические и физические свойства материалов".

Литература:

1. Повышение диэлектрических свойств алюмооксидной керамики / *Г.И. Бердов, В.А. Лиенко, П.М. Плетнев, М.С. Возная, В.З. Гиндулина* // Огнеупоры и техническая керамика. – 2006. – № 6. – С. 48–51.
2. *Варрик Н.М., Ивахненко Ю.А., Максимов В.Г.* Оксид-оксидные композиционные материалы для газотурбинных двигателей // Труды ВИАМ. – 2014. – № 8. – 20 с. doi: 10.18577/2307-6046-2014-0-8-3-3
3. *Мамаева Н.Б.* Корундовая керамика с добавками, содержащими диоксид циркония: дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 1990. – 144 с.
4. *Пуныкаев В.В., Узлев Н.П.* Разработка составов алюмоциркониевой керамики для стержней, используемых для прецизионного литья сплавов авиационного // Химия. Экология. Урбанистика. – 2021. – Т. 4. – С. 138–140.
5. Разработка составов алюмоциркониевой керамики для изготовления режущих пластин / *Н. Ю. Черкасова, Н. С. Стукачева, Р. И. Кузьмин, Е. А. Пурус* // Инновации в машиностроении : Сборник трудов X Международной научно-практической конференция, Кемерово, 26–29 ноября 2019 года / Под редакцией В.Ю. Блюменштейна. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. – 2019. – С. 347–351.
6. *Смирнов В.Л., Юровских А.С.* Искровое плазменное спекание порошковых материалов системы Fe-N // XVII Международная научно-техническая Уральская школа-семинар металлосведов-молодых ученых: сборник научных трудов – Екатеринбург, 2016. – С. 224–228.

ВЛИЯНИЕ ДИБОРИДА ТИТАНА НА СТРУКТУРУ И ПЛОТНОСТЬ КАРБИДА БОРА

И. Ю. Киселева

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, 78yue@mail.ru

Научный руководитель: Черкасова Н. Ю., к.т.н.

В представленной работе рассмотрено изменение свойств керамики В4С с добавкой TiB₂ в разных соотношениях. Описаны изменения плотности и материала, а также причины возникновения этих изменений. В исследуемом материале при добавлении 10 мол. % TiB₂ наблюдалось увеличение относительной от теоретической плотности на 3%, при среднем размере зерен TiB₂ – 0,87 мкм.

In the presented research, the change in the properties of B₄C ceramics with the addition of TiB₂ in different ratios is considered. Changes in density and material are described, as well as the causes of these changes. In the studied material, when adding 10 mol. % TiB₂ there was an increase in the relative from the theoretical density by 3%, with an average grains size of TiB₂ – 0.87 microns.

Керамические материалы обладают полезным комплексом механических и физико-химических свойств и широко используются в технике в качестве конструкционных материалов. Особое место среди керамических материалов занимает керамика на основе В₄С.

Уникальность материала обусловлена тем, что он сочетает в себе малую плотность ($\rho = 2,51 \text{ г/см}^3$) наряду с высокой твердостью ($H=49 \text{ ГПа}$), что позволяет использовать его в качестве основы конструкционных материалов, применяемых в машиностроении, космической, ядерной отраслях, а также при производстве бронематериалов [1, 2]. Но, несмотря на целый ряд преимуществ этой керамики, она обладает низкой трещиностойкостью. Также, имеется ряд сложностей при спекании порошков В₄С, это связано с тем, что карбид бора является соединением с прочными ковалентными связями и обладает высокой температурой плавления [3]. Для устранения этих недостатков были использованы добавки диборида титана в разных соотношениях.

Таким образом, актуальность данной работы обусловлена необходимостью установления закономерностей формирования свойств керамики на основе карбида бора при создании композиционных материалов.

Целью работы являлось изучение влияния диборида титана на фазовый состав, структуру и свойства карбида бора.

В данном исследовании методом горячего прессования были получены образцы керамики с добавками диборида титана в разных соотношениях. В качестве исходных реагентов были использованы коммерческие порошки В₄С и TiO₂, TiB₂ был получен из В₄С и TiO₂. Плотность и пористость образцов определяли методом гидростатического взвешивания. Микротвердость по Виккерсу измеряли при нагрузке 0,5 кг. Микроструктуру образцов изучали методом оптической микроскопии.

Результаты измерения открытой пористости и относительной плотности образцов, полученных методом горячего прессования (ГП), приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Открытая пористость и относительная от теоретической плотность керамики V_4C и $V_4C - TiB_2$

Образец	Открытая пористость	Относительная плотность, %
V_4C	0,07	97
$V_4C - 10$ мол. % TiB_2	0,05	100
$V_4C - 20$ мол. % TiB_2	3,02	88

На рисунке 1 показаны снимки микроструктуры образцов, сделанные с помощью оптического микроскопа. Наблюдается равномерное распределение добавки диборида титана белого цвета. Темные области представляют собой выкрашивания, появившиеся в ходе шлифования образца. Средний размер зерен и их скоплений TiB_2 составляет 0,87 мкм при его содержании 10% и 1,26 мкм при его содержании 20%.

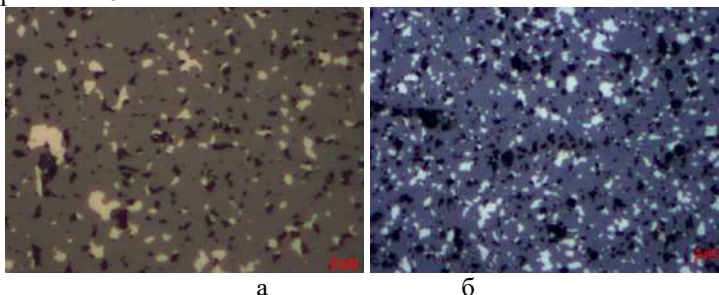


Рис.1 – Микроструктура исследуемых материалов композиционной керамики $V_4C - TiB_2$ с содержанием (а) 10 мол. % TiB_2 и (б) 20 мол. % TiB_2

Установлено увеличение плотности керамики относительно теоретической с увеличением содержания диборида титана до 10%. При этом, с увеличением плотности наблюдалось уменьшение пористости. В образце с 20% диборида титана было замечено увеличение пористости и при этом относительная плотность также уменьшалась.

На основании проведённых исследований можно сделать вывод, что добавление 10% диборида титана приводит к увеличению относительной плотности и уменьшению пористости композиционной керамики на основе карбида бора.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП "Структура, механические и физические свойства материалов".

Литература:

1. Определение оптимальных режимов изготовления высокоплотной керамики из порошка карбида бора методом спекания в плазме искрового разряда / О. Л. Хасанов, Э. С. Двилис, А. О. Хасанов, З. Г. Бикбаева, В. В. Полисадова, В. М. Соколов, А. А. Качаев, Я. В. Валова // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320, №2. – С. 58-62.

2. Овсиенко А.И., Румянцев В.И., Орданьян С.С. Керамика на основе реакционно-спеченного карбида бора // Новые огнеупоры. – 2018. – №10. – С. 9–15.

3. Синтез полидисперсного карбида бора и получение керамики на его основе / Ю. Л. Крутский, Ю. К. Непочатов, А. Н. Пель [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2019. – Т. 92, № 6. – С. 719-727.

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА ВТ-6+В

К.В. Кобылкин, А.А. Гольшев

Институт теоретической и прикладной механики

им. С.А. Христиановича СО РАН,

г. Новосибирск

Целью данной работы является лазерное аддитивное выращивание титаноматричных композитных материалов с добавлением армирующих элементов в виде керамических частиц. Особый интерес представляет изучение воздействия параметров лазерного луча, таких как мощность, скорость движения и размер лазерного пятна, на геометрические параметры формируемых единичных треков.

The aim of this work is laser additive growth of titanium matrix composite materials with the addition of reinforcing elements in the form of ceramic particles. Of particular interest is the study of the effect of laser beam parameters, such as power, speed and laser spot size, on the geometrical parameters of the formed single tracks.

На сегодняшний день, стремительное развитие промышленных технологий требует современные материалы с повышенными механическими характеристиками. Применение аддитивных технологий открывает новые возможности для создания металломатричных функциональных материалов, например, металлокерамических композитов. Как результат, актуальной задачей является лазерное

аддитивное выращивание металломатричных композитных материалов с добавлением армирующих элементов в виде керамических частиц.

В данной работе основное внимание уделяется изучению воздействия параметров лазерного луча, таких как мощность, скорость движения и размер лазерного пятна, на геометрические параметры формируемых единичных треков, а также создание многослойного покрытия.

В работе использовался метод прямого лазерного выращивания (Direct Metal Deposition). В данном случае лазерное излучение фокусируется с помощью линзы на подложку, образуя «ванну» расплава. Одновременно с этим через коаксиальное сопло при помощи транспортного газа подается струя порошковой смеси соосно лазерному излучению. В ходе перемещения лазерного излучения, «ванна» расплава затвердевает, образуя единичный наплавочный валик.

Исследования единичных треков будет производиться по геометрическим особенностям поперечных сечений: внешний вид трека, а именно шероховатость поверхности, адгезия с подложкой (положительный угол смачивания), соотношение высоты и ширины полученных одиночных треков. Основными факторами, влияющими на вышеперечисленные показатели, являются режимы наплавки: мощность лазера, скорость сканирования, количество подаваемого порошка, диаметр пучка.

В ходе работы были сформированы наплавочные треки при разных параметрах лазерного воздействия. На рисунке 1 приведена фотография подложки с наплавленными дорожками.

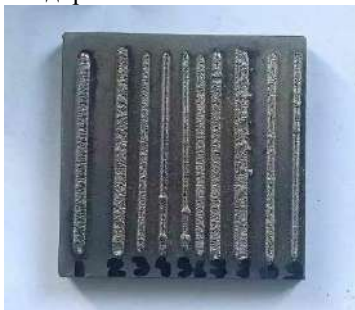


Рис.1 – Единичные треки при разных параметрах установки

В качестве порошковой смеси использовалась металлокерамическая смесь ВТ-6+SiC с концентрацией керамики 10% масс. Проведены исследования геометрических параметров треков в зависимости от мощности (рис. 2) и скорости сканирования.

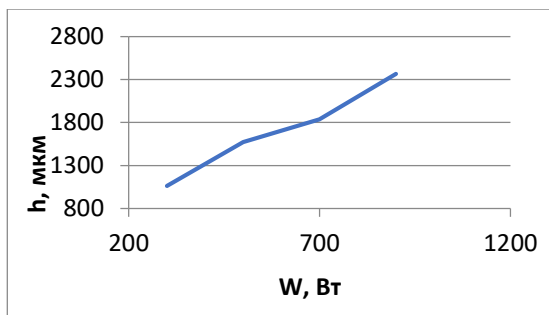


Рис.2 – Зависимость ширины треков от мощности лазерного воздействия.

Используя выбранный режим лазерной наплавки, был сформирован и исследован многослойный титано-матричный композитный материал (рис.3).



Рис.3 – Фотография многослойного образца, наплавленного методом прямого лазерного выращивания.

Сформированы металлокерамические единичные треки при разных параметрах лазерного воздействия. Используя выбранный режим лазерной наплавки, сформирован многослойный титано-матричный композитный материал. Исследована микротвердость создаваемого материала (ВТ-6+SiC 10% масс.), которая достигается 700 HV_{0.3}.

Работа выполнена при поддержке РНФ грант № 21-79-10213 (<https://rscf.ru/project/21-79-10213/>).

Литература:

1. М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш Аддитивные технологии в машиностроении. - Москва: ГНЦ РФ ФГУП "НАМИ", 2015.
2. М.Л. Лобанов, Н.И. Кардонина, Н.Г. Россина, А.С. Юровских Защитные покрытия. - Екатеринбург : Уральского ун-та, 2014.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИТРИДА ЦИРКОНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАРБОНИТРИДНОЙ ЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ

Е.Д. Кузьменко

Томский политехнический университет,

г. Томск, kuzmenko70egor@yandex.ru

Научный руководитель: Матренин С.В., к.т.н., доцент

В работе было изучено влияния нитрида циркония на микроструктуру и физико-механические свойства карбонитридных циркониевых керамик, спеченных методом горячего прессования. Было установлено, что с увеличением содержания нитрида циркония возрастает плотность образцов, снижается их пористость и увеличивается твердость.

The research studied the influence of zirconium nitride on the microstructure and physical and mechanical properties of carbonitride zirconium ceramics sintered by hot pressing. It was found that with increasing zirconium nitride content, the density of the samples increases, their porosity decreases, and their hardness increases.

Керамики на основе карбида и нитрида циркония относятся к классу инструментальных и термостойких материалов. Их высокие температуры плавления, стойкость к агрессивным химическим средам, значительные показатели твердости делают их актуальными для дальнейших исследований [1,2].

В работе были подготовлены двойные керамики на основе карбида и нитрида циркония следующих составов: 20% мас. ZrC – 80% мас. ZrN, 50% мас. ZrC – 50% мас. ZrN, 80% мас. ZrC – 20% мас. ZrN, а также керамики полученные из исходных компонентов: ZrC, ZrN. Исследуемые составы керамик спекались методом горячего прессования при температуре 2000 °С, давлении 30 МПа и времени выдержки при заданной температуре 15 минут.

После шлифования и полирования была определена плотность исследуемых образцов (рисунки 1).

Было установлено, что с увеличением содержания нитрида циркония плотность возрастает и становится наибольшей для образца ZrN.

С использованием установленных плотностей образцов – кажущихся, и определенных по правилу аддитивности – истинных, была определена пористость образцов. Для двойных керамик значения пористости обратно-пропорциональны значениям плотности образцов. Наибольшая пористость наблюдается у образца состава 80% мас. ZrC – 20% мас. ZrN, она составила 7,31%. При этом для образца ZrN пористость оставила 1,81%.

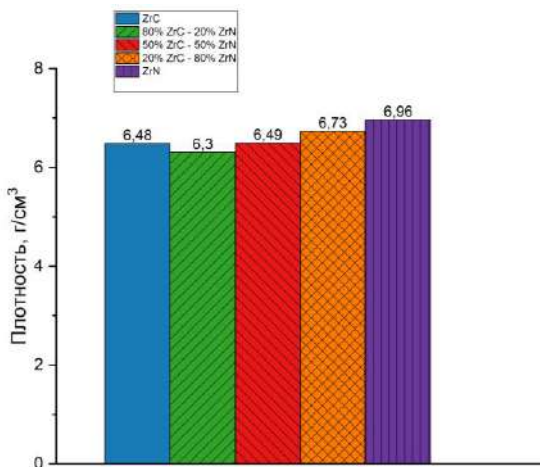


Рис.1 – Плотность исследуемых образцов

Наличие пористости на микрофотографиях поверхностей исследуемых образцов подтверждается при проведении растровой электронной микроскопии в топографическом режиме. Поверхность образца состава 80% мас. ZrC – 20% мас. ZrN, имеющего наибольшую пористость среди исследуемых керамик (рисунок 2).

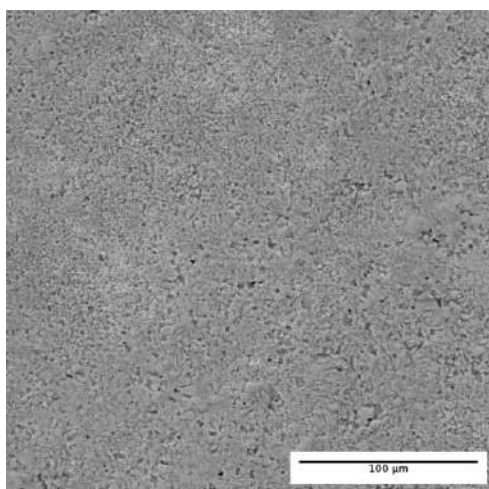


Рис.2 – Поверхность образца состава 80% мас. ZrC – 20% мас. ZrN

При этом наблюдается значительное снижение пористости для образца с большим содержанием нитрида циркония, что

подтверждается ранее рассчитанными данными. Поверхность образца состава 20% мас. ZrC – 80% мас. ZrN (рисунок 3).

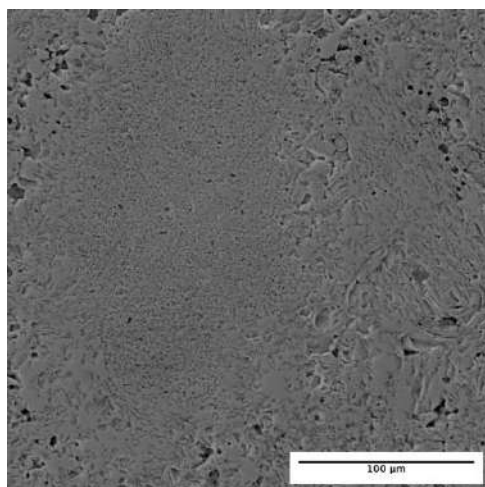


Рис.3 – Поверхность образца состава 20% мас. ZrC – 80% мас. ZrN

Были определены твердости исследуемых образцов. Твердость определялась на приборе ПМТ-3 по Виккерсу. Было установлено, что наибольшая твердость среди исследуемых керамик достигнута в образце состава 20% мас. ZrC – 80% мас. ZrN. Она составила 2284 HV. При этом твердости полученных двойных керамик превышают твердости керамик составов ZrC, ZrN: 1801 HV, 1776 HV соответственно.

В заключении статьи стоит отметить, что увеличение содержания нитрида циркония в карбонитридной циркониевой керамике увеличивает её твердость и снижает пористость. Для состава 20% мас. ZrC – 80% мас. ZrN. до значений в 2284 HV и 4,08%.

Литература:

1. *Harrison R.W., Lee W.E.* Processing and properties of ZrC, ZrN and ZrCN ceramics: a review // *Advances in Applied Ceramics.* – 2016. – V. 115. – №. 5. – P. 294–307.
2. *Lengauer W.* Transition metal carbides, nitrides, and carbonitrides. – Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2008. – P. 202–252.

ТОНКИЕ МНОГОСЛОЙНЫЕ АМОРФНЫЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ОНДУЛЯТОРНЫХ ПУЧКОВ

О.М. Кутькин¹, Я. В. Ракшун^{2,3}, Ю. В. Хомяков², В.А. Чернов²

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, ³Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
г. Новосибирск, kutkino@list.ru

Научный руководитель: Ракшун Я.В. к.ф.-м.н., и.о. зав. каф. САПР
СибГУТИ

Существующие сейчас фильтры для источников ондуляторного излучения состоят из кристаллических материалов, что приводит к появлению спектр-структур. В данной работе представлена концепция использования тонкопленочных структур в качестве фильтра для ондуляторных пучков.

Current filters for undulator radiation sources consist of crystalline materials, which lead to speckles. This paper presents the concept of using thin-film structures as a filter for undulator beams.

В настоящее время создаются источники синхротронного излучения СИ 4 поколения с высокой плотностью потока фотонов и долей когерентного излучения ондуляторных пучков. При этом возникают трудности в работе с такими пучками, связанные с нагревом оптических элементов. Решением проблемы является уменьшение доли низкоэнергетического излучения, посредством ввода фильтров. Существующие сейчас фильтры в основном состоят из кристаллических материалов, что приводит к появлению спектр-структур, мешающих получению качественных экспериментальных данных. Использование многослойных структур с толщиной напыления недостаточной для появления кристаллическости, предположительно, позволит избавиться от этой проблемы. В данной работе представлена концепция использования тонкопленочных структур в качестве фильтра для ондуляторных пучков и в компоновке устройства закладывается возможность изменения эффективной толщины поглощающего материала, посредством ввода-вывода элементов. Но возникают вопросы, связанные с тепловыми нагрузками тонкой пленки: будет ли толщина достаточна для сохранения материалов в твердом состоянии и не начнется ли процесс рекристаллизации. Предварительные тепловые расчеты указывают на возможность работы данного устройства.

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРЕННОГО ВЗРЫВОМ АЛЮМИНИЙ-НИОБИЕВОГО МНОГОСЛОЙНОГО КОМПОЗИТА ПОСЛЕ НАГРЕВА

Ю.Н. Малютина^{1, 2*}

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,
г. Новосибирск, iuliamaliutina@gmail.com

Изучены многослойные композиты, сформированные в процессе сварки взрывом, и состоящие из чередующихся пластин ниобия и алюминия. В качестве термической обработки проведен отжиг полученных образцов при температуре 700, 800, 900 °С. Было показано, что вблизи границ раздела, образовались зоны перемешивания, состоящие из неравновесных фаз, интерметаллидных частиц, а также нерастворившихся объемов ниобия. При повышении температуры отжига от 700 до 900 °С произошёл рост интерметаллидных включений, в результате чего в реакционном слое образовались трещины, что привело к значительному ухудшению механических свойств.

Multilayer composites formed during explosive welding and consisted of alternating niobium and aluminum plates were studied. As a heat treatment, the obtained samples were annealed at temperatures of 700, 800, 900 °C. It was shown that near the interfaces, mixing zones formed, consisting of nonequilibrium phases, intermetallic particles, as well as undissolved volumes of niobium. When the annealing temperature increased from 700 to 900 °C, intermetallic inclusions grew, resulting in the formation of cracks in the reaction layer, which led to a significant deterioration in mechanical properties.

Интерес к сварным Nb – Al-соединениям обусловлен их физическими и механическими свойствами. Наиболее распространенным способом формирования металл-интерметаллидных композитов является высокоскоростная сварка пластин и их последующий нагрев. В литературе нет данных об исследованиях влияния нагрева на микроструктуру, а также механические свойства сваренных взрывом композитов из тонколистовых заготовок Al и Nb. Цель настоящей работы – исследование влияния температуры нагрева на структурные превращения в композите, полученном методом сварки взрывом тонколистовых пластин алюминия и ниобия, и его механические свойства.

Для сварки использовали пластины ниобия Нб1 (более 99,8 % (масс.) Nb) толщиной 0,2 мм и алюминия А5 (более 99,5 % (масс.) Al) толщиной 0,25 мм [1]. После сварки взрывом композиты подвергали

термической обработке, который заключался в отжиге образцов в печи в течение 1 ч при 700, 800 и 900 °С.

Наиболее важные микроструктурные изменения, протекающие на границе ниобия с алюминием в результате отжига при различных температурах, связаны с образованием и ростом диффузионного слоя (рис. 1). С повышением температуры отжига толщина интерметаллидного слоя заметно увеличивается. Общая толщина слоя, содержащего интерметаллидные частицы, составила 40-60 мкм после нагрева при 900 °С.

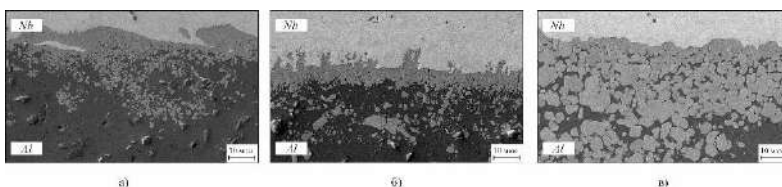


Рис. 1. – микроструктура границы соединения Nb – Al после сварки взрывом и последующего отжига в течение 1 ч при температурах: а, – 700 °С; б – 800 °С; в – 900 °С

Результаты испытаний на статическое растяжение образцов показали значительное уменьшение предела прочности с 535 МПа (после сварки взрывом) до 75 МПа (сварка взрывом и отжиг 900 °С). Максимальное снижение вязкости разрушения (в 7 раз) наблюдали для образцов с максимальной долей интерметаллида в композите, т.е. нагретых до 900 °С.

Таким образом, в данной работе было показано, что нагрев композитов до 900 °С приводит к росту интерметаллидных включений и появлению трещин в реакционном слое, что способствует значительному ухудшению механических свойств.

Исследование выполнено при финансовой поддержке в рамках реализации программы развития НГТУ, научный проект № С23-12.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП "Структура, механические и физические свойства материалов".

Литература:

1. Microstructure and Properties of Multilayer Niobium-Aluminum Composites Fabricated by Explosive Welding / *Malyutina Y.N., Anisimov A.G., Popelyukh A.I., Lozhkin V.S., Bataev A.A., Bataev I.A., Lukyanov Y.L., Pai V.V.* // *Metals.* – 2022. – 12(11). – 1950. – doi: 10.3390/met12111950.

ПРИМЕНЕНИЕ РАСТРОВОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ ЛИТОГРАФИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ УПОРЯДОЧЕННЫХ МАССИВОВ НАНОСТРУКТУР ДИОКСИДА ВАНАДИЯ

Н.Д. Манцуров^{1,2}, А.И. Комонов², Б.В. Волошин^{2,3}

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт физики полупроводников СО РАН,

³Новосибирский государственный университет

zimos.sr@gmail.com

Научный руководитель: Комонов А.И., инженер, ИФП СО РАН

Работа посвящена формированию упорядоченных массивов наноструктур VO₂ с помощью растровой сканирующей зондовой литографии. Ранее было установлено, что в результате локального электрохимического окисления зондом атомно-силового микроскопа, в области воздействия VO₂ окисляется до V₂O₅. В данной работе показано, что благодаря растворимости V₂O₅ в воде, возможно формирование массивов различных наноструктур VO₂ с заданной геометрией и плотностью элементов из сплошной аморфной плёнки VO₂. Получен двумерный массив островков ромбовидной формы с длиной стороны около 750 нм и высотой до 9 нм. Данный метод перспективен для создания элементов наноэлектроники и нанофотоники.

The paper focuses on the formation of ordered arrays of VO₂ nanostructures using raster scanning probe lithography. Previous research has shown that VO₂ undergoes oxidation to V₂O₅ via local electrochemical oxidation caused by an atomic force microscope probe in the exposed region. In the present study, we show that due to the solubility of V₂O₅ in water, the formation of arrays of various VO₂ nanostructures with a defined geometry and element density from a solid amorphous VO₂ film is possible. We obtained a 2D array of rhombus-shaped islands with a side length of approximately 750 nm and a height of up to 9 nm. This method shows potential for the development of nanoelectronics and nanophotonics components.

Разработка и формирование устройств наноэлектроники и фотоники требует развития методов структурирования с субмикронным разрешением и широкой номенклатурой используемых материалов. Традиционно применяемые методы формирования наноструктур, такие как электронная и оптическая литография, обладают рядом существенных недостатков, таких как высокая стоимость и необходимость использования агрессивных сред. Поэтому необходимо развитие альтернативных методов формирования наноструктур. Сканирующая зондовая литография (СЗЛ) является перспективным вариантом, поскольку является безмасочным методом литографии, обеспечивает высокое разрешение и прецизионный контроль при создании наноструктур [1]. Применение атомно-силовой микроскопии как для создания наноструктур, так и для исследования

сформированных объектов позволяет создавать упорядоченные массивы объектов сложной геометрии. Из существующих методов СЗЛ, наиболее перспективным является метод локального электрохимического окисления (ЛЭО) благодаря высокой производительности и возможности формировать наноструктуры предельно малых размеров (менее 4 нм) [2]. Известно, что СЗЛ успешно применялась для наноструктурирования как классических полупроводников (кремний, германий, арсенид галлия), так и перспективных для наноэлектроники и нанофотоники двумерных материалов (графен, дихалькогениды переходных металлов) и оксидов переходных металлов (диоксид титана, оксиды ванадия) [3].

Оксиды переходных металлов, в особенности диоксид ванадия (VO_2), привлекают исследователей наличием сверхбыстрого фазового перехода полупроводник-металл (менее 26 фс), который инициируется достаточно низкой температурой (67°C). При этом кристаллическая и электронная структуры VO_2 претерпевают значительные изменения, сопровождаемые изменением проводимости до 5 порядков [4]. Благодаря описанным выше свойствам, поликристаллические пленки VO_2 получили широкое применение во многих современных устройствах [5]. Тем не менее, предельные свойства материала достигаются на монокристаллах и наноструктурах VO_2 , формирование которых до сих пор представляет собой нерешенную задачу. Ранее нами было исследовано ЛЭО пленок оксидов ванадия, выявлены основные факторы, влияющие на процесс литографии, продемонстрирована возможность формирования одиночных наноструктур заданных размеров на аморфных пленках оксидов ванадия и поликристаллических пленках VO_2 . Было показано, что в процессе окисления образуется предельный оксид ванадия (V_2O_5), который является водорастворимым, что позволяет производить травление окисленных участков пленки без использования агрессивной среды, применяя только дионизированную воду [6,7]. Цель данной работы состоит в создании упорядоченных массивов наноструктур VO_2 методом растровой сканирующей зондовой литографии.

Формирование наноструктур производилось на аморфных пленках VO_2 , синтезированных на проводящей подложке Si n-типа (0.001-0.005 Ом·см) методом атомно-слоевого осаждения. Условия синтеза исследуемых пленок: прекурсор – тетракис-этилметиламинованадий ((EtMeN)4V), давление – 30 Па, температура – 170°C , скорости потока газов – 24 мл/мин. Толщина синтезированных пленок составила – 11.3 нм. В работе использовался атомно-силовой микроскоп Solver P47 PRO (NT_MDT, Россия), а также проводящие зонды серии HA_C/Pt (TipsNano, Россия). ЛЭО проводилось при следующих условиях:

$T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха – 40% и напряжение смещения $U = 8\text{ В}$. Для формирования наноструктур заданных параметров был создан шаблон растровой СЗЛ (Рис. 1). Он представляет собой трафарет, на котором черный цвет отвечает за участки, подлежащие окислению АСМ-зондом (подается напряжение), а белый цвет – участки, на которых окисления не происходит. Растровая СЗЛ участка плёнки VO_2 , площадью $20 \times 20\text{ мкм}^2$, производилась со скоростью 2 мкм/сек . В результате проведения процесса ЛЭО получена окисленная область, состоящая из предельного оксида ванадия – V_2O_5 , содержащая массив неокисленных ямок ромбической формы с длиной стороны около 750 нм (Рис. 2). Высота сформированной окисленной структуры лежит в диапазоне от $3\text{ до }6\text{ нм}$.

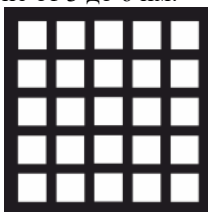


Рис. 1 – Схема шаблона растровой сканирующей зондовой литографии.

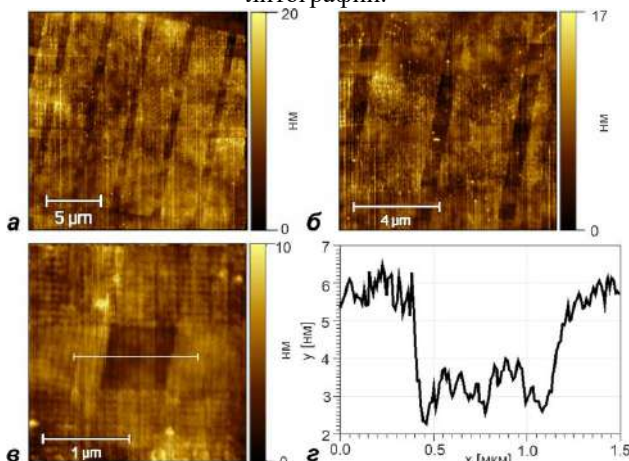


Рис. 2 – АСМ-изображение произведенного ЛЭО аморфной пленки VO_2 . а) Общий план литографического рисунка на площади $20 \times 20\text{ мкм}^2$; б) массив неокисленных ямок, образованных при ЛЭО; в) одиночная ямка, образованная при ЛЭО; г) Профиль ямки, взятый вдоль белой линии на рисунке в.

Сформированная окисленная структура удалялась с помощью травления в деионизированной воде в течение 30 секунд. Сушка образца производилась сжатым воздухом. В результате травления окисленные структуры из V_2O_5 полностью были удалены. В сформированном углублении сохранились неокисленные участки плёнки VO_2 , которые представляют собой массив островков ромбовидной формы с длиной стороны около 750 нм и высотой до 9 нм (Рис. 3). Таким образом, можно создавать различные наноструктуры с заданной геометрией и плотностью элементов.

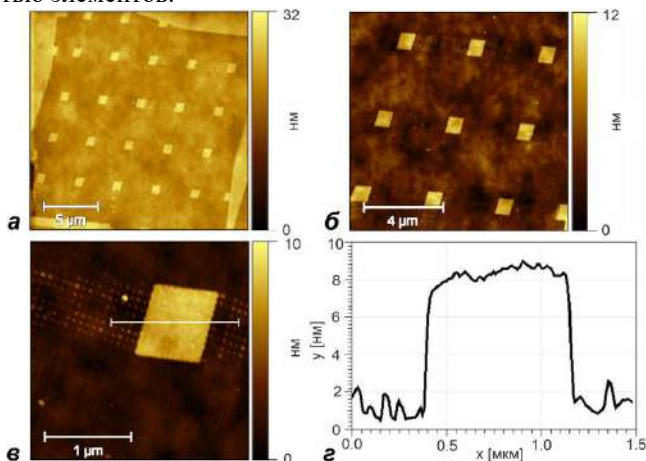


Рис. 3 – АСМ-изображение массива наноструктур VO_2 , полученного травлением окисленных областей в деионизированной воде. а) Общий план сформированного рисунка на площади $20 \times 20 \text{ мкм}^2$; б) массив островков аморфного VO_2 ; в) одиночный островков аморфного VO_2 ; г)

Профиль ямки, взятый вдоль белой линии на рисунке в.

В данной работе продемонстрировано применение растровой сканирующей зондовой литографии в качестве метода формирования массива островков аморфного VO_2 размерами менее 1 мкм. Метод перспективен для создания элементов нанoeлектроники и нанофотоники.

Работа выполнена при финансовой поддержке российского научного фонда (грант № 21-19-00873).

Литература:

1. Fan P., Gao J., Mao H., Geng Y., Yan Y., Wang Y., Goel S., Luo X. Scanning Probe Lithography: State-of-the-Art and Future Perspectives // Micromachines. – 2022. – Vol. 13, N 2. – P. 228. – doi: 10.3390/mi13020228.

2. *Hu H., Kim H. J., Somnath S.* Tip-Based Nanofabrication for Scalable Manufacturing // *Micromachines*. – 2017. – Vol. 8, N 3. – P. 90. – doi:10.3390/mi8030090.

3. *Ryu Y. K., Garcia R.* Advanced oxidation scanning probe lithography // *Nanotechnology*. – 2017. – Vol. 28, N 14. – P. 142003. – doi: 10.1088/1361-6528/aa5651

4. *Bahlawane N., Lenoble D.* Vanadium oxide compounds: structure, properties, and growth from the gas phase // *Chemical Vapor Deposition*. – 2014. – Vol. 20, –N 7-8-9. – P. 299-311.

5. *Ke Y., Wang S., Liu G., Li M., White T. J., Long Y.* Vanadium dioxide: The multistimuli responsive material and its applications // *Small*. – 2018. – Vol. 14, – N 39. – P. 1802025.

6. *Komonov A. I., Mantsurov N. D., Mutilin S. V., Voloshin B. V., Seleznev V. A.* Nanolithography of Amorphous Vanadium Oxide Films Using an Atomic Force Microscope // 2022 IEEE 23rd International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), june. 2022: Proceedings. – IEEE, 2022. – P. 20-24.

7. *Mantsurov N. D., Komonov A. I., Mutilin S. V., Yakovkina L. V., Kichay V. N.* Nanostructure Formation from Polycrystalline Vanadium Dioxide Films Using an Atomic Force Microscope // 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), june. 2023: Proceedings. – IEEE, 2023. – P. 170-175.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ МЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ В ПРОЦЕССЕ ДЕФОРМАЦИИ РАСТЯЖЕНИЕМ

И.Е. Насенник

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

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

В работе проводились исследования медной проволоки, подвергнутой испытанию на одноосное растяжение. По результатам испытания, были проанализированы изменения ширины дифракционных максимумов, проведены расчеты параметра решетки, главной кристаллографической оси и размеров областей когерентного рассеяния.

In the work, studies of copper wire subjected to uniaxial tension testing were carried out. According to the test results, changes in the width of the diffraction maxima were analyzed, calculations of the lattice parameter, the main crystallographic axis and the sizes of the coherent scattering regions were carried out.

В современном мире исследование материалов в процессе растяжения с высоким временным разрешением имеет большую роль для понимания структурных преобразований. Одним из наиболее перспективных методов проведения таких исследований является дифракция синхротронного рентгеновского излучения. Использование данного метода позволяет проанализировать эволюцию структуры, а также рассчитать параметры решетки и параметр ширины дифракционного пика (FWHM), как величины характеризующей накопление внутренних напряжений.

Для дальнейшей работы в данной области, необходимо было провести съемку модельного материала, которым выступает медь, сохраняющая однофазную ГЦК решетку в процессе деформации. В работе исследовалась отожженная медная проволока (850°C, 2 часа) диаметром $\varnothing = 1,5$ мм. Растяжение осуществляли со скоростью $v = 0,05$ мм/с, до степени деформации $\varepsilon = 20\%$. Дифрактограммы были получены в просвечивающем режиме с шагом деформации 4%. Исследования проводились на станции “Жесткая рентгенокопия” источника синхротронного излучения ВЭПП-4 Института Ядерной Физики СО РАН. Данные были получены с помощью анализа профиля пика функцией псевдо-Войта.

В работе проводился анализ изменения параметра решетки в процессе пластической деформации [1]. Расчет осуществлялся методом наименьших квадратов, с применением формулы 1.

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (1)$$

где, d_{hkl} – межплоскостное расстояние, нм; a – параметр решетки, нм; h, k, l – индексы Миллера отражающих плоскостей.

С помощью анализа профиля дифракционного пика были получены значения ширины пиков (FWHM), в соответствии с которыми были сделаны выводы относительно появления дефектов в кристаллической решетке. Размеры областей когерентного рассеяния для каждой степени деформации были рассчитаны с использованием различных вариантов метода Вильямссона - Холла [2] и определения коэффициента детерминации каждого расчета. На основании полученных данных были сделаны выводы относительно точности каждого используемого варианта.

Проведенные исследования, позволили рассчитать параметры и деформацию кристаллической решетки медной проволоки в процессе растяжения. Кроме того, в работе были сформулированы выводы относительно возможности применения вариаций метода Вильямсона -

Холла для исследования структуры и расчета характеристик анизотропных материалов. А также на основании уравнения Полани [3], определена главная кристаллографическая ось в качестве текстурного параметра.

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.

Литература:

1. *Williamson, G. K., and W. H. Hall.* "X-ray line broadening from filed aluminium and wolfram." *Acta metallurgica* 1.1 (1953): 22-31.

2. *Ungár, T., and A. Borbély.* "The effect of dislocation contrast on x-ray line broadening: a new approach to line profile analysis." *Applied Physics Letters* 69.21 (1996): 3173-3175.

3. *Цыбуля С. В.* Введение в структурный анализ нанокристаллов: учебное пособие / *С. В. Цыбуля, С. В. Черепанова.* – Новосибирск: НГУ, 2008. – 92 с.

ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКОЙ ПОРОШКА СПЛАВА NiCr

А. Насырова, Е.А. Дробяз

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nasugova.alina98@mail.ru**

Научный руководитель: Батаев В.А., д.т.н., профессор

Были исследованы покрытия, полученные вневакуумной электронно-лучевой наплавкой с использованием установки УНУ Стенд ЭЛВ-6 производства ИЯФ СО РАН на поверхности хромоникелевой аустенитной стали. Было показано, что параметры наплавки влияют на структуру и механические свойства полученных покрытий.

Coatings obtained on the surface of chromium-nickel austenitic steel by non-vacuum electron beam cladding using the facility UNU Stand ELV-6 at the BINP were studied. It was shown the cladding parameters affect the structure and mechanical properties of the resulting coatings.

Сплавы на основе никеля с добавлением хрома хорошо известны благодаря высокой жаростойкости из-за формирования плотных оксидных слоев (Cr_2O_3 , NiCr_2O_4 и NiO), препятствующих окислению основного материала [1]. Считается, что образование плотного сплошного слоя Cr_2O_3 определяет высокую жаростойкость сплава NiCr. Содержание хрома в сплаве оказывает большое влияние на рост исходного оксида и микроструктуру оксидной пленки. Доказано, что сплав на основе никеля с содержанием хрома 20-30 % является оптимальным вариантом для применения в условиях высоких температур [1, 2]. Известно, что легирование сплава NiCr такими элементами, как молибден и вольфрам, способствует увеличению коррозионной стойкости сплава в агрессивных средах [3]. Данный факт позволяет расширить область применения сплавов NiCr.

Вневакуумная электронно-лучевая наплавка является перспективной технологией для формирования плотных покрытий из порошковых материалов. Покрытия, полученные данным методом, характеризуются высокой адгезией с основным материалом и низкой концентрацией дефектов. Варьирование параметров наплавки позволяет получить покрытия с желаемыми свойствами.

Цель данной работы заключается в оценке влияния параметров наплавки на процессы оплавления и диффузионного перемешивания компонентов покрытия системы NiCr и основного материала.

Для формирования покрытий была использована установка УНУ Стенд ЭЛВ-6 производства Института ядерной физики СО РАН. В качестве наплавляемого материала был использован порошковый сплав системы NiCr. Покрытия наносили на листовые заготовки размером $50 \times 100 \times 10$ мм из хромоникелевой аустенитной стали 12X18H9T. Параметры наплавки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры вневакуумной электронно-лучевой наплавки

Скорость, мм/с	Сила тока, мА	Энергия электронного пучка, МэВ	Масса порошка на единицу площади, г/см ²	Количество слоев
20	20	2,5	0,8	1
	17			1
	15			1
	15			2

Микроструктурные исследования были проведены на оптическом микроскопе Carl Zeiss AxioObserver Z1 m. Структура материалов выявляли химическим травлением в смеси концентрированной азотной

и соляной кислот в соотношении 1:3 по объему. Измерения микротвердости были осуществлены на микротвердомере Wolpert Group 402MVD при нагрузке на алмазный индентор 0,98 Н.

В процессе вневакуумной электронно-лучевой наплавки формируются покрытия, толщина которых зависит от силы тока (рисунок 1). С увеличением силы тока глубина проплавления увеличивается. Толщина покрытия изменяется от 1,2 мм при токе пучка 15 мА до 3,8 мм при токе 20 мА. Двухслойная наплавка так же приводит к увеличению толщины покрытия до 3,2 мм.

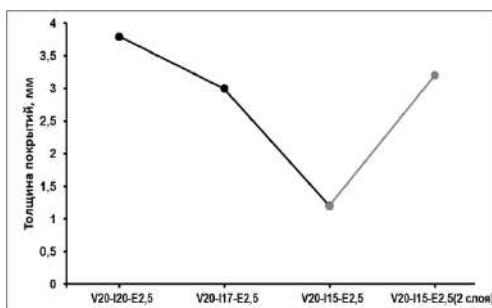


Рис. 1 – Толщина покрытий

Структура наплавленных слоев в поперечном сечении представлена на рисунке 2. Структура наплавленных слоев характеризуется дендритным строением. Кристаллы дендритов растут преимущественно перпендикулярно поверхности основного материала в направлении теплоотвода при охлаждении (рисунок 2, а и б). Покрытия, полученные при силе тока 15 мА, характеризуются мелкодисперсным строением (рисунок 2, в и г).

Результаты измерений микротвердости (рисунок 2) показали, что максимальная твердость наблюдается в однослойных и двуслойных образцах, полученных при силе тока 15 мА. Твердость достигает ~ 900...950 НВ. При повышении тока пучка микротвердость покрытий снижается до ~ 400...450 НВ. Понижение микротвердости может быть связано с разбавлением наплавляемой порошковой смеси основным металлом, вследствие, увеличения термического вклада в ходе электронно-лучевой наплавки.

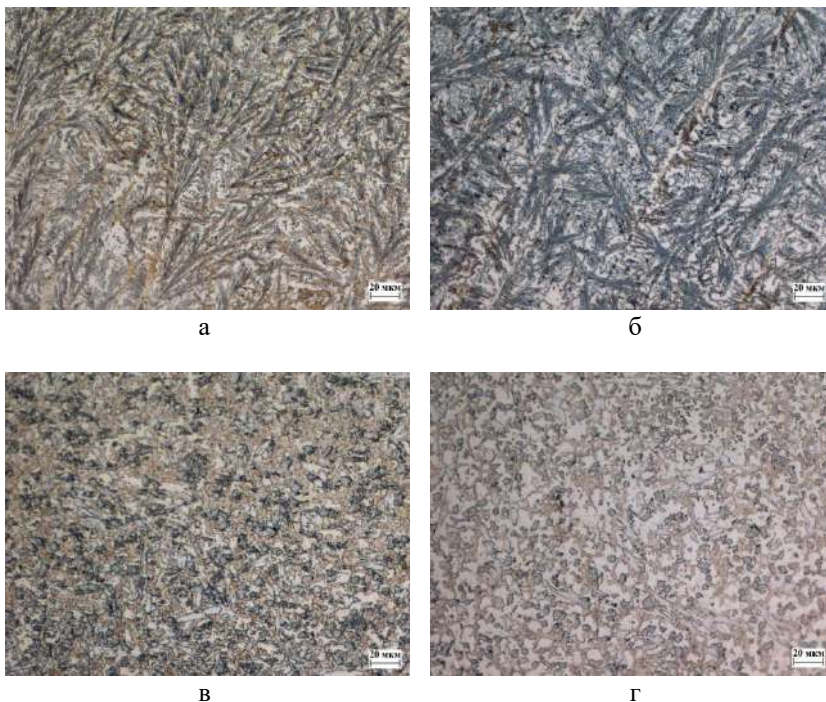


Рис. 2. – Структура наплавленных слоев:
 а – V20-I20; б – V20-I17; в – V20-I15; г – V20-I15(2 слоя)

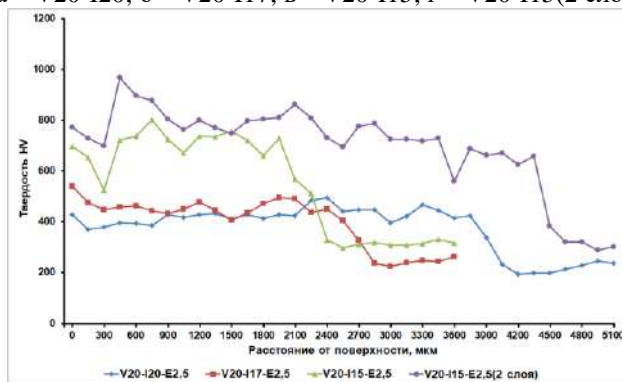


Рис. 3 – Результаты измерения микротвердости

В заключении можно сделать следующие выводы.

1. Параметры вневакуумной электронно-лучевой наплавки оказывают непосредственное влияние на толщину легированного слоя.

Увеличение тока пучка при обработке приводит к формированию покрытия толщиной до 3,8 мм.

2. Для получения покрытий системы NiCr, обладающих высокими показателями твердости (~950 HV) наиболее эффективным является режим $E = 2,5 \text{ МэВ}$; $V = 20 \text{ мм/с}$; $I = 15 \text{ мА}$.

В работе для проведения исследований было использовано оборудование Центра коллективного пользования «Структура, механические и физические свойства материалов» Новосибирского государственного технического университета.

Литература:

1. Microstructure and Oxidation of NiCr Alloys Studied by Analytical In Situ Environmental TEM / *S. Liu, Y. Chen, Z. An, J. Zhao, H. Lu, Y. Jiao, L. Xie, A. Li, X. Han* // Corrosion Science. – 2023. – Vol. 224. – P. 111525. – doi: 10.2139/ssrn.4316478.

2. In-situ transmission electron microscopy study of surface oxidation for Ni–10Cr and Ni–20Cr alloys / *L. Luo, L. Zou, D. K. Schreiber, D. R. Baer, S. M. Bruemmer, G. Zhou, C.-M. Wang* // Scripta Materialia. – 2016. – Vol. 114. – P. 129–132. – doi: 10.1016/j.scriptamat.2015.11.031.

3. *H. Sun, P. Zhang, J. Wang*. Effects of alloying elements on the corrosion behavior of Ni-based alloys in molten NaCl-KCl-MgCl₂ salt at different temperatures // Corrosion Science. – 2018. – Vol. 143. – P. 187–199. – doi: 10.1016/j.corsci.2018.08.021.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА БОРИДА МОЛИБДЕНА В ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАЗМЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Ю.З. Васильева, Ю.А. Некля, М.Я. Сперанский

Томский политехнический университет, г. Томск, yan26@tpu.ru

Научный руководитель: Васильева Ю.З., к.т.н.

Проведены экспериментальные исследования по получению боридов молибдена в атмосферной плазме переменного тока. Исследована зависимость температуры и энергии дугового разряда от времени.

Experimental studies have been carried out on the production of molybdenum boride in atmospheric alternating current plasma. Thermal synthesis processes have been studied. The dependence of the temperature and energy of the arc discharge on time has been studied.

Борид молибдена – это один из важных искусственных соединений, который привлекает большое внимание в научных и промышленных кругах. Он обладает рядом уникальных свойств, которые делают его ценным материалом в различных областях науки и промышленности. Среди них можно отметить высокую температурную стабильность, жесткость и прочность, что делает его привлекательным для использования в высокотемпературных приложениях [1]. Борид молибдена имеет высокую точку плавления и отличную устойчивость к окислению и коррозии, что делает его незаменимым в условиях высоких температур и агрессивной окружающей среды. Кроме того, он обладает низким коэффициентом трения, высокой электропроводностью и превосходными механическими свойствами, что делает его подходящим для применения в электронике, катализе и других областях [2]. В авиационной и космической отрасли борид молибдена применяется для изготовления термозащитных покрытий, а также в конструкции деталей, работающих при экстремальных условиях.

Для получения борид молибдена существует несколько способов, наиболее известные: высокотемпературный синтез [3], метод дуговой плавки [2], а также механохимический метод [4]. Данные методы подразумевают наличие инертной газовой среды или вакуума, что усложняет конструкцию устройства, необходимого для процесса синтеза. Перспективным методом на данный момент является синтез боридов и карбидов в дуговом разряде постоянного тока [5,6]. Особенностью такого подхода является замена инертной среды на атмосферный воздух. В данной работе представлены исследования по получению борид молибдена в дуговом разряде переменного тока в открытой воздушной среде.

Целью исследования является изучение тепловых процессов синтеза борид молибдена в атмосферной плазме постоянного тока.

Серию экспериментальных исследований проводили на дуговом реакторе переменного тока с двумя графитовыми электродами. Один из них выполнен в форме стержня диаметром 14 мм, а второй в форме тигля с диаметром 40 мм. Подготовка смеси состояла в перемешивании порошка молибдена и бора в шаровой мельнице. Исходную смесь порошков молибдена и бора загружали в тигель и помещали в реактор. Для иницирования дугового разряда подвели графитовый стержень в полость тигля и выдерживали от 20 до 60 с. После процесса синтеза полученный порошок собирали со дна тигля. Для измерения температуры сырья использовали пирометр DT-9862, который закрепляли в крайней верхней точке тигля. Значения тока и напряжения регистрировали с помощью осциллографа. На основе

зарегистрированных осциллограмм тока и напряжения было рассчитано значение энергии процесса синтеза.

На рисунке 1 представлен график зависимости температуры и энергии процесса горения дуги от времени. Как видно из графика, энергия возрастает с увеличением времени обработки сырья плазмой с 140 до 408 кДж, это логично и объясняется тем, для поддержания стабильного горения дуги необходимо большее значение мощности. Иными словами, зависимость энергии горения разряда от времени линейна. Закономерно, что с увеличением времени и, соответственно, энергии возрастает температура в верхней точке тигля. Её значения возрастают с 1393 до 1858 °С линейно. Авторами отмечено [4], что для образования фаз борида молибдена достаточное значение температуры составляет порядка 1000-1500 °С.

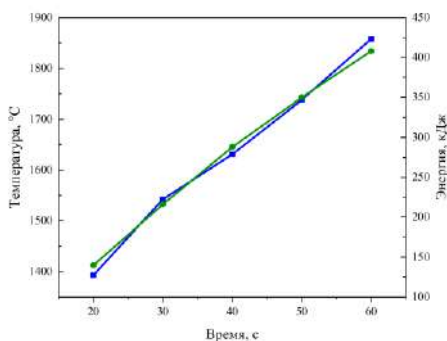


Рис. 1 – График зависимости температуры и энергии процесса горения дугового разряда от времени

В результате экспериментальных исследований по получению борида молибдена в плазме дугового разряда переменного тока была исследована зависимость температуры и энергии дугового разряда от времени.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-01145, <https://rscf.ru/project/23-79-01145/>.

Литература:

1. Зеликман А.Н., Б.Г. Коршунов. *Металлургия редких металлов.* – М: *Металлургия.* – 1991. – 432 с.
2. Park H., Encinas A., Scheifers J. P., Zhang Y., Fokwa B. P. Boron-dependency of molybdenum boride electrocatalysts for the hydrogen

evolution reaction // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2017. – Vol. 56. – №. 20. – P. 5575-5578.

3. *Yeh C. L., Hsu W. S.* Preparation of molybdenum borides by combustion synthesis involving solid-phase displacement reactions // *Journal of alloys and compounds*. – 2008. – Vol. 457. – №. 1-2. – P. 191-197.

4. *Kudaka K., Iizumi K., Sasaki T., Okada S.* Mechanochemical synthesis of MoB₂ and Mo₂B₅ // *Journal of alloys and compounds*. – 2001. – Vol. 315. – №. 1-2. – P. 104-107.

5. *Vassilyeva Y. Z., Pak A. Y., Kononenko P. N., Yakich T. Y., Mostovshchikov A. V., Shanenkov I. I.* Vacuumless Arc Discharge Synthesis of Molybdenum Carbide-Based Powders at Various Discharge Currents // *Inorganic Materials*. – 2022. – Vol. 58. – №. 3. – P. 265-270.

6. *Pak A. Y., Rybkovskiy D. V., Vassilyeva Y. Z., Kolobova E. N., Filimonenko A. V., Kvashnin A. G.* Efficient Synthesis of WB_{5-x}-WB₂ Powders with Selectivity for WB_{5-x} Content // *Inorganic Chemistry*. – 2022. – Vol. 61. – №. 18. – P. 6773-6784.

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НИКЕЛЬ - ДИБОРИД ХРОМА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ

П.М. Петухова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, polina.ptkhv@gmail.com**

Научный руководитель: Бушуева Е.Г., к.т.н., доцент

В работе исследована структура композиционных электроосажденных покрытий никель - диборид хрома, полученных из сульфатно-хлоридного и сульфаматного электролитов. Проведен рентгенофазовый анализ.

In this work, the structure of composite electrodeposited nickel - chromium diboride coatings obtained from sulfate-chloride and sulfamate electrolytes was studied. X-ray phase analysis was carried out.

В современной гальванотехнике наибольшее распространение приобретает модифицирование электрохимических покрытий путем введения дисперсных частиц в состав покрытия, то есть получение композиционных электроосажденных покрытий (КЭП). Осаждаемый металл называют матрицей композиционного покрытия, а включенные частицы – дисперсной фазой (ДФ). Данный способ электролиза позволяет улучшать эксплуатационные характеристики и свойства покрытий, такие как твердость, стойкость к коррозии и износу и другие.

Исходя из этого, получение КЭП является актуальным направлением в машиностроении, приборостроении и химической промышленности.

Никель был использован в качестве матрицы КЭП, поскольку обладает выгодными характеристиками, такими как магнитные свойства, термостойкость, пластичность и коррозионная стойкость в агрессивных средах [1,2].

В роли ДФ применялся порошок диборида хрома CrB_2 дисперсность до 80 мкм. Частицы обладают сферической формой и высокой химической активностью, в процессе электролиза взаимодействуют с поверхностью осадка, образуя композиционное покрытие. Также они служат центрами кристаллизации, обеспечивая точность копирования микрорельефа осаждаемого изделия и повышая адгезию. Кристаллизация носит многозародышевый характер, что гарантирует получение покрытия с небольшими структурными фрагментами и низкой пористостью [3].

На основе литературных данных и предварительных экспериментов были выбраны состав и рабочие параметры электролиза.

Состав №1: сульфатно-хлоридный электролит и условия осаждения из него следующие: 245 г/л $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 30 г/л H_3BO_3 ; 20 г/л NaCl (х.ч.); 6 г/л NaF ; плотность тока – 0,07 А/см², температура электролита – 50°C, время электролиза – 90 минут.

Состав №2: сульфаматный электролит и условия осаждения: 400 г/л $\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$; 25 г/л H_3BO_3 ; 15 г/л $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; плотность тока – 0,05 А/см², температура электролита – 35°C, время электролиза – 90 минут.

Концентрация порошка CrB_2 : 0,7 %; 2,3 %; 4 %.

Осаждение производилось в электрохимической ячейке объемом 30 мл, в качестве анода использовался графитовый электрод, а в качестве катода - стальной образец марки Ст3, площадь рабочей поверхности составляла 1 см².

На рисунке 1 приведены изображения никелевого покрытия из сульфатно-хлоридного и сульфаматного электролита. Покрытия однородны, поры практически отсутствуют.

Изменение структуры с добавлением частиц диборида хрома с концентрацией 0,7 %, 2,3 % представлены на рисунках 2, 3. На покрытии из сульфатно-хлоридного электролита частицы боридов не обнаружены. В слое из сульфаматного зафиксированы участки обогащенными боридами, но закапсулированы никелевым слоем. Наблюдается неоднородное распределение CrB_2 .

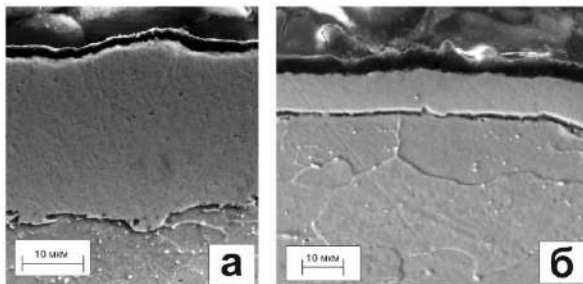


Рис.1 – Изображение никелевого покрытия: а – сульфатно-хлоридный электролит; б – сульфатный электролит

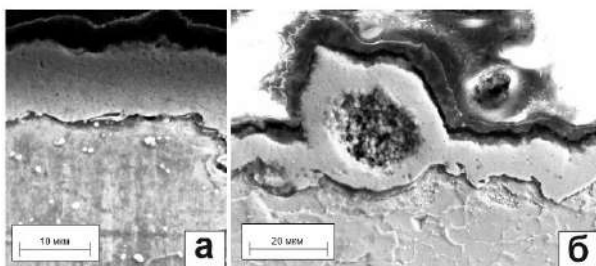


Рис.2 – Изображение никелевого покрытия с добавлением CrV_2 $w = 0,7\%$: а – сульфатно-хлоридный электролит; б – сульфатный электролит

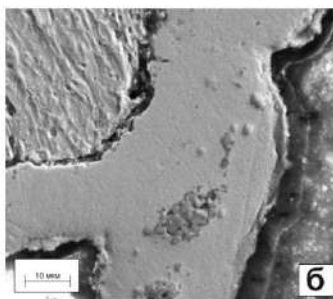
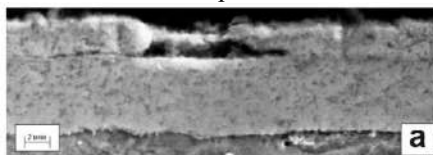


Рис.3 – Изображение никелевого покрытия с добавлением CrV_2 $w = 2,3\%$: а – сульфатно-хлоридный электролит; б – сульфатный электролит

На рисунке 4 приведен рентгенофазовый анализ слоев из сульфатного электролита.

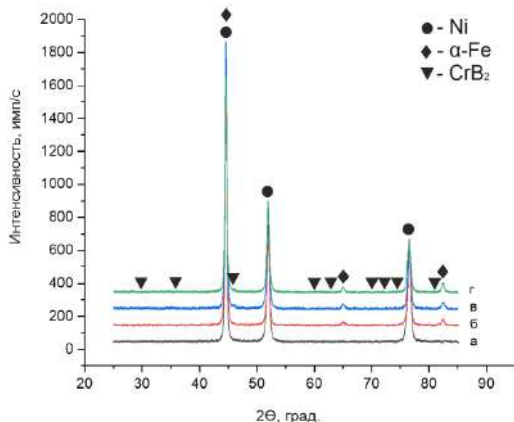


Рис.4 - Рентгенограмма слоев из сульфатного электролита: а – Ni-покрытие; б – Ni-покрытие с добавкой CrB2 w = 0,7 %; в - Ni-покрытие с добавкой CrB2 w = 2,3 %; г - Ni-покрытие с добавкой CrB2 w = 4 %

Таким образом, формирование КЭП удалось создать только в сульфатном электролите, что подтверждается растровой электронной микроскопией и рентгенофазовым анализом. Однако осаждение частиц диборид хрома произошло неравномерно, что негативно может повлиять на механические и физические свойства покрытий.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП "Структура, механические и физические свойства материалов".

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием Минобрнауки России (проект FSUN-2023-0009).

Литература:

1. Corrosion properties of nickel coatings obtained from aqueous and nonaqueous electrolytes / M. Judith Cruz, Irina V. Makarova, Dmitry S. Kharitonov, Illia Dobryden, Alexander A. Chernik, Mario Grageda, Svetlana Ushak. Surface and Interface Analysis (c). – 2019.- Vol.9, N.9 – P.943-953. - doi: 10.1002/sia.6683

2. Гамбург Ю. Д. Гальванопокрытия: справочник по применению - М.: Техносфера, 2006. - 216 с.

3. Галевский, Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г. Наноразмерные бориды и карбиды для гальванотехники, металломатричные покрытия, свойства, экономическая оценка // Обработка материалов: современные проблемы и пути решения. - 2014. - С. 156-159.

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПРОФИЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ДЕФОРМИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОВ

А.В. Прокопец

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, prokopez.2016@stud.nstu.ru

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

С использованием метода дифракции синхротронного рентгеновского излучения исследованы закономерности изменений в структуре меди, железа и никеля при реализации процесса холодной прокатки и нагрева. Профильный анализ проводился с помощью методов Шеррера, Стокса, классического и модифицированного методов Вильямсона-Холла, что с увеличением деформационного воздействия происходит аккумуляция дефектов кристаллической структуры металлов, уменьшается размер области когерентного рассеяния и увеличиваются микроискажения решётки.

In this work, using the synchrotron X-ray diffraction method, the patterns of changes in the structure of copper, iron and nickel during the implementation of the cold rolling and heating process were studied. Peak profile analysis was carried out using the Scherrer, Stokes-Wilson, classical and modified Williamson-Hall methods. It is shown that with increasing deformation and thermal effects, defects in the crystalline structure of metals accumulate, the size of the coherent scattering region decreases, and lattice microdistortions increase.

Железо, медь и никель являются одними из самых распространённых металлов в машиностроении и промышленности, что обуславливается их широким диапазоном ценных технических свойств. Структурно-фазовое состояние металлов определяет их эксплуатационные характеристики. Для исследования структурно-фазового состояния применяется множество методов, среди которых стоит отдельно выделить рентгеноструктурный анализ. Развитие синхротронных источников нового поколения позволяет с высокой скоростью получать дифракционные данные и проводить эксперименты в режиме *in situ* [1, 2]. Однако, обработка большого объёма данных требует разработки новых подходов, позволяющих автоматизировать этот процесс.

Цель данного исследования заключается в выявлении закономерностей эволюции дислокационной структуры металлов при реализации схем холодной пластической деформации и нагрева с применением дифракции синхротронного рентгеновского излучения.

Для исследования микроструктуры использовались образцы чистых металлов, подвергнутых пластической деформации методом холодной прокатки и нагреву. Перед проведением экспериментов образцы

отжигались в вакуумной печи. Холодная прокатка проводилась на регулируемом прокатном стане в несколько стадий.

Для оценки параметров микроструктуры и определения закономерностей их изменения в ходе пластической деформации были проведены эксперименты по дифракции синхротронного рентгеновского излучения на линии P07 «Материаловедение высоких энергий» немецкого электронного синхротрона DESY (г. Гамбург, Германия). Двумерные дифракционные картины получали с использованием детектора PerkinElmer XRD 1621 с разрешением 2048×2048 пикселей. Расстояние от исследуемого материала до детектора составляло 1,992 м. Длина волны рентгеновского излучения составляла 0,12Å.

Методика Шеррера предполагает, что полуширина дифракционных пиков зависит лишь от размера кристаллитов и обратно пропорциональна размеру областей когерентного рассеяния (ОКР) (рис. 1).

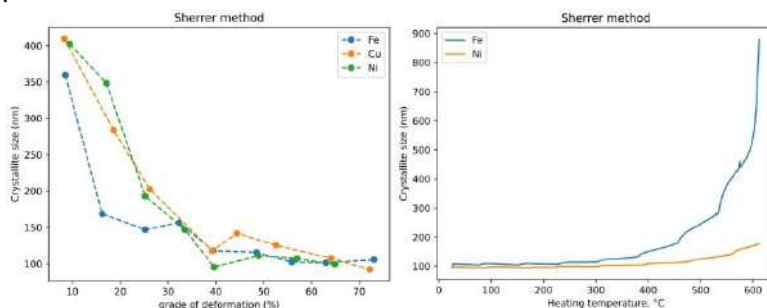


Рис.1 – Зависимость размера ОКР от величины степени обжатия и температуры нагрева по методу Шеррера

Метод Стокса-Вильсона, в свою очередь, основан на предположении, что полуширина прямо пропорциональна величине микродеформаций (вариаций межплоскостных расстояний) в кристаллической решётке (рис. 2).

Так как эти методы учитывают вклад в уширение дифракционных линий только за счёт одного из эффектов – либо размера ОКР, либо величины микродеформаций, на практике их использование встречается редко, так как для каждого пика не ясно, чем именно обусловлено его уширение – существует метод Вильямсона-Холла, в котором предложено графическое определение вклада размеров ОКР и величины микродеформаций в структуру материала. В этом методе строится график зависимости $\beta \cos\theta$ от $\sin\theta$, после аппроксимации которого получаем значения размеров ОКР и микродеформаций. Этот метод не универсален и не подходит для материалов с сильной анизотропией

упругих свойств, для которых характерны существенные различия в величинах микроискажений в различных кристаллографических направлениях. В нашем исследовании эта методика проявила низкую эффективность.

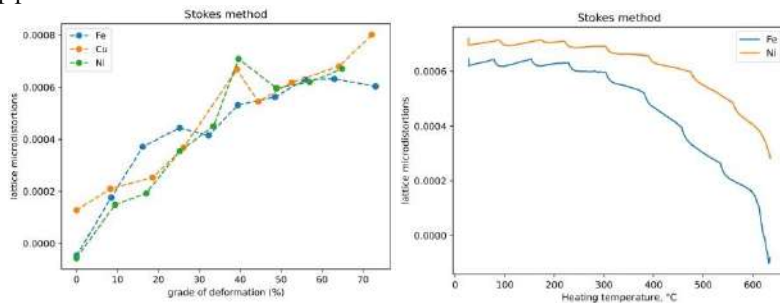


Рис.2 – Зависимость величины микроискажений от величины степени обжатия и температуры нагрева по методу Вильсона-Стокса

С точки зрения методов Вильсона-Стокса и Шеррера наблюдаем, что при деформации холодной прокаткой материалы при одинаковых степенях деформации имеют близкие значения размеров ОКР и величин микроискажений решётки. Размеры ОКР изменяются в диапазоне $\sim 400 - 100$ нм, величина микроискажений изменяется от 0.0 до 0.0008.

При нагреве наблюдаем, что с повышением температуры полуширина уменьшается как для железа, так и для никеля. Для никеля это снижение происходит более плавно, что свидетельствует о его стойкости к окислению при повышенных температурах. Так же на высоких температурах в диапазоне 400-600 °C наблюдаем резкий рост размера ОКР для железа. Величина микроискажений для обоих материалов сначала практически не меняется, после чего происходит её плавное уменьшение в диапазонах $\sim 0.0006-0.0$ и $\sim 0.0007-0.0003$ для железа и никеля соответственно.

Таким образом, на основе полученных данных было установлено, что с увеличением деформационного воздействия происходит аккумуляция дефектов кристаллической структуры металлов, уменьшается размер области когерентного рассеяния и увеличиваются внутренние микронапряжения.

Литература:

1. Батаев В. А. Методы структурного анализа материалов и контроля качества деталей : учебное пособие / В. А. Батаев, А. А. Батаев, А. П. Алхимов. – Новосибирск, 2006. - 219 с.
2. Тернов И. М., Михайлин В. В. Синхротронное излучение. Теория и эксперимент. – М.: «Энергоатомиздат», 1986. – 296 с.

ФОРМИРОВАНИЕ БОРИДОВ $V_xCr_yB_z$ НА СТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Е.А. Пухова, Е.Г. Бушуева

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, pukliza@yandex.ru

Научный руководитель: Батаев В.А., д.т.н., профессор

В данной работе проводилась оценка влияния концентрации ванадия, хрома и бора на структуру и состав легированных хромом боридов ванадия. Бориды формировались на поверхности хромоникелевой аустенитной стали 12X18H9T методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки. Так же был оценен уровень механических свойств, методом определения микротвердости сформированных слоев.

In this work, the influence of vanadium, chromium and boron concentrations on the structure and composition of chromium-doped vanadium borides were evaluated investigated. The borides were formed on the surface of chromium-nickel austenitic steel 12Cr18Ni9Ti by the method of non-vacuum electron beam surfacing. The level of mechanical properties was also assessed by the microhardness of the layers.

Бориды ванадия играют важную роль в материалах для энергетики и атомной промышленности, обеспечивая высокий уровень жаростойкости и жаропрочности, из которых изготавливается большинство высоконагруженных конструкций. Формирование этих боридов в поверхностных слоях стали 12X18H9T позволит повысить ее твердость и износостойкость [1].

Борид ванадия образуется при температуре ≈ 2100 °С [2], следовательно, высокоэнергетические методы, в частности ВЭЛО позволяют создать защитные слои на стальных заготовках [3].

Для оценки влияния концентрации ванадия и бора на формирование боридов, были сформированы образцы нескольких составов. Состав порошковой смеси и режим обработки приведены в таблице 1. В качестве материала основы использовались пластины из стали 12X18H9T размером 100x50x10 мм.

Таблица 1 – Режимы обработки и состав порошковой смеси

	Энергия электронного пучка, МэВ	Ток пучка мА,	Удельная поверхностная энергия, кДж/см ²	Соотношение компонентов, мас. %		
				B	V	Cr
1	1,4	23	6,4	30	45	45
2					49	21
3					21	49

Структура сформированных слоёв представлена на рисунке 1. Обнаружено, что формирование боридов происходит не при всех концентрациях порошковых смесей. Например, при соотношении компонентов 30 % В, 49 % V, 21 % Cr (рисунок 1.б) бориды не наблюдаются. При соотношении 30 % В, 45 % V, 45 % Cr и 30 % В, 21 % V, 49 % Cr (рисунок 1.а и 1.в) формируются вытянутые бориды различного размера.

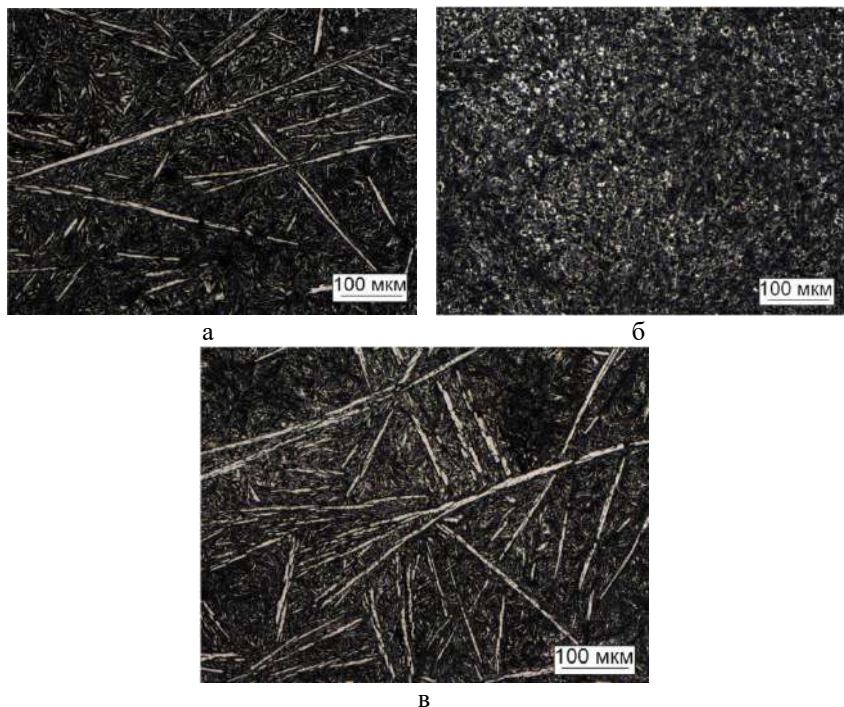


Рис. 1 – Структура сформированных модифицированных слоёв, полученная при различных соотношениях компонентов: а – 30 % В, 45 % V, 45 % Cr; б – 30 % В, 49 % V, 21 % Cr; в – 30 % В, 21 % V, 49 % Cr

На рисунке 2 представлена микротвердость сформированных слоёв. Толщина модифицированного слоя составляет ≈ 3 мм.

Микротвердость модифицированных слоёв выше по сравнению с исходной сталью 12Х18Н9Т (≈ 210 HV_{0,1}). Образцы составов 30 % В, 45 % V, 45 % Cr и 30 % В, 21 % V, 49 % Cr имеют близкое значение микротвердости, которое достигает 500 – 600 HV_{0,1}. При соотношении

компонентов 30 % В, 49 % V, 21 % Cr, где не происходит формирование отдельных боридов, данный показатель снижается до 300 HV_{0,1}.

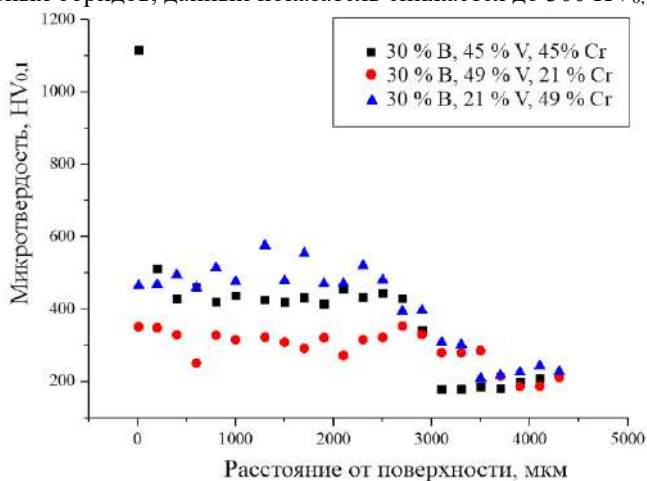


Рис. 2 – Микротвёрдость по поперечному сечению сформированных образцов

Оценка микротвёрдости разных боридов, показала существенную разницу в значениях. Например, микротвёрдость одних боридов составила 2800 HV_{0,1} других 1200 HV_{0,1}. Отличие в значениях микротвёрдости, предположительно можно объяснить различным составом боридов.

Рассмотренные в работе соотношения хрома, ванадия и бора не позволили получить плотное расположение боридов в модифицированных слоях. При использовании соотношения бора/ванадия/хрома 30/45/45 и 30/21/49 мас. % соответственно, уровень микротвёрдости в 2,5 – 3 раза выше микротвёрдости основного металла. Микротвёрдость отдельных боридов достигает 2800 HV_{0,1} что позволяет рассматривать их формирование как перспективные для создания высокопрочных и твердых слоев на поверхности конструкционных сталей.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-00066, <https://rscf.ru/project/23-79-00066/>.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП "Структура, механические и физические свойства материалов".

Работа выполнена с использованием ускорителя электронов ЭЛВ-6 в ИЯФ СО РАН им. Г.И. Будкера.

Литература:

1. *Gidikova N.* Vanadium boride coatings on steel // *Materials Science and Engineering: A.* – 2000. – Vol. 278, No. 1-2. – P. 181–186. – doi.org/10.1016/S0921-5093(99)00596-1.

2. *Милонов А.С.* Стрoение и теплофизические свойства слоев боридов и карбидов ванадия, формируемых в вакууме электронным пучком: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Улан-Удэ, 2007. – 24 с.

3. *Голковский М.Г.* Закалка и наплавка релятивистским электронным пучком вне вакуума. Технологические возможности метода. – Саарбрюккен: LAPLAMBERT Academic Publishing, 2013. – 317 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НАПЛАВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА CoCrFeNiMn, УПРОЧНЕННОГО ЧАСТИЦАМИ Cr₃C₂

А.Е. Ризницкий, Д.В. Худяков

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, alexandr_riznitsky@gmail.com

Научный руководитель: Юргин А.Б., м.н.с.

В рамках данной работы был проведен анализ структуры наплавленных покрытий на основе CoCrFeNiMn, полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки, и изучено влияние частиц Cr₃C₂ в исходном составе. Изучена тенденция изменения микротвердости.

This work involved an analysis of the structure of deposited coatings based on CoCrFeNiMn obtained by the non-vacuum electron-beam deposition method, and the influence of Cr₃C₂ particles in the initial composition. The trend of microhardness variation was studied.

Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) – сплавы, состоящие из 5 и более элементов с концентрацией каждого 5 – 35 % ат. В последние годы высокоэнтропийные сплавы представляются интересными материалами для изучения, так как предполагается, что высокая энтропия смешения позволяет снизить вероятность образования хрупких интерметаллидных фаз. В исследовании [1] отмечаются такие механические свойства ВЭС как: высокая прочность, пластичность, коррозионная стойкость.

Целью данной работы является изучение структурных особенностей и микротвёрдости композиционных наплавленных покрытий на основе CoCrFeNiMn, упрочненных частицами Cr₃C₂ различной дисперсности.

Образцы получались методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки экваторной смеси порошков Co, Cr, Ni, Mn с добавкой Cr_3C_2 в количестве 30 % ат. от общей массы металлических порошков. Покрyтия наносились на подложку из стали 20. Порошок железа не добавлялся в состав смеси, так как в процессе наплавки, помимо плавления исходных порошков, так же плавится материал подложки, вследствие чего в ванну расплава поступает железо.

Анализ микроструктуры наплавленных покрытий проводили металлографическим методом, с применением оптического светового микроскопа Carl Zeiss Axio Observer. Анализируя полученные снимки (рис. 1), можно отметить ярко выраженную вертикально ориентированную дендритную структуру, состоящую из кристаллов карбида хрома, и высокоэнтропийную матрицу. Дендритное строение объясняется интенсивным теплоотводом в тело стальной подложки и в атмосферу. На снимках, помимо дендритов, так же наблюдается более мелкие кристаллические структуры, образованные в результате столкновения нескольких фронтов кристаллизации.

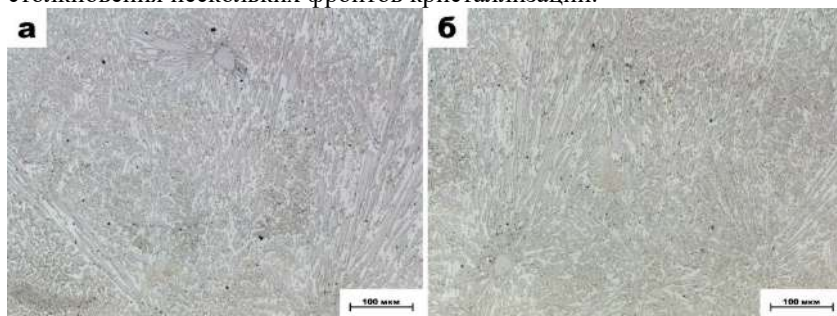


Рис.1 – Фотографии микроструктуры наплавленных слоёв. а, б – дисперсность порошка Cr_3C_2 0,8 – 1,5 мкм и 1 – 20 мкм соответственно

С применением микротвердомера Wolpert Group 402MVD был проведён анализ микротвердости по методу Виккерса, для оценки механических свойств. Разброс значений объясняется формированием большого количества карбидных кристаллов: часть измерений приходится на нее, часть на более мягкую высокоэнтропийную матрицу.

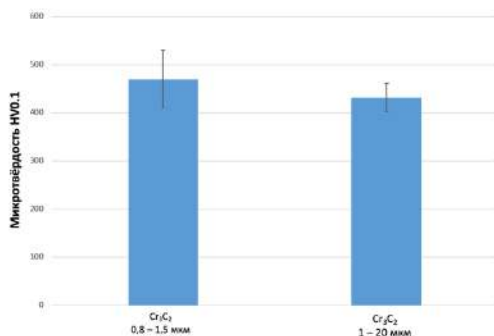


Рис.2 – Микротвердость образцов, усреднённые значения

Исследование структуры наплавленных покрытий из высокоэнтропийного сплава CoCrFeNiMn, упрочнённых частицами Cr₃C₂, с помощью метода оптической световой микроскопии не выявило структурных различий между образцами, полученных из порошков разной дисперсности. Оба материала обладают ярко выраженной дендритной структурой. Анализ микротвердости сплавов также не выявил различий в механических свойствах: составы имеют значения около 450 HV_{0,1} и перекрывающиеся значения доверительного интервала.

Литература:

1. High-Entropy Alloys: A Critical Review / *M.H. Tsai, J. W. Yeh* // *Materials Research Letters*. – 2014. – Vol. 2, iss. 3. –P. 107-123. – doi: 10.1080/21663831.2014.912690.

2. Структура и свойства композиционного покрытия на основе высокоэнтропийного сплава упрочненного частицами CrB / *А.А. Руктуев, А.Б. Юргин, В.С. Шикалов, А.В. Ухина, И.К. Чакин, Е.В. Домаров, Г.Д. Довженко* // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2022. – № 3 (76). – С. 30–50. – doi: 10.17212/1994-6309-2017-3-30-50.

РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СТАЛИ 110Г13Л ПОСЛЕ УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ

С.В. Станкевич

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, stankevich.2016@corp.nstu.ru**

Научный руководитель: Батаев А. А., д.т.н., профессор

Одной из проблем при производстве изделий из стали 110Г13Л является сложность измельчения размера зерна после литья. В исследовании произведена серия отжигов образцов после ударного нагружения, описывается последовательность структурных превращений в процессе нагрева.

One of the problems in the production of Gadfield steel products is the difficulty of grinding the grain size after casting. In the study, a series of annealing of samples after impact loading was performed, a change of the structure after a series of annealing was established.

Сталь 110Г13Л, известная также как сталь Гадфильда широко применяется во многих отраслях промышленности. Основным методом получения изделий из данной стали является литье, что приводит к возникновению литой структуры и увеличенному размеру зерна. Поэтому актуальным является изучение вопроса измельчения размера зерна.

В работе исследовался массивный образец из стали 110Г13Л, подвергнутый ударному нагружению. Была проведена серия экспериментов, посвященная изучению изменений, протекающих в образце при отжиге в вакуумной печи. Был проведен отжиг образца при температурах от 100 до 1000 °С с шагом 100 °С.

В исходном состоянии образец состоял из зерен аустенита и не имел видимых включений карбидов. Для образца была характерна типичная для литого состояния структура, а именно вблизи поверхности присутствовала зона с мелким зерном на границе, в центре наблюдалась зона крупных равноосных кристаллов, а между ними располагалась зона столбчатых кристаллов. Использование световой микроскопии не выявило изменения формы зёрен после ударного нагружения. Тем не менее, для образца было характерно наличие большого количества полос скольжения (рис. 1). Для образца было характерно заметное снижение микротвердости в направлении от обработанной поверхности к центру заготовки. Глубина упрочненного слоя составляла примерно 40 мм, что соответствует результатам исследований, представленных в работе А.А. Дерибаса [1].

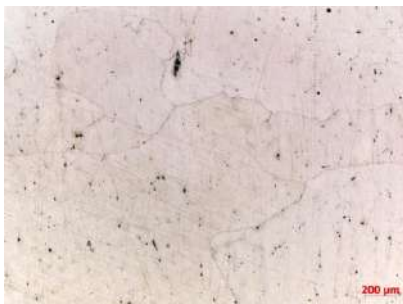


Рис. 1 – Структура образца стали 110Г13Л, подвергнутого ударному упрочнению.

После отжига при температуре 500 °С в структуре выделяется карбидная сетка и игольчатые выделения внутри зерен (рис. 2). При этом у обработанной поверхности образовалась зона шириной около 20 мм с повышенным уровнем микротвердости. После отжига при температуре 700 °С произошло растворение карбидов и выравнивание уровня микротвердости.

После отжига при температуре 900 °С начали образовываться очаги роста новых зерен при рекристаллизации. В процессе роста зерна граница двигалась скачкообразно, что видно благодаря эффекту вакуумного травления (рис. 3).

Отжиг при температуре 1000 °С привел к измельчению зерна в поверхностном слое на глубину около 20 мм (рис. 4). Размер зерна на большей глубине не изменился.



Рис. 2 – Структура образца после отжига при 500 °С.

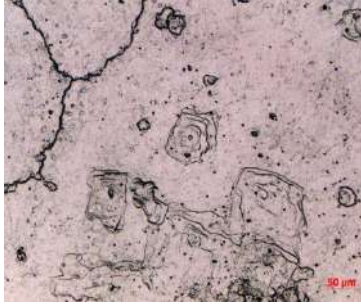


Рис. 3 – Структура образца после отжига при 900 °С.

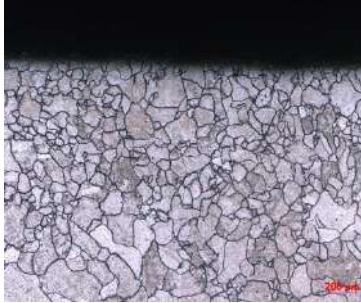


Рис. 4 – Структура образца после отжига при 1000 °С.

В результате проведенного исследования сделаны следующие выводы:

1) при отжиге в интервале температур 500...700 °С в образце выделяются карбидная сетка и игольчатая структура;

2) ударное нагружение с последующим отжигом при 1000 °С приводит к локальному измельчению зерна при рекристаллизации.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП "Структура, механические и физические свойства материалов"

Литература:

1. *Дерибас А. А.* Физика упрочнения и сварки взрывом. — Новосибирск: Наука, 1972

ВЛИЯНИЕ ОКСИДА ЛАНТАНА НА СТРУКТУРУ АЛЮМОЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ

Э.А. Федоренко, Е.Ю. Ким

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, flexevic@mail.ru

Данная работа посвящена изучению структуры и свойств алюмоциркониевой керамики с лантаносодержащими добавками. Полученные образцы были исследованы методом рентгенофазового анализа. Было выявлено, что в спеченном материале образуется гексаалюминат лантана пластинчатой формы.

This work is devoted to the study of the structure and properties of aluminum-zirconium ceramics with lanthanum-containing additives. The obtained samples were examined by X-ray phase analysis. It was found that lamellar-shaped lanthanum hexaaluminate is formed in the sintered material.

Алюмоциркониевая керамика представляет собой инновационный материал, обладающий уникальными свойствами и широким спектром применения. Сочетая в себе высокую прочность алюминия и устойчивость к коррозии циркония, этот композитный материал становится ключевым элементом в современных технологиях. Алюмоциркониевая керамика успешно применяется в различных отраслях, включая медицину, электронику и промышленность. Но такие материалы имеют низкую трещиностойкость. Согласно литературным данным повысить недостатки такого рода возможно за счет добавок оксидов некоторых металлов, образующие гексаалюминаты [1].

В качестве исходных материалов использовали субмикронные порошки α -Al₂O₃, 3Y-ZrO₂ и порошок La₂O₃. Содержание оксида лантана варьировали с целью формирования в структуре спеченных материалов от 3 до 15 масс. % гексаалюмината лантана с шагом 3 масс. %. Использовали высокочистые субмикронные порошки. Материалы были получены путем диспергирования водных суспензий в шаровой мельнице, гранулировании и прессовании при 100 МПа. Спекание проводили свободное при 1520 °С.

В результате, при увеличении содержания исходной добавки оксида лантана можно заметить увеличение кажущейся плотности от 4,39 г/см³ для материала с минимальной добавкой до 4,87 г/см³ и повышение относительной от теоретической плотности от 90,6 до 99,9 %.

При исследовании структуры материала были выявлены соединения пластинчатой формы. Методом рентгенофазового анализа было

доказано, что после введение лантансодержащей добавки в спеченном материале формируется соединение $\text{LaAl}_{11}\text{O}_{18}$, а также $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $t\text{-ZrO}_2$.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП "Структура, механические и физические свойства материалов"

Литература:

1. Земцова Е. Г. Формирование и механические свойства алюмоокислородной керамики на основе микро и наночастиц оксида алюминия / Е. Г. Земцова, А. В. Монин, В. М. Смирнов [и др.] // Физическая мезомеханика. — 2014. — Т. 17, № 6. — С. 53–58.

РАЗРАБОТКА АБРАЗИВНОГО МАТЕРИАЛА ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ

В.С. Шаговская, А.В. Гречухин, И.В. Нечаев
Самарский государственный технический университет,
г. Самара, viktoriakremneva2708@gmail.com
Научный руководитель: Гречухин А.В., ассистент

В настоящее время для полировки поверхностей из оптического стекла применяются суспензии, что приводит к большому расходу полирующих порошков. Применение связанного абразива способствует решению данной проблемы. В ходе работы были изготовлены опытные образцы и проведены испытания для оценки их абразивной способности. На основе полученных данных выбран оптимальный состав абразивного материала.

Currently, suspensions are used to polish optical glass surfaces, which leads to a large consumption of polishing powders. The use of bonded abrasive helps solve this problem. During the work, prototypes were made and tests were carried out to evaluate their abrasive ability. Based on the data obtained, the optimal composition of the abrasive material was selected.

При изготовлении оптических деталей основными процессами для получения точных и чистых поверхностей является доводка и полирование при помощи абразивных порошков [1, 2]. В настоящее время полировка стекла осуществляется свободным абразивом в виде суспензий. Основным недостатком при использовании суспензий является большой расход полирующих порошков, что в свою очередь увеличивает стоимость обработки.

Целью данной работы являлась разработка абразивного материала повышенной эффективности на основе полимерной композиции.

Материал, разрабатываемый в ходе работы, представляет собой полимер-абразивный композит (ПАК), матрицей которого является полимерный материал, а наполнителем – абразивный порошок. Для оценки абразивной способности разрабатываемого материала были изготовлены опытные образцы и проведены их испытания. Состав опытных образцов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав опытных образцов

№ образца	Матрица, % масс.	Наполнитель, % масс.	Добавки, % масс.
1	бакелитовая смола – 25 %	алмаз фракции 14/10 – 60 %	неорганические добавки – 15 %

Продолжение таблицы 1

1			
2	бакелитовая смола – 30 %	алмаз фракции 14/10 – 40 % оксид церия – 10 %	неорганические добавки – 20 %
			

Триботехнические испытания для оценки абразивной способности стеклянной пластины об опытный образец были проведены на установке «Универсал 1-А» (рисунок 1).



Рис. 1 – «Универсал 1-А»

Испытания проводились на образцах №1 и №2, который отличается добавлением в состав оксида церия. В качестве стеклянной пластины использовали два вида: прозрачную и матовую.

Испытания проводились методом «мокрого» трения при нормальной нагрузке 10 кгс, частоте вращения инструмента-образца 580 об/мин в течение 15 минут. Контролируемые параметры – нормальная нагрузка, момент трения.

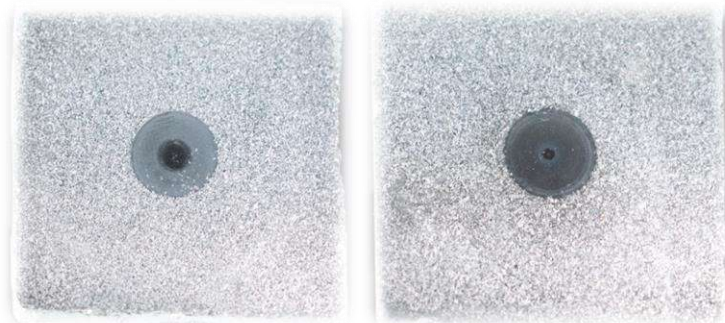
Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний

№ образца	Весовой износ, г		Вид стеклянной пластины
	образца из ПАК	стеклянной пластины	
1	0,0285	0,0258	прозрачная
2	0,0657	0,0493	
1	0,0214	0,0255	матовая
2	0,0534	0,0475	

Результаты испытаний показали, что образцы обладают хорошей полировальной способностью при трении о стеклянные пластины. При этом происходит износ самих образцов, что говорит об обновлении их поверхности. Добавление оксида церия в состав ПАК позволяет увеличить примерно в два раза износ стеклянной пластины по сравнению с образцом ПАК без него.

Оценка внешнего вида матовой стеклянной пластины после полирования (рисунок 2) показала, что использование образца с добавлением оксида церия обеспечивает хорошую полирующую способность и наиболее подходит для полировки твердых стекол.



а б
Рис. 2 – Матовая стеклянная пластина после полировки:
а – образцом № 1; б – образцом № 2

Преимущества разработанного материала заключаются в следующем:

- 1) при изготовлении полировального инструмента из разработанного материала, можно придавать ему форму, повторяющую геометрию обрабатываемой поверхности;
- 2) обработка поверхности осуществляется на физическом и химическом уровнях;
- 3) расход материала будет рациональным, следовательно, уменьшатся потери материала и решится проблема суспензий.

Литература:

1. Качалов Н.Н. Технология шлифовки и полировки стекла. – Л.: изд-во АН СССР, 1953. – 382 с.
2. Кащеев В.Н. Абразивное разрушение твердых тел. – М.: Наука, 1970. – 270 с.

Секция ТЕХНОЛОГИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БРОШИ

К. Д. Галигузова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ksenya9gal@gmail.com**

Научный руководитель: Веселова Ю. В. к.п.н., доцент

Целью проекта является выбор оптимальной технологии изготовления украшения, предназначенного для повседневной носки, а именно латунную брошь, украшенная перегородчатой эмалью. Основной задачей работы стал поиск формы и художественного решения в оформлении изделия, а также подбор подходящих материалов и технологии его изготовления. В работе представлен сравнительный анализ ряда уже существующих технологий изготовления подобных изделий, результатом которого стал бы вариант, отвечающий требованиям точности передачи формы и максимальной экономической выгоды.

The aim of the project is to choose the optimal technology for making jewelry designed for everyday wear, namely a brass brooch decorated with cloisonné enamel. The main task of the work was the search for a form and artistic solution in the design of the product, as well as the selection of suitable materials and technology for its manufacture. The paper presents a comparative analysis of a number of existing technologies for the manufacture of such products, the result of which would be an option that meets the requirements of the accuracy of shape transfer and maximum economic benefit.

Брошь, изначально несшая утилитарную функцию скрепления одежды, постепенно с развитием общества и освоением людьми различных технологий, начала видоизменяться, становиться украшением. Инкрустация драгоценными металлами, добавление ювелирных вставок превратили шаг за шагом простую застёжку на плащ в предмет роскоши, демонстрирующий принадлежность к определённой группе, сословию. Брошь, породившая столько разновидностей, сегодня чаще всего используется в качестве небольшого акцента, дополняющего костюм. А иногда по-прежнему отображает принадлежность человека к какой-либо социальной группе, связанной между собой идеями, интересами или родом деятельности. Развитие технологий позволило значительно упростить и ускорить производство, как следствие, удешевить готовую продукцию такого рода, при этом значительно улучшить качество [1].

Во время разработки дизайна броши было выполнено несколько поисковых эскизов, объединённых одной концепцией, в основу которой легли образы птиц, закомпонованных в геометрические формы. Контуры броши округлой формы выполнены из латуни, что выигрышно подчеркивает фигуру птицы, расположенную в центре, украшенную цветной эмалью.

Самыми распространенными технологиями в изготовлении брошей считаются: литье по выплавляемой модели, литье под давлением и штамповка.

Технологии литья по выплавляемой модели с использованием специального воска хорошо подходит для изготовления брошей любого размера и формы, позволяет передать высокую степень детализации. Это способ изготовления, после которого требуются минимальная механическая обработка. К минусам можно отнести длительность изготовления, а также относительно высокую стоимость, а также еще и сложность многоэтапного процесса [3].

Переходя к технологии литья под давлением хочется отметить, что это самый современный способ изготовления броши из представленных. Суть подобного метода изготовления заготовки состоит в том, что в специальные составные формы, внутри которых нанесен рельеф будущего значка, под высоким давлением поступает жидкий металл, который практически моментально остывает, переходя из жидкого состояния в твердое. Благодаря подобному способу подачи, материал поступает полностью и равномерно, из-за чего количество дефектов сводится к минимуму как и угар [4].

Технология штамповки в основном используется для изготовления значков. Она хороша в изготовлении плоских знаков с бортиками, а также для создания небольшого барельефа на броши, или значке. Необходимо изготовить два вида штампов: основной, для переноса изображения на металл и вырубной, для высечки самого значка из листа металла. После чего с помощью них и мощного прессы, получается заготовка будущего значка, которую в последствии необходимо будет доработать. Хорошо подходящая для малых значков, усложняет работу над большими, так как для этого будет необходим достаточно мощный пресс, что существенно увеличивает стоимость производства, так же, к недостатками можно отнести скорость прихода штампов в негодность из-за постоянной нагрузки [2].

Из всех рассмотренных технологий больше всех для изготовления проектируемой броши соответствует технология литья под давлением, в частности благодаря высокой производительности.

Получив основу для будущей броши, необходимо провести череду механических операций, а именно срезать напильны, которые образовались при заливке, когда ещё жидкий металл попал в щель между частями формы. После необходимо отшлифовать основу и обработать пескоструйным аппаратом.

Для придания золотого оттенка латуни используем технологию гальваники .

После этого выполняем в технологии перегородчатой эмали фигурку птицы. Закладываем цветную эмаль в ячейки, а после помещаем будущее изделие в печь, разогретую до 600 °С, температура достаточная для превращения порошка эмали в стекло, но недостаточная для плавки металла.

По окончании финишной полировки остаётся лишь прикрепить на брошь застёжку. Поскольку брошь небольшого размера и веса для нее идеально подойдёт застёжка бабочка.

Литература:

1. Брошь [Электронный ресурс] URL : wikipedia.org (дата обращения: 09.11.2023).

2. Штампы для значков, изготовление значков штамповкой [Электронный ресурс] URL: http://www.printgifts.ru/statii/shtampy_dlja_znachkov_proizvodstvo_znachkov_shtampovkojj.html (дата обращения: 09.11.2023).

3. Литые значки [Электронный ресурс] URL : http://www.printgifts.ru/statii/litye_znachki.html (дата обращения: 09.11.2023).

4. Значки и медали изготовление литьем . Литейные формы [Электронный ресурс] URL:http://www.printgifts.ru/znachki_i_znachki_izgotovlenie_lityjem.html (дата обращения: 09.11.2023).

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ КОМПЛЕКТА ДЕРЕВЯННЫХ ШАХМАТНЫХ ФИГУР «ЛЕГЕНДЫ ВОСТОКА»

Д. С. Гуляева

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Dianuch14@mail.ru**

Научный руководитель: Веселова Ю. В. к.п.н., доцент

Целью проекта является разработка комплекта деревянных декоративных шахматных фигур для классической версии игры. Дизайн фигур основан на соединении дизайна фигур Стаунтона с узнаваемыми европейскому потребителю ассоциативными образами Китая, что позволит изделию одновременно плавно влиться в существующий ассортимент и выделиться на фоне аналогов.

The aim of the project is to develop a set of wooden decorative chess pieces for the classic version of the game. The design of the figures is based on the combination of the design of the Staunton figures with the associative images of China recognizable to the European consumer, which will allow the product to simultaneously smoothly merge into the existing assortment and stand out against the background of analogues.

Шахматы, какими мы их знаем сегодня, родились из индийской игры чатуранга примерно в 570-х гг. нашей эры. В последующие столетия игра распространилась по всей Азии и Европе и в конечном итоге приняли близкий к современному вид примерно в XVI веке. А придуманный в Европе в середине XIX века дизайн комплекта шахматных фигур Стаунтона стал считаться международной классикой.

По сей день шахматы остаются одной из самых популярных игр. Согласно опросу 2012 года в шахматы регулярно играют 605 миллионов взрослых, что делает шахматистов одним из крупнейших сообществ в мире [2].

Также нельзя не отметить, что культурные ресурсы западного мира постепенно исчерпывают себя, уступая место азиатским веяниям. За последнее десятилетие элементы азиатской культуры плотно вошли в нашу жизнь и наложили отпечаток на многие сферы искусства и потребительского производства.

В связи с этим было принято решение объединить привычный европейский дизайн шахматных фигур с азиатской стилистикой. В основу создания художественного образа изделий легли культура и искусство Китая.

На основе результатов проведенного опроса [3] и анализа существующих на рынке аналогов к изделиям были выдвинуты следующие требования:

- материал должен быть прочным, изделие не должно разрушаться при падении;
- вес фигур должен быть достаточным, чтобы обеспечить их устойчивость, и в тоже время не оказывать нагрузку на игрока во время игры;
- опора должна иметь достаточный размер и ровную поверхность для сбалансированности и устойчивости фигур;
- форма изделий должна быть оптимальной, без выступающих и острых частей;
- размер фигур должен постепенно уменьшаться от короля к пешке;
- изделия должны иметь мягкую подложку на дне фигур для защиты игровой доски и предотвращения шума во время игры.

Разрабатывая изделия для массового потребителя следует учитывать, его возможную непросвещенность в тему. Изделие должно отражать первоначальную задумку, но быть простым и понятным для обывателя.

Был выполнен ряд эскизов, целью которых являлся поиск оптимальной формы, материалов, цветового решения проектируемых изделий. В результате был выбран лучший, с нашей точки зрения, эскиз комплекта шахматных фигур под названием «Легенды Востока».

Данный комплект шахматных фигур был вдохновлен известным романом У. Чэньэня «Путешествие на Запад», описывающим легенды о Царе обезьян.

Представленный комплект выполнен из сосны. Этот материал недорогой и легко обрабатывается. Из-за особенностей форм некоторых фигур комплект изготавливается на фрезерном оборудовании. Также у всех изделий предусмотрена мягкая подложка. Ростовый порядок фигур соблюден. Высота короля 90 мм, диаметр основания — 28 мм.

На фигуры нанесено покрытие «soft-touch» черного и белого цветов матовым лаком SOFT-TOUCH BOHEMIAN [5]. Покрытие обладает хорошей адгезией с деревом, гигиенично, выдерживает длительные истирающие нагрузки, увеличивает ударную прочность [4]. Декоративные детали выполнены из латуни. За счет этого данный набор смотрится лаконично и изящно.

Прототипами для противоборствующих сторон стали главные герои романа и их антагонисты, что отразилось на форме фигур.

- Белые: король – Монах Тан Саньцзан, ферзь – Царь обезьян Сунь Укун, слон – третий ученик Ша Вуцзин, конь – Конь-дракон, ладья – второй ученик Чжу Бацзе, пешка – обезьяна с горы Цветов и Плодов;

– Черные: король – Леди Костяной Демон, ферзь – Шестиухая макака, слон – Царь-демон-бык, конь – Принцесса Железный Веер, ладья – Рэдсан, пешка – низший демон.

Места в иерархии отведены персонажам в соответствии с их способностями и ролью сюжете истории.

Технологический процесс комплекта шахматных фигур осуществляется следующими этапами:

-) разработка 3D-моделей, написание программы и подбор инструмента для фрезерного станка с ЧПУ,
-) черновая и чистовая обработка поверхности на станке с ЧПУ,
-) нанесение матового покрытия при помощи распылителя,
-) изготовление декоративных элементов из латуни,
-) соединение деревянных фигур с металлическими элементами)

Литература:

Скороходов, В.В. Интерес молодежи к восточным культурам: социокультурный анализ на примере традиции боевых искусств Востока / Скороходов В.В., Быховская И.М. // Материалы конф. молодых учен. и студентов РГАФК. - М., 1999. - С. 93-96. (Дата обращения: 21.10.2023).

Гюлумян А.В. Шахматы в мире современных подростков/ А.В.

Г
ю
л
у
М
я

Wikipedia: сайт. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Софт_тач (Дата обращения: 06.11.2023).

Благодарности: Новосибирск, 2023. Матов В.Д., Софт-тач. ВОИПМАН:–Магазин:

ф
о
а
ь
е
к
÷

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШКАТУЛКИ ДЛЯ УКРАШЕНИЙ

с
а
й
т
8

С. А. Зеленских
Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, sofia.zelenskih@mail.ru

·
–
У
Б
h

Научный руководитель: Степанова Н. В. к.т.н., доцент

Целью данной работы является разработка шкатулки под украшения. На современном рынке представлено огромное разнообразие шкатулок. В данной работе обоснованы конструкция, выбор материалов, а также проведен анализ аналогов.

The purpose of this work is to develop a jewelry box. There is a huge variety of jewelry boxes on the modern market. In this paper, the design, the choice of materials are justified, and an analysis of analogues is carried out.

В настоящее время в каждом доме есть мелочи, которые стоит хранить в надежном месте. Украшения, сувениры, документы, открытки и прочие вещи, которые можно хранить в шкатулках. Это могут быть как простые емкости, так и элемент декора или дизайнерское изделие для украшения дома.

Разработанная шкатулка, состоит из трех элементов, сделанных из дерева, украшенных эпоксидной смолой и литой фигурой кошки на верхней части шкатулки. Элементы конструкции соединены между собой металлическим прутком.

Верхний элемент шкатулки состоит из двух деревянных пластин, соединяемых между собой кольцом из эпоксидной смолы, внутри которого расположен механизм с гирляндой для подсветки. Украшением верхней деревянной пластины служит фигурка кошки, сделанная из пластика.

Средний и нижний элементы шкатулки выполнены из дерева и имеют по четыре отсека для хранения украшений.

Технология изготовления шкатулки [1] включает в себя следующие этапы:

1. С помощью ручной резки подготавливаются необходимые элементы для шкатулки разной высоты (две пластины 10 мм и две пластины 40 мм);

2. Изготовление верхнего элемента шкатулки так же делится на несколько частей: заранее подготовленная деревянная пластина обматывается по периметру защитной пленкой, а в центр ставится небольшого радиуса цилиндр, который будет служить отверстием, с боку так же оставляется место под металлический штырь, который будет креплением всей шкатулки, в данную конструкцию заливается эпоксидная смола (любого цвета), на которую крепится деревянная пластина. Фигура кошки к верхней части крепится с помощью самореза.

3. С помощью фрезерного станка в средней и нижней частях конструкции вытачиваются четыре отсека под хранение украшений и отверстие под металлический пруток.

4. Все части шкатулки обрабатываются и полируются в зависимости от материала:

Дерево. Для того, чтобы лак, воск или политура легли равномерно, необходимо выровнять и зачистить поверхность детали. Сделать это можно, только тщательно шлифуя поверхность шлифовальной бумагой разной зернистости. Для обработки дерева наиболее удобна шкурка со стеклянным зерном. Можно использовать карборундовую или кремниевую шкурку. После на поверхность наносится защитный слой лака или воска [2].

Эпоксидная смола. Застывший полимер хорошо поддается обработке с помощью фрезерного, токарного и слесарного инструмента. Это означает, что излишки заливки можно удалить с их помощью, после чего наступает черед шлифовки поверхностей.

Изделия из эпоксидной смолы обрабатываются наждачной бумагой, зернистость которой в процессе работы постепенно уменьшается. Во время шлифовки поверхность нужно обязательно смачивать водой для уменьшения пыления [3].

5. Все элементы конструкции соединяются металлическим прутком с диаметром 10 мм и длиной 109 мм.

В качестве материала для шкатулки была выбрана древесина бука. Она обладает интересными светлыми тонами. Бывает иногда присутствуют более темные оттенки, например, светло – коричневый или розовый. Шпон так же имеет более темный оттенок. Текстура тонкая, средней однородности, с прямыми волокнами, которые создают интересный рисунок.

При обработке древесины можно выделить то, что бук хорошо красится и пропитывается. Так же дерево имеет высокую устойчивость к воздействию влаги. Для монтажных работ можно применять гвозди и шурупы. Их можно вкручивать без риска повреждений. Бук сохраняет свои свойства даже при длительном контакте с водой [4].

Литература:

1. Технология изготовления шкатулок - Изготовление деревянной шкатулки [Электронный курс] – URL: https://studbooks.net/2527304/tovarovedenie/tehnologiya_izgotovleniya_shkatulok (дата обращения: 06.11.2023).

2. Полировка изделий из дерева [Электронный курс] – URL: <https://www.liveinternet.ru/users/4069756/post312257101> (дата обращения: 06.11.2023).

3. Шкатулка с эпоксидной смолой [Электронный курс] – URL: <https://www.liveinternet.ru/users/5168040/post323515478/> (дата обращения: 06.11.2023).

4. Древесина бука (11 фото): характеристики и свойства, цвет и текстура, применение и структура [Электронный курс] – URL: <https://stroy-podskazka.ru/drevesina/osobennosti-buka/> (дата обращения: 06.11.2023).

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ ПОДСВЕЧНИКА «ГИПСОФИЛА»

Е. А. Евсейчева, Ю. В. Веселова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, elenaalev@rambler.ru**

Научный руководитель: Бушуева Е. Г. , к.т.н., доцент

Цель проекта состоит в разработке подсвечника под небольшие чайные свечи, для создания приятной атмосферы и оформления интерьера при помощи интересного элемента декора. В процессе разработки изделия были исследованы аналогичные продукты, созданы эскизы для определения наиболее подходящей формы, композиции и стилистики подставки для свечи. Материалы и методы производства светильника определены с учетом эстетических и практических характеристик подсвечника, а также условий его использования

The project deals with a candle holder for small tea lights. This creates a pleasant atmosphere and decorate the interior with an interesting decorative element. The similar products, sketches with most suitable shape, composition and candle style were researched. The materials and production technology of the candle holder are determined with the aesthetic, practical characteristics of the candlestick, conditions of its using.

Использование свечей является неотъемлемой частью ежедневных ритуалов многих людей. Для кого-то это способ расслабиться, наблюдая за пламенем, ведь ничего так не успокаивает, как текущая вода и горящий огонь. Помимо этого, многие свечи способны создать расслабляющую атмосферу при помощи аромата.

Кроме того, некоторые люди до сих пор применяют свечи, как дополнительный источник освещения, хотя в большей степени, это продиктовано создаваемой свечами атмосферой тепла и уюта [1].

Тем не менее, освещение играет, едва ли не ключевую роль в дизайне интерьера. Свеча может стать интересным дополнением в сценарии освещения комнаты, особенно в темное время суток. Перед

сном наиболее благоприятно использование приглушенного света, которого можно добиться, в том числе используя свечи. Аромат и полутьма помогут успокоиться и настроиться на отход ко сну.

Для того чтобы использование свечей было более безопасным и эстетически приятным, существуют подсвечники. Они несут в себе защитную функцию и так же являются элементами дизайна интерьера.

Защитная задача подставки для свечи состоит из изоляции рук от обжигающего пламени и капающего воска, а также предметов мебели [2].

В дизайне интерьера подсвечник становится изящным дополнением и может быть частью композиции из разных элементов декора. Его можно использовать не только как подставку для свеч, но и для чего-то другого. Например, вместо свечи можно воспользоваться гирляндой.

В ходе разработки проекта изделия был проведен анализ аналогов и опрос для определения актуальности выбора темы и предпочтений респондентов. Большинство из выбранных для анализа подсвечников продаются на известных маркетплейсах и находятся в бюджетной ценовой категории. Исходя из анализа был создан комплект поисковых эскизов, ответы участников опроса помогли в выборе оптимального варианта для разработки изделия. Итоговым был отобран эскиз подсвечника под названием «ГИПСОФИЛА».

В данном проекте был разработан подсвечник с использованием различных технологий формования в своей конструкции.

Изделие выполнено из ряда материалов. Для чаши используется прозрачное стекло, ее форма необычна наличием двойного дна, для образования которого спаиваются два стеклянных элемента. Один из них представляет собой сферу, а другой стакан, на дно которого, собственно, помещается чайная свеча.

В простенок между ними погружены украшения из металлических элементов, выполненных по технологии гальванопластики. В ходе изготовления декора, на биологических объектах, такие как цветы, наносится слой меди из раствора, путем электроосаждения [3]. Гальванопластика позволяет получать точные металлические копии, биологических объектов полностью воспроизводя их поверхность. Осажденный металл, по сути, становится самим изделием [4]. После осаждения элемент не вынимается и не вытравливается, данный подвид гальванопластики называется электроформингом [5].

Подставка для подсвечника состоит из разборных элементов, выполненных в ходе токарной обработки. Заготовками для них служат в основном прутки. По форме одна деталь напоминает цоколь от лампочки без внешней резьбы, две детали представляют собой тонкие

стержни, между которыми есть кольцо, размещенное отверстием перпендикулярно плоскости вращения стержней и основание в виде диска. Токарные детали соединяются между собой при помощи резьбовых соединений. В качестве материала для них была выбрана латунь, в основном, за ее эстетические характеристики.

Конструктивно в изделии учтены различные недостатки аналогов. Разработанный подсвечник не будет собирать много пыли, из-за простоты профиля. В нем возможно переносить свечу по комнате, т.к. имеется чаша для свечи и основание. Возможно использование на улице, т.к. чаша способна защищать свечу от небольшого ветра.

Технологический процесс создания подсвечника состоит из следующих этапов:

1) выбор оптимальной технологии для производства основания (токарная обработка), чаши (стеклодувное производство), декоративных элементов (гальванопластика),

2) подбор материала для заготовок для токарной обработки: прутков, листового металла с его технико-экономической и эстетической оценкой,

3) изготовление гальванопластических элементов,

4) выдувание чаши из стекла с погружением внутрь декора,

5) отрезная операция,

6) токарная операция,

7) слесарная операция,

8) клеевая операция.

Подсвечник «ГИПСОФИЛА» можно использовать, как по прямому назначению, в качестве подставки для свечи, так и просто декорировать с помощью него помещение. Данное изделие можно применить как небольшую вазочку для конфет, поставить в него небольшие живые, либо искусственные цветы. Разработанная технология пригодна для создания большого количества оригинальных изделий, каждое из которых будет отличаться своей гальванопластической композицией от предыдущего.

Литература:

1. Подсвечники. Магия света и атмосферы [Электронный ресурс]. - URL: <https://stroika-tovar.ru/articles/fasad/podsvechniki-magiya-sveta-i-atmosfery.html> (дата обращения: 2023-10-01).

2. Подсвечники. Эстетика и функциональность [Электронный ресурс]. - URL: <https://grand-lux.ru/blog/podsvechniki-estetika-i-funktionalnost/> (дата обращения: 2023-10-01).

3. Антропова, Т.И. Технология гальванотехнического производства [Текст] / Т.И. Антропова, Т.В. Ершова, О.В. Червякова. – Москва. Государственное издательство, 2010 (Дата обращения 2023-09-28).

4. Баранов, А.И. Гальванотехнологические процессы [Текст] / А.И. Баранов. - Санкт-Петербург: Наука, 2008 (Дата обращения 2023-09-29).

5. Виноградов, А.Г. Основы гальванопластики [Текст] / А.Г. Виноградов. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015 (Дата обращения 2023-09-29).

6. Абдеев, И.Р. разработка метода упорядочивания структуры конструкторско-технологических элементов детали в целях получения оптимальных последовательностей технологических операций / И.Р. Абдеев // СТИН. – 2011. – № 11. – с. 17-22. – issn 0869-7566 (Дата обращения 2023-10-03).

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОДСВЕЧНИКА

А. В. Кузьмина

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, angelina-kuzmina-04@mail.ru

Научный руководитель: Степанова Н. В., к.т.н., доцент

В данной работе рассматриваются анализ аналогов материалов, а также основные этапы изготовления подсвечника из гипса в винтажном стиле. Эта статья может помочь воплотить свою творческую задумку и изготовить изделие, которое можно использовать в качестве оригинального подарка для близких и друзей или же для декорирования домашнего интерьера.

This paper discusses the analysis of analogs of materials, as well as the main stages of making a plaster candlestick in vintage style. This article can help you realize your creative idea and make a product that can be used as an original gift for family and friends or for decorating a home interior.

Подсвечник — это предмет, предназначенный для удерживания свечи, создания освещения и декоративного эффекта в помещении. Его можно использовать на постоянной основе или же особых событиях, таких как романтические ужины, праздники и торжества.

Подсвечники различаются по конструкции, количеству свечей, дизайну. В зависимости от места расположения подсвечники их можно разделить на напольные и настольные [3].

В данной работе будет использоваться настольный подсвечник, технология изготовления которого включает в себя следующие шаги:

1. Изучение требований и целей. Необходимо определить его стиль, материалы, размеры, стойкость к огню и прочие характеристики.

2. Проектирование и создание эскизов. Это позволяет визуализировать конечный продукт и внести необходимые изменения до начала производства.

3. Выбор материалов. Подсвечники могут изготавливаться из различных материалов, таких как гипс, стекло, керамика, металл или дерево. Необходимо выбрать материал, соответствующий требованиям проекта, учитывая его прочность, внешний вид и возможности обработки.

4. Процесс изготовления. Определите последовательность операций при изготовлении подсвечника. Это может включать такие этапы, как формование материала (путем литья, гибки, обработки на токарном станке и т.д.), обработка поверхности (шлифовка, полировка, окрашивание), а также добавление декоративных элементов (выгравировка, нанесение узоров, покрытие специальными эффектами).

Выбор материала изделия достаточно большой. Подсвечник может быть из дерева, стекла, гипса, керамики, пластика или же металла.

В случае с изделием из дерева выделяются такие положительные стороны, как естественная красота и уникальность: деревянные подсвечники имеют теплый и природный внешний вид, который придает уюта и атмосферности декору помещения, каждый деревянный подсвечник уникален, поскольку текстура и оттенок дерева могут значительно отличаться от изделия к изделию. При этом есть и минусы, дерево более подвержено царапинам, потертостям. Требуется значительного ухода: деревянным изделиям требуется очистка и обработка, чтобы сохранить свою красоту на протяжении длительного времени. Пожароопасность: при использовании свечей в подсвечнике из дерева необходимо быть осторожным, чтобы предотвратить возможные пожары или повреждения.

При создании изделия из керамики стоит учесть разнообразие дизайнов: керамика позволяет создавать подсвечники в различных формах, цветах и узорах; тепловые характеристики: керамические подсвечники обладают хорошей теплоемкостью, что позволяет им эффективно удерживать тепло. К отрицательной стороне относится высокая стоимость; хрупкость: керамические подсвечники склонны к

разбиванию или трещинам при падении или ударе, поэтому требуют бережного обращения. Такие подсвечники обычно тяжелее, чем подсвечники из других материалов, что может создавать проблемы при транспортировке и хранении. Проницаемость: некоторые типы глазури керамических подсвечников могут быть менее устойчивы к влаге, что может вызвать проникновение жидкости.

Плюсами подсвечника из гипса является доступность материала: гипс относительно недорог и легко доступен. Простота изготовления: легко формируется и обрабатывается, поэтому изготовление такого подсвечника не требует особых навыков. Материал является экологически чистым материалом. В случае пожара гипс препятствует распространению огня благодаря своему содержанию связанной кристаллизационной воды, составляющей до 20% его массы. При нагревании гипс выделяет эту воду, способствуя замедлению распространения огня. Минусами можно назвать хрупкость и низкую водостойкость: изделия из гипса могут быть хрупкими и подверженными повреждениям, в том случае если они не обработаны специальными защитными покрытиями. Также можно выделить ограниченные декоративные возможности: хотя гипс можно легко формировать, его возможности могут быть ограниченными по сравнению с другими материалами, такими как керамика или металл.

Металлические подсвечники обычно очень прочные и могут служить в течение длительного времени. В отличие от некоторых других материалов, металл обладает хорошей огнестойкостью, что делает его безопасным для использования в качестве подсвечников. При этом в зависимости от отделки, металлические подсвечники могут подвергаться царапинам или потере блеска со временем. Большинство подсвечников являются тяжелыми, что делает их менее подходящими для передвижения или переноски в сравнении с подсвечниками из более легких материалов.

Одним из самых легких и одновременно прочных материалов для создания подсвечника является пластик. Это удобно в использовании и переносе. Пластиковые подсвечники легко чистятся и не требуют специального ухода. Имеются и нюансы: в некоторых случаях пластиковые подсвечники могут подвержены деформации под воздействием высоких температур.

Проведя анализ аналогов, было установлено, что гипс является предпочтительным выбором для выполнения работы. Основные факторы, определяющие этот выбор, включают сложность и длительность выполнения работы, вес конструкции, а также стоимость материалов.

В данном проекте подсвечник имеет форму цветка, распутившего лепестки. В центральной части, вместо завязи, находится плоское дно для расположения свечи. Ширина изделия 10 см, высота 8 см.

Заранее изготавливается металлическую часть для поддержки свечи в подсвечнике. В процессе требуется металлическая проволока или тросик, плоскогубцы, ножницы, кусачки и шлифовальный инструмент. Сначала создается форму для поддержки свечи из проволоки, затем она обрезается, при необходимости, сглаживаются края. Важно обеспечить надежное крепление поддержки свечи в подсвечнике.

При данной работе для безопасности, рекомендуется использовать такие защитные средства, как перчатки и очки. Следуя инструкции на упаковке гипсовой смеси, определяются пропорции воды, гипса и гидрофобизатора (специальное средство, которое используется для обработки поверхностей с целью предотвращения разрушительного воздействия влаги) [5]. Гипс добавляется после воды и гидрофобизатора, раствор помешивается чистыми и сухими инструментами для получения однородной консистенции без комков. Масса должна быть не слишком густой или же жидкой, для улучшения свойств жидкотекучести.

Следующим шагом является отлив модели: в качестве формы используется силиконовая форма. На этом этапе можно предусмотреть углубление или отверстие для установки металлической поддержки свечи. Получившуюся смесь нужно аккуратно залить до верхних краев, в случае наличия пузырьков стоит постучать о поверхность формы. Далее гипсовый подсвечник должен просохнуть, время зависит от объемов и консистенции изделия. После застывания, металлическую поддержку можно непосредственно вложить или закрепить в этом углублении

После высыхания и удаления изделия из силикона требуется отделка некоторых поверхностей для сглаживания острых краев и каких – либо неровностей. Гипс является универсальным материалом, который легко обрабатывается и позволяет создавать разнообразные формы и узоры. Процесс проходит с использованием шлифовальной бумаги или же наждачной губки.

Дальнейшим шагом является придание яркости подсвечнику с помощью акриловых красок. В работе используется бронзовый цвет. Именно он придает изделию элегантный и роскошный внешний вид, создавая впечатление, что изделие выполнено из настоящей бронзы или другого драгоценного металла, что повышает его привлекательность. После декорирования подсвечник должен просохнуть [2].

Финальная продукция будет удовлетворять эстетическим и эргономичным требованиям любого помещения.

Литература:

1. Гипс — неизвестные свойства известного материала [Электронный ресурс] — <http://www.tehnobeton.ru/category/gipsneizvestniesvoiystvaizvestnogomateri alapenogipstehnologiiibetonov3-42010> (дата обращения 06.11.2023).

2. Подсвечники из гипса: идеи и советы для начинающих [Электронный ресурс] — <https://fon-tan.ru/blog/osnovy/podsvechniki-iz-gipsa-idei-i-sovety-dlya-nachinayushchikh/> (дата обращения 06.11.2023).

3. Виды подсвечников и их роль в интерьере [Электронный ресурс] — <https://idcollection.ru/blog/vidy-podsvechnikov-i-ikh-rol-v-interere> (дата обращения 06.11.2023).

4. Мельников И.В. Художественная обработка металлов – Изд-во «Феникс» – 448 с.

5. Что такое гидрофобизатор? Зачем и как его применяют [Электронный ресурс] — https://leroyermerlin.ru/advice/kraski/chto-takoe-gidrofobizator-zachem-i-kak-ego-primenyayut/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения 11.11.2023).

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРИКРОВАТНОГО СТОЛИКА

М. Ф. Нечухрина

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kiara45973@gmail.com**

Научный руководитель: Веселова Ю. В. к.п.н., доцент

Целью работы является разработка дизайна и изготовления прикроватного столика в эко стиле. Столики такого типа предлагают удобство и функциональность, обеспечивая удобный доступ к необходимым предметам без необходимости вставать с места, отлично дополняют интерьер. В данной работе обоснованы технология изготовления столика, основанная на конструкции и выбранных материалах.

The goal of the work is to develop the design and manufacture of a bedside table in eco style. Tables of this type offer convenience and functionality, providing convenient access to necessary items without having to get up, and perfectly complement the interior. This paper substantiates the table manufacturing technology based on the design and selected materials.

В современных интерьерах прикроватные, или же журнальные столики, широко используются как удобный и функциональный элемент мебели. Причины их популярности много: они имеют компактные размеры, удобны в использовании, служат поверхностью для хранения предметов и декоративного украшения комнаты. Как функциональный элемент мебели, прикроватные столики являются практичным и стильным дополнением к любому интерьеру.

Столики в эко стиле, включающие природные элементы, такие как спил дерева, ветки, камни и т.д., являются креативным сочетанием натуральных материалов с современными деталями. Они могут быть изготовлены из дерева, металла, стекла или комбинации этих материалов, что добавляет текстуру и интерес к интерьеру. Такие столики могут включать в себя элементы природы, например, деревянные или каменные вставки, выделяющие их из общего стиля.

Эти столики обычно являются не только функциональными, но и декоративными элементами. Их современный дизайн с природными элементами придает интерьеру теплоту и уют, добавляя в комнату ощущение гармонии с природой. Такие столики могут прекрасно дополнить множество интерьеров: в стиле лофт, индустриальном или современном минимализме, в стиле прованс и скандинавском стиле, создавая при этом уникальный и привлекательный акцент в помещении.

Разработанный столик состоит из двух частей: столешница и ножки. Столешница сделана из обработанного спила дерева, а посередине в углубление влита эпоксидная смола. Ножки также сделаны из обработанного дерева.

Технология изготовления придиванного столика включает в себя следующие этапы:

1. Выбор материала. По задумке столик должен обладать природными, естественными чертам. Поэтому были выбраны такие материалы, как дерево и эпоксидная смола.

2. Процесс обработки деревянных ножек для стола включает в себя несколько этапов. Сначала с помощью резки подготавливается простая геометрическая форма – основа. Чтобы сделать ножки похожими на ветки, их вручную обрабатывают, постепенно придавая им естественный вид.

Затем ножки шлифуют. Сделать это можно двумя способами: ручным или механическим. В первом случае шлифовать необходимо вручную при помощи наждачной бумаги разной зернистости. Второй метод основан на использовании электроинструментов и станков [1].

Ножки следует шлифовать ручным способом, чтобы сохранить естественность форм.

Чтобы ножки прослужили дольше, их следует покрыть защитным средством, например, маслом. После обработки маслом естественная структура дерева проявляется наиболее отчетливо. В зависимости от выбранного состава, изделие становится темнее или приобретает легкий желтоватый оттенок [2].

Хочется добавить, что основание столика можно заменить природным материалом — топляком, — который во множестве выносит по берегам рек и морей. В настоящий момент такие материалы используют дизайнеры и для изготовления мебели, и для осветительных приборов.

3. Далее — изготовление столешницы. Оно, в свою очередь, так же имеет несколько этапов. На первом этапе подготавливают основу для столешницы — спил дерева. Далее столешнице придается форма правильного восьмиугольника и вырезается емкость произвольной формы для заливки эпоксидной смолы. Шлифовку следует производить механическим методом для экономии времени.

4. Второй этап — выбор смолы. Эпоксидные смолы бывают разные и отличаются друг от друга по нескольким параметрам. Марку смолы следует выбрать в соответствии с ее положительными и отрицательными качествами. [3]

5. Третий этап — сборка опалубки.

6. На 4 этапе осуществляется подготовка и заливка смолы. Для начала в сырье необходимо добавить отвердитель. После тщательно перемешать получившуюся смесь, чтобы избежать возникновения воздушных пузырей. Затем необходимо полностью очистить и обезжирить основу. Это обеспечит хорошее сцепление смолы с основой [4].

На этом этапе в смесь добавляются разные красители и добавки, чтобы сделать ее уникальной и выделяющейся.

После этого можно приступить к заливке смолы. Делать это нужно аккуратно и не спеша. Дать смоле полностью застыть в течение 2–3 суток [4].

7. Заключительный этап – шлифовка столешницы и покрытие ее защитным средством. Для полировки эпоксидной смолы используются ротационные полировальные машины, либо профессиональные полироль и полироли.

8. Сборка столика. На данном этапе все детали собираются вместе: ножки крепятся к деревянным частям столешницы на саморезы.

Эскиз готового изделия представлен ниже (Рисунок 1).



Рис. 1 — Эскиз изделия

Литература:

1. Как шкурить деревянную поверхность [Электронный ресурс] URL: <https://stroikairemont.com/kak-shkurit-derevyannuyu-poverkhnost/> (дата обращения 09.11.2023).
2. Обработка дерева для декора [Электронный ресурс] URL: <https://progermetik.ru/articles/dekor-dereva-chem-obrabotat-poverkhnost.html> (дата обращения 10.11.2023).
3. Эпоксидная смола для заливки столешницы: как выбрать? [Электронный ресурс] URL: <https://epoksidka.com/diy/epoksidnaya-smola-dlya-zalivki-stoleshnicy-kakuyu-vybrat> (дата обращения 11.11.2023).
4. Как сделать столешницу из эпоксидной смолы своими руками [Электронный ресурс] URL: <https://kremen.ru/article/stoleshnica-iz-epoksidnoj-smoly-svoimi-rukami/> (дата обращения 11.11.2023).

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ПОДБОР ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕКОРАТИВНОГО СВЕТИЛЬНИКА**

Т. К. Острикова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, ostrikova.toma@bk.ru
Научный руководитель: Веселова Ю. В. к.п.н., доцент

Целью проекта является разработка технологии изготовления декоративного светильника, предназначенного для рассеянного ночного освещения гостиной дома, а также служащего украшением интерьера этой комнаты. Основной задачей работы стал поиск формы и художественного решения светильника, а также взаимосвязанный выбор материалов и технологии его изготовления. В работе представлен сравнительный анализ различных технологий изготовления проектируемого изделия, результатом которого стал выбор оптимальной, наиболее соответствующей выбранным материалам, конструкции и дизайну светильника.

The project aims to develop a technology for manufacturing a decorative lamp designed for diffused night lighting of the living room of the house, as well as serving as an interior decoration of this room. The main task of the work was the search for the shape and artistic solution of the lamp, as well as the interrelated choice of materials and technology of its manufacture. The paper presents a comparative analysis of various manufacturing technologies of the designed product, which resulted in the selection of the optimal, most appropriate to the selected materials, construction, and design of the lamp.

По восточному календарю 2024-й — год Зеленого Деревянного Дракона. В китайской культуре это мифическое животное символизирует власть, благородство, честь, удачу, успех и богатство. Преподнесение другому человеку изделия с образом этого мифологического существа может говорить о ваших самых благих намерениях и пожеланиях, а потому было решено разработать декоративную лампу-ночник с образом дракона, которая не только привнесёт дополнительное освещение, но также будет являться оригинальным элементом декора помещения.

Световой дизайн предполагает использование различных осветительных приборов на разных уровнях освещения. Роль светового дизайна в современном интерьере чрезвычайно велика. Свет – удивительный и сильный по своей природе материал, с его помощью можно создать любой образ предмета, придать ему неповторимый внешний вид, преобразовать пространство до неузнаваемости. Он придает предметам интерьера свое выражение, свой особый образ, свое лицо [1].

Правильное освещение является одной из важнейших частей обстановки интерьера любой комнаты. Световой дизайн гостиной должен быть продуман до мелочей, начиная от общего освещения, заканчивая декоративными настольными лампами. Такие осветительные приборы прекрасно выполняют функцию локального

освещения зоны отдыха гостиной, отлично дополняют стилевой ансамбль помещения.

Главной проблемой данной работы являлся подбор материала, а соответственно и технологии изготовления лампы. Были отобраны три наиболее оптимальных варианта для изготовления в условиях ВУЗа: литье из металла, изготовление с применением аддитивных технологий, а также отливка из эпоксидной смолы. Рассмотрим каждый из вариантов подробнее.

Для литья декоративного светильника сложной формы из металла наиболее подходящей технологией является литьё по выплавляемым моделям. Литьё по выплавляемым моделям — процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, рабочая полость которых образуется благодаря удалению (вытеканию) легкоплавкого материала модели при ее предварительном нагревании. Такая методика позволяет получать точные и сложные отливки с толщиной стенки от 0,5 до 5 мм [2]. В данном случае лампа-ночник будет представлять собой пустотелую фигуру дракона на постаменте, который держит в лапах круглый плафон — жемчужину в котором располагается осветительный элемент (Рисунок 1а).

Отливка из эпоксидной смолы является самой простой технологией из всех, которые представлены в данной работе. Эпоксидная смола — это синтетическая вязкая смола, которая застывает под действием отвердителя [3]. Она проста и нетребовательна в использовании, но при этом позволяет создавать фигуры разной степени сложности. Главным плюсом данной технологии является прозрачность материала, что позволяет поместить осветительный прибор в основание светильника, добавив ему оригинальности и избавив от дополнительных крепёжных элементов.

В данном случае светильник представляет собой прозрачную фигуру дракона, сидящего на горе драгоценностей, также он дополнен деревянным основанием, в котором и находится круглый светодиодный модуль (Рисунок 1б).

Самым доступным методом применения аддитивных технологий является печать на 3D принтере. 3D-печать — это методика изготовления объемных изделий на основе цифровых моделей. Независимо от конкретной технологии, суть процесса заключается в постепенном послойном воспроизведении объектов [4]. Для этой методики был разработан ещё один эскиз, который представляет собой образ дракона, падающего с небес, осветительный прибор будет находиться в его хвосте, а провода спрятаны внутри фигуры (Рисунок 1в).



Рис. 1 — Эскизы декоративных светильников

Сравнительный анализ материалов и технологий показал, что наиболее оптимальным способом изготовления желаемого изделия является отливка из эпоксидной смолы. Изделие получится относительно лёгким, простым в изготовлении и эксплуатации, а также отлично справится с осветительными функциями гостиной комнаты дома.

После доработки эскизов, была создана мастер - модель дракона из скульптурного пластилина с применением проволочного каркаса, которая впоследствии заливалась формовочной смесью на основе желатина и глицерина, для получения формы, в которую будет производиться литьё смолы. После заливки смолы и извлечения фигуры из формы, производилась дальнейшая доработка с применением фрез и резаков, параллельно с этим изготавливалось деревянное основание. Оно изготовлено из спилов берёзы, в котором с помощью фрезерной обработки были сделаны необходимые отверстия для установки светодиодного модуля и фигуры самого дракона, а также вентиляционные отверстия для отвода тепла, образующегося в ходе работы светодиодного модуля.

Резюмируя, можно сделать следующие выводы: в ходе разработки декоративного светильника было изучено много аналогов проектируемого изделия, рассмотрение которых помогло выявить достоинства и недостатки различных конструкций. Также светильник был изучен с точки зрения декоративного элемента интерьера. Обычно такого рода светильники служат элементом дизайна интерьера и выполняют, кроме прямого назначения, еще и декоративную функцию. Лучше всего, чтобы это декоративный светильник гармонировал со стилем других напольных и настенных осветительных приборов, находящихся в доме. Далее была решена основная задача проекта –

выбрана оптимальная технология изготовления светильника, с применением которой было изготовлено финальное изделие.

Литература:

1. Секреты светового дизайна интерьера [Электронный ресурс] URL: https://lampsaz.ua/articles/sekrety_svetovogo_dizaina_inter_era (дата обращения 05.10.2023).

2. Литьё по выплавляемым моделям [Электронный ресурс] URL: <https://про-kzss.ru/tekhnologii/lite-po-vyplavlyаемым-modelyam> (дата обращения 10.09.2023).

3. Что такое эпоксидная смола и где она применяется [Электронный ресурс] URL: <https://himalyans.ru/info/epoksidnaya-smola-primeneniye.html> (дата обращения 10.10.2023).

4. Что такое 3D печать и как её можно использовать [Электронный ресурс] URL: <https://3ddevice.com.ua/faq-voprosy-i-otvety-o-3d-printerakh/chto-takoe-3d-pechat/#> (дата обращения 10.10.2023).

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ ФУТЛЯРА ДЛЯ НАЦИОНАЛЬНОГО МУЗЫКАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА - ВАРГАНА

Н. В. Полосина

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, [nadezdapolosina0@gmail.com](mailto:nazedapolosina0@gmail.com)

Научный руководитель: Веселова Ю. В. к.п.н., доцент

Целью проекта является разработка формы декоративного футляра для варгана, чтобы комплект смотрелся единым сувенирным изделием. При этом сам футляр, кроме прямой защитной функции должен быть уникальным и интересным украшением. Анализ аналогов изделия позволил выработать требования к форме и материалу, на основе которых были разработаны поисковые эскизы. На основе выбранного оптимального варианта эскиза был подобран материал, а также технологии изготовления футляра, включающие обработку на фрезерном станке ЧПУ и инкрустацию перламутром и металлической проволокой.

The aim of the project is to develop the shape of a decorative case for a harp, so that the set looks like a single souvenir product. At the same time, the case itself, in addition to the direct protective function, should be a unique and interesting decoration. The analysis of the analogs of the product allowed us to develop requirements for the shape and material, on the basis of which the search sketches were developed. On the basis of the selected optimal variant of the sketch, the material was selected, as well as the manufacturing technologies of the case,

including processing on a CNC milling machine and inlay with mother of pearl and metal wire.

Варган — древний инструмент, существующий и поныне, используемый в Туве, на Алтае, В Якутии. В давние времена он использовался для проведения шаманских практик и обрядов. А значит и отношение к нему было уважительное. Поэтому, как и большинство вещей к которым относятся с трепетом, варган, как правило, имеет футляр для хранения. Футляр помогал не только обезопасить инструмент от случайных повреждений, но и скрыть его от посторонних глаз [1].

При разработке проекта было поставлено несколько задач:

- 1) на основе аналогов разработать собственное изделие с оригинальным дизайном;
- 2) выбрать оптимальный материал изделия с учетом эргономических свойств;
- 3) подобрать технологию изготовления, подходящую для мелкосерийного производства.

В ходе подготовки был проведен анализ аналогов изделия, во время которого внимание уделялось не только материалам, но и формам футляра, а также способам закрепления варгана в нем, и различным элементам украшения.

В ходе проектирования дизайна был выполнен ряд поисковых эскизов, направленный на выработку оптимальной формы и соответствующее ее декорирование. В основе идеи каждого из вариантов лежат этнические мотивы. В результате был выбран дизайн с названием «Дух природы». Данная модель футляра для варгана удобна для его хранения и ношения в качестве аксессуара костюма. Футляр, выполненный из дерева, имеет каплевидную форму длиной 10 см и высотой 2 см, что обусловлено габаритами варгана. На лицевой стороне с помощью инкрустации изображена стилизованная фигура женщины, олицетворяющая одно из отражений духа природы. Задняя стенка отсутствует, вместо нее закрепление варгана происходит при помощи кожаного шнура, с помощью него можно повесить футляр как кулон.

Футляры изготавливаются из дерева или кожи, в качестве исключения встречается полимерная глина и оргстекло.

Липа была выбрана материалом для изделия по нескольким причинам. Во-первых, это один из самых распространенных и относительно недорогих пиломатериалов [2]. Во-вторых, у липы слабовыраженный текстурный рисунок, что позволяет инкрустированно му узору не потеряться [3]. Из-за того, что липа относительно мягкий

материал, то гнезда под вставки делать гораздо проще, чем в других породах древесины.

Материалом вставки был выбран перламутр и медная проволока, а значит, чтобы выгодно их оттенить необходимо будет использовать морилку. Также изделие необходимо будет покрывать лаком, а поскольку оно контактирует с телом человека, то нужно выбирать натуральные масла и растворители, которые не будут вызывать аллергию. Подходящим под такие критерии будет льняное масло [4].

Технологический процесс выполняется следующими этапами:

- 1) отрезка заготовки необходимых габаритов.
- 2) фрезерование необходимой формы.
- 3) выточка гнезда для инкрустации.
- 4) шлифовка и полировка заготовки.
- 5) нанесение морилки.
- 6) инкрустация медной проволоки и перламутра.
- 7) фрезерование выемки для варгана.
- 8) сверление отверстий для закрепления шнура.
- 9) нанесение и просушка лака.
- 10) закрепление кожаного шнура.

Литература

1. Варган шаманский музыкальный инструмент в Мир Духов [Электронный курс] URL: <https://worldshaman.ru/vargan-shamanskij-instrument-puteshestvie-v-mir-dukhov> (Дата обращения 17.10.2023).

2. Плюсы и минусы пиломатериалов из Липы [Электронный курс] URL: <https://gdeles.ru/stati/pilomaterialov-iz-lipy> (Дата обращения 17.10.2023).

3. Петросян О. А. Резьба по дереву – М.: Вече -2005. -34 с. (Дата обращения 17.10.2023).

4. Чем лучше обрабатывать детскую мебель и деревянные игрушки? [Электронный курс] URL: <https://dzen.ru/a/ZJID1NcpHwHrqqwJM> (Дата обращения 17.10.2023).

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОЙ ГРАВИРОВКИ ФАНЕРЫ МАРКИ ФК

Н. В. Полосина, Д. С. Гуляева, Д. А. Верхушин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nadezdarolosina0@mail.ru
Научный руководитель: Головин Е. Д., к.т.н.**

Лазер широко применяется для гравировки и раскроя листовых материалов. При изготовлении художественной и сувенирной продукции, производитель часто выбирает фанеру марки ФК, так как это недорогой материал, легко поддающийся обработке лазером. Для того, чтобы обеспечить привлекательный внешний вид изделия, необходимо подобрать технологические параметры работы лазера. Целью данной работы является анализ влияния мощности и скорости лазерного пучка на внешний вид изделий из водостойкой фанеры ФК.

Lasers are widely used for engraving and cutting of sheets. For making artistic and souvenir products, the manufacturer often chooses FK plywood, since it is an inexpensive material that can be easily processed with a laser. In order to ensure an attractive appearance of the product, it is necessary to tune the technological parameters of the laser. The purpose of this work is to analyze the influence of the power and speed of the laser beam on the appearance of products made from waterproof plywood FK.

Технология гравировки материалов, использующая лазер, широко используется в промышленном производстве. Лазерный луч обеспечивает высокую концентрацию энергии и позволяет обрабатывать широкий спектр материалов [1].

Возможность лазерного оборудования точно передавать заданное изображение на материал нашло свое применение и в художественной промышленности. Художественные изделия, выполняемые из дерева, особенно требовательны к внешнему виду. Из-за волокнистой структуры дерева, его гравировка является сложным процессом, поэтому необходимо выбирать максимально однородное дерево без сучков и дефектов. Несмотря на то, что дерево является горючим материалом, лазер может обеспечить такие режимы работы, при которых не происходит возгорания материала [2].

Основными технологическими параметрами лазерной гравировки листового материала являются скорость перемещения и мощность лазерного пучка. Для подбора оптимальных параметров необходимо определить их влияние на качество гравировки.

К качеству изображений предъявляются следующие требования:

- отсутствие прожогов и прорезов;
- чёткость линий;
- читаемость образа.

Для определения оптимальных значений скорости и мощности пучка, было проведено два эксперимента. В первом эксперименте

осуществлялась гравировка растрового изображения, во втором – векторного. В каждом эксперименте было запланировано нанесение одного и того же изображения с варьируемыми параметрами: мощность пучка с шагом 10%, скорость с шагом 50 мм/мин. Эксперименты проводились в одинаковых и стабильных условиях на одном и том же материале.

Работа выполнялась на лазерно-гравировальном станке СО2 4060 [3]. Данный станок предназначен для раскроя и гравировки неметаллических материалов и хорошо подходит для обработки фанеры толщиной до 20 мм [2]. В нашей работе была использована фанера березовая ФК 3 мм 1525×1525 мм сорт 2/2 Ш2 [6]. Управление станком осуществлялось посредством программного обеспечения *LightBurn* [5].

В результате проведения экспериментов, были получены образцы, представленные на Рисунках 1 и 2. При анализе полученных образцов, было выявлено, что значение мощности 10 % слишком мало и не подходит для нанесения ни векторных, ни растровых изображений. Интервалы, допустимые для растровых изображений, представлены в Таблице 1.

Таблица 1 — Допустимые интервалы для растровых изображений

Скорость, мм/мин Мощность, Вт							

При малых значениях скорости (110–160 мм/мин) изображение имеет следы горелости, а при больших (выше 310 мм/мин) — изображение бледное и слабочитаемое. Оптимальный результат гравировки получен при значениях мощности пучка 50 % и скорости 210 мм/мин.



Рис. 1 — Образец с гравировкой растрового изображения

На лицевой стороне гравировка векторных изображений имеет одинаковый внешний вид, за исключением скорости 10 мм/мин для всех значений мощности, поэтому к данному типу выдвигались несколько дополнительных требований:

- изображение не должно прорезаться насквозь, либо это должно происходить без порчи внешнего вида обратной стороны;
- фрагмент, выполненный замкнутым контуром, не должен выпадать или отламываться.

Таким образом, для гравировки векторных изображений был определён диапазон рекомендуемых параметров: скорость сканирования 260–310 мм/мин, мощность лазера 30–40 %.

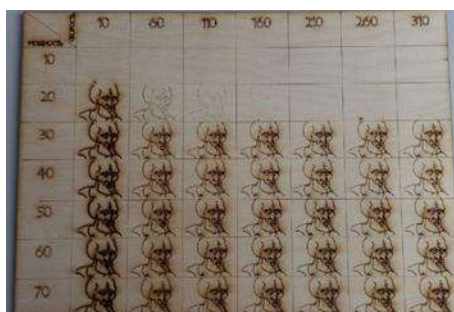


Рис. 2 — Лицевая сторона образца с гравировкой векторного изображения

Литература:

Черпаков Б.И., Альперович Т.А., Металлорежущие станки: Учебник для нач. проф. образования / Б.И. Черпаков, Т.А. Альперович. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 368 с. ISBN 5-7695-1141-9 —

2. Лазерная резка дерева — принцип работы, оборудование и особенности: laserstore – URL: <https://laserstore.ru/blog/lazernaya-rezka-dereva/> (Дата обращения: 15.11.2023)

3. Лазерный станок CO2 4060: LASER BIS – URL: <https://laserbiz.ru/lazernyyu-standok-so2-4060/50-Vt-B1/> (Дата обращения:

4

. 5. LightBurn: lightburnsoftware – URL: <https://lightburnsoftware.com/> (Дата обращения: 15.11.2023)

К 6. Фанера березовая ФК 3 мм 1525x1525 мм сорт 2/2 Ш2: Фанерный

м

к

р

в

ы

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОИЛКИ-ФОНТАНА ДЛЯ ДОМАШНИХ КОШЕК

р

а

т

б

а

п

д

о

р

п

в

у

д

н

а

е

а

н

р

у

г

д

л

н

Т. Д. Тарасова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, t.tarasova.2021@corp.nstu.ru**

Научный руководитель: Н. В. Степанова, к.т.н., доцент

Целью проекта является разработка автоматической поилки для домашних кошек, отвечающая требованиям эксплуатации, имеющая эстетичный вид и простоту конструкции. В процессе был произведен анализ аналогов изделий, были подобраны материалы, пригодные для использования в конструкции, выполнены эскизы изделия, а также проработано внешнее устройство поилки.

The goal of the project is to develop an automatic drinking bowl for domestic cats that meets the operating requirements, has an aesthetic appearance and simplicity of design. In the process, an analysis of product analogues was carried out, materials suitable for use in the design were selected, sketches of the product were made, and the external structure of the drinker was also worked out.

Одними из самых популярных видов питомцев являются кошки: современные исследования показывают, что они есть более чем в 54% российских семьях. Однако не каждый владелец питомца понимает, как

правильно обеспечить здоровый образ жизни своему коту. Особенно следует отметить обеспечение полноценного и здорового рациона, а также поддержание водно-солевого баланса в организме питомца. Остановившись на последнем, здоровые коты должны выпивать до 300 мл в день, причем свежей и, желательнее, проточной воды. Распространенные миски и блюдца не могут обеспечить должное качество жидкости, поэтому ответственные заводчики прибегают к автоматическим поилкам, в которые, как правило, встроен фильтр, очищающий воду, а также специальный насос, обеспечивающий движение воды, и не позволяющий ей застаиваться. Однако сегмент поилок для кошек крайне беден, качество данной продукции низкое, либо имеет несправедливо завышенную цену.

Таким образом, целью данной работы является разработка автоматической поилки, которая являлась бы удобной в использовании, проста в сборке и разборке, имела приятный эстетический вид, и, конечно же, соответствовала требованиям эксплуатации для домашних кошек.

Перед началом работы был произведен анализ аналогов. Согласно данным известных маркетплейсов и частных зоомагазинов в ассортименте есть всего несколько типов поилок для кошек.

Первый, и самый простой вариант, - система сообщающихся сосудов; включает в себя миску и перевернутый резервуар, куда постепенно поступает вода. Из плюсов данной конструкции можно назвать ее простоту, доступность (есть почти во всех зоомагазинах), а также многофункциональность (есть вариант с засыпанием корма вместо воды). Однако данная конструкция изготавливается из дешевого пластика, быстро портится и имеет весьма простой вид, а также в системе отсутствует циркуляция и фильтрация воды.

Второй вариант – поилка с ниппелем. Подобные конструкции получили распространение прежде всего у владельцев грызунов, однако далеко не всем кошкам такая поилка удобна в использовании.

Третий вариант - фонтан со струей. В таких конструкциях вода непрерывно выливается струей в резервуар. Такая поилка подойдет прежде всего котам, которые любят пить проточную воду прямо из-под крана. Однако минус такой поилки в том, что коты могут начать играть со струей жидкости, что негативно отразится на чистоте пространства вокруг поилки.

Поилка-фонтан с куполом, пожалуй, является самым эстетичным и удобным, но самым дорогим из вариантов. Специальный небольшой электронасос из внутреннего резервуара выталкивает по трубе воду на купол, по которому она уже стекает во внешний резервуар. Когда вода

достигает нужного уровня, она проходит через специальные отверстия по фильтру, очищаясь, и заполняет уже внутренний резервуар, где цикл повторяется. Данная поилка прекрасно очищает воду, проводит циркуляцию, а также дает возможность кошке поиграть со струями воды, не боясь, что жидкость засорится. Но такие конструкции стоят уже достаточно дорого (на момент октября 2023 года – до 4000 рублей) и требуют частой замены фильтров. Также они нуждаются во встроенном аккумуляторе, либо подсоединении к сети питания, последнее сильно ограничивает мобильность поилок. Напоследок следует отметить, что любой электронасос создает небольшой, но ощутимый уровень вибраций и шума; который некоторым пользователям устройства может показаться неприемлемым в их доме.

Что касается самих домашних питомцев, то, конечно же, все зависит от индивидуального случая, поэтому невозможно достоверно определить предпочтения кошек. Часть питомцев любит пить из струи крана и только проточную воду, часть предпочитает больше с водой играть, чем ее пить, а часть котов в принципе равнодушна к подобным девайсам. Однако с большей долей вероятности домашний питомец оценит качество воды и приучится пить из специально отведенного места, правда через продолжительный промежуток времени.

Проведя анализ аналогов, было решено разработать автоматическую поилку-фонтан. Из материалов для корпуса поилки самыми распространенными являются пластик, керамика и нержавеющая сталь. Однако, предварительно изучив и другие материалы, выяснилось, что также для создания поилки может подойти и эпоксидная смола. Многочисленные исследования показывают, что после полимеризации данный материал не выделяет токсичных компонентов, а потому может использоваться в качестве пищевого: для посуды и приборов, в том числе для домашних питомцев. У эпоксидной смолы достаточная прочность, она не бьется, мало царапается и не скалывается, а также при создании формы ей можно придать абсолютно любой цвет, текстуру и даже добавить декоративные включения. Более того, изделия из нее набирают все большую популярность, что может повысить продажи изделия.

На этапе эскизирования (Рисунок 1) за основу были взяты типичные автоматические поилки-фонтаны. На первом эскизе изображена конструкция, выполненная эпоксидной смолой бирюзового оттенка. Вокруг чаши расположена окантовка из латуни с орнаментом, а на вершине фонтана — фигурка рыбы из бронзы, к которой подведена трубка самого фонтана. Большим кошкам будет удобно пить сверху, а маленьким - из чаши резервуара. Как дополнение, маленькая водяная

горка, по которой течет вода, может стать отличным развлечением для игривых питомцев. На втором эскизе приведена чаша-водопад, выполненная из керамики. Рисунок морды и лапок кота нарисованы эмалью. Чаша из нержавеющей стали имеет несколько отверстий для выхода воды во внутренний резервуар. На третьем эскизе изображена квадратная чаша, особенностью которой является специальная вставка, показывающая уровень воды. На корпусе и на самом фонтане имеются декоративные металлические орнаменты в виде кошачьих лапок.

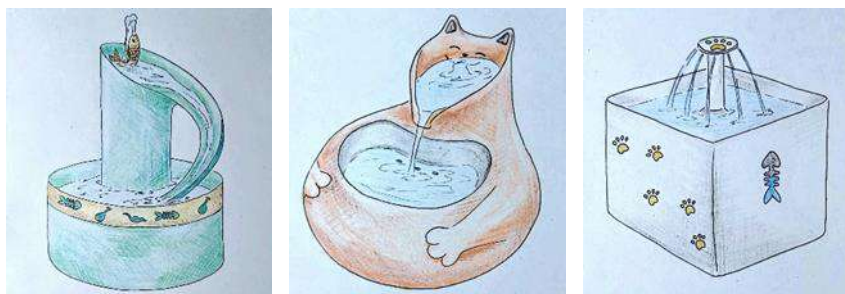


Рис. 1 — Эскизы поилки-фонтана

Было решено взять за основу первый вариант, так как он является наиболее нестандартным и оригинальным. Для создания такой поилки-фонтана потребуется в начале отдельно создать металлическую ленту-орнамент технологией лазерной резки, далее спаять на конце и вставить в пазы чаши. Саму чашу можно изготовить тремя частями: отдельно резервуар, дно-разделитель резервуаров и верхнюю часть фонтана. Фигура рыбы создается литьем по выплавляемым моделям, но будет включать в себя наличие внутренней полости, получаемой путем высверливания, куда позже будет присоединена труба от электронасоса. Сама внутренняя конструкция будет выглядеть как показано на Рисунок 2.

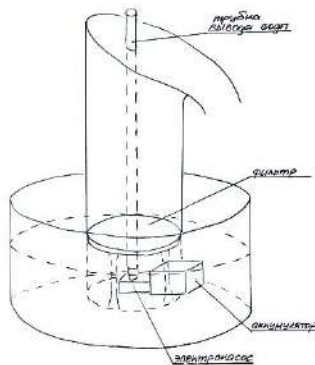


Рис. 2 — Внутреннее устройство фонтана-поилки

Разработав внешнее и внутреннее устройство автоматической поилки-фонтана, можно прийти к выводу о том, что при должном уровне качества и достойной цене данное изделие может послужить на пользу как домашним кошкам, так и их хозяевам. Автоматическая поилка поможет улучшить качество жизни питомца и разнообразить домашний быт.

Литература:

1. В чем польза автоматической поилки для котов? [Электронный ресурс] // Муркоша: Центр помощи кошкам. URL : <https://murkosha.ru/nashi-stati/soderzhanie-i-ukhod/posuda-i-prisposobleniya-dlya-pitaniya-i-pitya/v-chem-polza-avtomaticheskoy-poilki-dlya-kotov>.

2. Автопоилка для кошек: виды поилок, особенности, правила выбора и эксплуатации автоматических питьевых фонтанчиков [Электронный ресурс] // Kotikionline: Энциклопедия о кошках. URL : <https://kotikionline.ru/avtopoilka-dlya-koshek-vidy-poilok-osobennosti-pravila-vybora-i-ekspluatatsii-avtomaticheskikh-pitevyh-fontanчиков/>.

3. Мифы об изделиях из эпоксидной смолы [Электронный ресурс] // TrueDo: Онлайн-школа ремесленных навыков. URL : <https://truedo.ru/mify-ob-epoksidnoj-smole>

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕКОРАТИВНОЙ МОНЕТНИЦЫ

К. В. Федотова

Новосибирский государственный технический университет

г. Новосибирск, karinaserbova906@gmail.com

Научный руководитель: Веселова Ю.В., к.т.н., доцент

Целью данного проекта является разработка монетницы. Такое изделие может использоваться не только для хранения мелких денег, но и стать украшением интерьера. Конечно, можно использовать копилки для хранения мелочи, но, когда деньги нужны в свободном доступе – поможет монетница. В данной работе обоснованы технология, конструкция и выбор материалов для декоративной монетницы.

The purpose of this project is to develop a coin box. Such a product can be used not only to store small money, but also to become an interior decoration. Of course, you can use piggy banks to store small things, but when money is needed in the public domain, monetization will help. In this paper, the technology, design and choice of materials for a decorative coin box are substantiated.

Многие люди каждый день сталкиваются с проблемой наличия большого количества мелочи. При получении сдачи монетами, приходится думать о том, куда их положить. Решением данной проблемы может стать использование монетницы для мелочи [1]. Монетницы могут иметь различные формы и дизайны. Они могут быть как карманными, так и предметами интерьера, как в данной работе.

Существует множество видов монетниц [2]. Некоторые из них:

- классическая монетница — представляет собой компактный ящик с откидной крышкой.

- монетницы со счетчиком — позволяют отслеживать количество монет, которые хранятся внутри.

Существуют также монетницы в виде различных предметов, например, животных или транспортных средств. Кроме того, есть монетницы с кодовыми замками, которые обеспечивают дополнительную безопасность.

Как использовать монетницу [3].

Использование монетницы очень простое. Вы помещаете монеты в отверстие монетницы, а затем закрываете крышку. Некоторые монетницы имеют отделения для различных монет, что позволяет легко и быстро разобраться в вашей копилке.

Были рассмотрены разные монетницы, присутствующие на рынке в настоящее время, они функциональны, но не декоративны. Задача

данного проекта – разработать монетницу для денежной мелочи, совмещающую в себе удобство и привлекательность в интерьере.

Разработанная в проекте монетница, состоит из двух элементов, сделанных из керамики, украшенных литой фигурой лягушки на крышке монетницы. Параметры крышки: 75×70×60 мм. В основании лежит восьмиугольник. Параметры основы 75×70×80 мм, толщина 5 мм. Элементы конструкции раздельные.

Так же, были проанализированы различные материалы для изготовления изделия — гипс, металл, стекло. Керамика, благодаря своей долговечности и экологичности, выбрана в качестве сырья.

Слово «керамика» происходит от греческого слова «керамос», что означает глина. Керамика — это и искусство создания гончарных изделий, и материалы, изготовленные из глины. Керамика используется в различных областях, таких как строительство, производство посуды, декоративных изделий и других. [4].

Технология изготовления монетницы [5] включает в себя следующие этапы:

- 1) из пластичной керамической массы изготавливается крышка с лягушкой и основа монетницы,
- 2) сушка изделия трое – четверо суток,
- 3) оправка и замывка для сглаживания контуров с помощью влажной губки,
- 4) покраска изделия ангобом,
- 5) промежуточный (первый) обжиг при температуре 1000 °С,
- 6) покрытие глазурью,
- 7) полнотой обжиг при температуре 1150–1250 °С.

В процессе эскизного поиска рассматривались различные варианты цветового решения изделия — они варьировались в зависимости от используемых материалов. Так, например, монетницу из гипса предполагалось покрыть акриловой краской, имитирующей бронзу. А керамическое изделие после обжига покрывается ангобом, придающим красивый «лощенный» вид. Крышку изделия решено сделать светло-зеленой, а основания — белым, с рисунками цветов кувшинки.

Литература:

1. Монетница для мелочи и все о ней [Электронный курс] – URL: <https://fb.ru/article/180054/monetnitsa-dlya-melochi-i-vse-oney?ysclid=loox30coi636491279> (дата обращения: 07.11.2023).

2. Что такое монетницы? И как они выглядят? – Виды монетниц [Электронный курс] – URL: <https://viled-light.ru/a/chto-takoe-monetnitsyi->

[kak-oni-vyglyadyat?ysclid=llood8ejvd1561776326](https://viled-light.ru/a/chto-takoe-monetnitsyi-kak-oni-vyglyadyat?ysclid=llood8ejvd1561776326) (дата обращения: 07.11.2023).

3. Что такое монетницы? И как они выглядят? – Как использовать монетницу [Электронный курс] – URL: <https://viled-light.ru/a/chto-takoe-monetnitsyi-kak-oni-vyglyadyat?ysclid=llood8ejvd1561776326> (дата обращения: 07.11.2023).

4. История появления и развития керамики и ее присутствие в интерьере – Что такое керамика [Электронный курс] – URL: <https://kovaleva.gallery/istoriya-keramiki?ysclid=loomerptko426135943> (дата обращения: 07.11.2023).

5. Этапы создания керамического изделия [Электронный курс] – URL: <https://margaritatitova.ru/articles/for-beginners/> (дата обращения: 07.11.2023).

Секция АВТОМАТИЗАЦИЯ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

**СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ
ПРИВОДОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОСТА МОСТОВОГО КРАНА**

А.А. Александрова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, annysandrowa666@mail.ru**

Научный руководитель: Кавешников В.М., к.т.н., доцент

В работе рассматривается оригинальный подход к проблеме синхронизации перемещения моста цехового мостового крана с целью снижения аварийности, потребления электроэнергии и увеличения ресурса работы механических элементов системы передвижения моста.

Original approach to synchronization problem of movement shop bridge crane for accident reduction, energy and work resource saving of movement drives mechanical parts.

Введение. Мостовые краны широко используются в различных отраслях народного хозяйства, в том числе в топливно-энергетическом комплексе, который в настоящее время обеспечивает значительную часть бюджетных поступлений, энергетическую безопасность и суверенитет страны [1].

Без мостовых кранов не обойтись как на нефтегазовых месторождениях, так и в машиностроении, металлургии.

На рис. 1 приведен общий вид моста мостового крана, состоящего из следующих подсистем: захвата и подъема груза, перемещения тележки по продольным балкам моста, перемещения моста крана по подкрановым путям.

Далее рассматривается наиболее сложная двухдвигательная подсистема перемещения моста, требующая строго синхронного перемещения обеих опор моста для достижения цели работы – снижение аварийности, потребления энергии и сохранения ресурса работы механических устройств приводов моста.

Постановка задачи. Для цехового мостового крана с известными основными параметрами (L – длина моста; $G_{\text{нетто}}$ – вес моста в сборе; $G_{\text{гр}}$ – грузоподъемность моста; $v_{\text{м}}$ – максимальная скорость перемещения моста; $a_{\text{м}}$ – максимальное ускорение моста) предложить функциональную схему системы синхронизации асинхронных электроприводов передвижения моста, обеспечивающую его

минимальный перекося. При это общая скорость, ускорение и положение моста во время его движения задается оператором (крановщиком) и контролируется им.

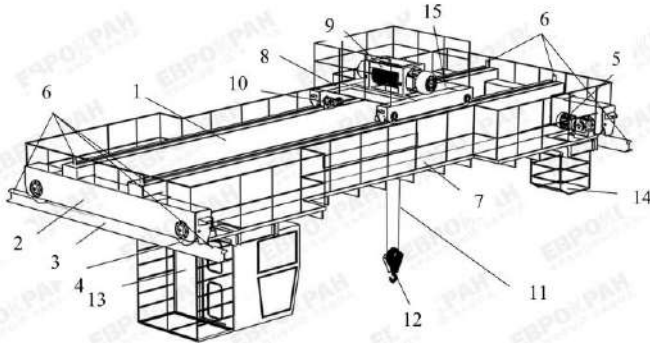


Рис.1 – Общий вид мостового крана

Решение. На рис. 2 предложена функциональная схема системы синхронизации, где ЗУ – задающее устройство величины скорости ведущего привода (джойстик); РСВ – регулятор скорости ведущего привода; АС4 – частотно управляемые электропривода (ведущий и ведомый); ДПС1 – датчик положения и скорости ведущего; ДП2 – датчик положения ведомого; РС – регулятор синхронизации; УС1, УС2 – устройства сравнения; С – сумматор.

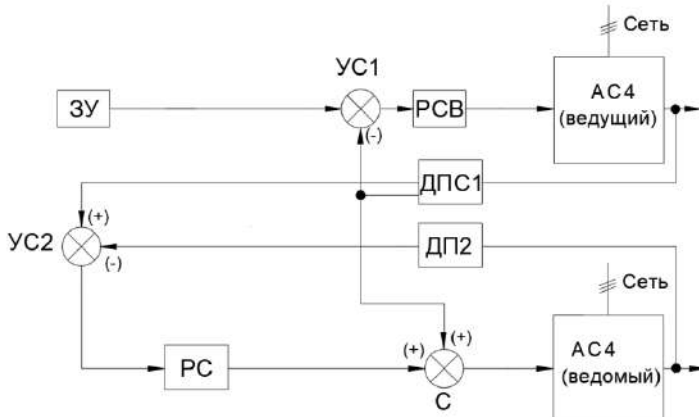


Рис.2 – Функциональная схема системы синхронизации

Схема работает следующим образом. ЗУ задает скорость ведущего привода, который с помощью обратной связи по скорости и РСВ стабилизирует скорость на уровне заданной.

Однако, при воздействии возмущений, анализ которых входит в задачи дальнейших исследований, скорость ведущего (как и ведомого, у которого могут быть свои возмущения) отклоняется от заданной как в статике, так и в динамике, вызывая перекос моста. Для контроля перекоса и его устранения производится сравнение положений обеих опор моста на УС2, с выхода которого разница положений подается на РС. При этом знак ошибки по положению положительный при отставании ведомого и отрицательный при его забегании вперед. Ошибка по положению обрабатывается регулятором синхронизации РС и с соответствующим знаком подается на сумматор С, корректируя скорость ведомого для устранения перекоса моста.

Заключение. Решение поставленной задачи позволяет сформулировать задачи дальнейших исследований:

- имитационное моделирование системы с учетом реальных нелинейностей и других особенностей элементов системы;
- расчет конкретных параметров системы с учетом перекоса моста;
- анализ возможных возмущений и исследование поведения системы при различной величине возмущающих воздействий;
- уточнение структуры и параметров РС;
- оценка эффективности предлагаемой системы для минимизации перекоса моста.

Литература:

1. Малахов В.А., Несытых К.В. О роли топливно-энергетического комплекса в экономике России [Электронный ресурс] // Отрасли и межотраслевые комплексы: электронный журнал. – URL: <https://ecfor.ru/wp-content/uploads/2017/01/05-rol-toplivno-energeticheskogo-kompleksa.pdf> (дата обращения: 1.11.2023)

ТИПЫ ПОДВЕСОК ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ. ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И РЕМОНТА ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ «ТОУОТА RAV4»

В.А. Воронцов

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, yavoronts@yandex.ru

Научный руководитель: Верещагин В.Ю., ст. преподаватель

В работе рассмотрены современная классификация подвесок легковых автомобилей, а также проблемы, возникающие в ходе диагностики и ремонта автомобилей на примере кроссовера «Toyota RAV4». Результаты исследования могут быть применены при обучении специалистов авторемонтных предприятий.

The study considers the modern classification of passenger car suspensions, as well as problems arising during the diagnosis and repair of cars on the example of the Toyota RAV4 crossover. The results of the study can be applied in the training of specialists of car repair enterprises.

Подвеска легкового автомобиля представляет собой совокупность устройств, которые обеспечивают упругую связь между несущей системой и колёсами (или мостами) автомобиля. Кроме того, эти устройства обеспечивают уменьшение динамических нагрузок на несущую систему и колёса, и затухание их колебаний, а также регулирование положения кузова автомобиля во время движения [1].

В настоящее время имеется несколько классификаций типов подвесок, которые, прежде всего, можно разделить на зависимые и независимые подвески.

Подвеска автомобиля является зависимой, в случае, если перемещение одного колеса оси зависит от перемещения другого колеса. Передача сил и моментов от колёс на кузов (раму) в данном случае осуществляется рессорой, а в случае применения иных типов упругих элементов – рычажными механизмами разнообразных кинематических схем [1].

Зависимая подвеска применяется в основном на внедорожниках, грузовых автомобилях, и легковых автомобилях до 2000х годов выпуска.

Зависимая подвеска бывает двух видов: на продольных рессорах (например, у автомобиля УАЗ “Патриот”) и с направляющими рычагами (пример автомобиля - «Toyota Land Cruiser 200»). В первом случае, в качестве упругого элемента и одновременно демпфера используются металлические пластины, соединенные между собой (рессоры). А во втором - конструкция объединяет один поперечный и несколько

продольных рычагов, которые поддерживают ступицу с разных сторон. Особое внимание в такой подвеске нужно уделить поперечному рычагу. Он не допускает сильного бокового смещения конструкции и имеет несколько конструкций с собственными названиями: одноэлементная тяга Панара, а также механизм Уатта и система Скотта-Рассела, в которых используются два рычага с разными размерами и точками креплений [2].

Подвеска автомобиля является независимой, в случае, если перемещение одного колеса оси не зависит от перемещения другого колеса. Независимо от типа упругого элемента передача сил и моментов от колёс на кузов (раму) в данном типе подвески всегда осуществляется рычажными механизмами разнообразных кинематических схем [1].

Можно выделить три основных типа независимой подвески: подвеска на двойных поперечных рычагах, многорычажная и подвеска МакФерсона [3].

Задняя подвеска кроссовера «Toyota RAV4» является независимой многорычажной, а передняя – типа МакФерсон [4].

Для диагностики неисправностей подвески на авторемонтных предприятиях проводят визуальный осмотр и ручную проверку эластичных и шарнирных соединений. Для более точного выявления неисправностей в шарнирных элементах применяют диагностику на вибростенде «СПП-2500» и его аналогах [2].

Анализ литературы показал, что среди основных трудностей ремонта подвески автомобиля «Toyota RAV4» являются коррозия металла крепежных элементов, затрудняющая демонтаж элементов подвески или делающая его невозможным без разрушения крепежа [4]. Особенностью данного автомобиля является непосредственная близость топливного бака к элементам задней подвески. В связи с этим невозможно применение методов, приводящих к повышенной пожарной опасности, а именно использование угловой шлифовальной машины, газовой горелки и т.п. В настоящее время все большее применение находят индукционные нагреватели, которые облегчают и делают безопасным демонтаж крепежа, подвергнутого коррозии [5].

Кроме того, проблемой ремонта является невозможность приобретения оригинальных отдельных деталей узлов, вследствие чего специалистам приходится заменять узел в сборе вместо замены отдельных элементов, вышедших из строя, что приводит к удорожанию ремонтных работ. Приобретение неоригинальных деталей узлов пока является одним из решений этой проблемы.

Для качественного ремонта задней подвески кроссовера «Toyota RAV4» необходимо соблюсти правильное положение основных

сайлентблоков задних продольных рычагов [4]. Специалисты авторемонтных предприятий должны неукоснительно соблюдать рекомендации производителя автомобилей.

Таким образом, рассмотрены проблемы, которые могут возникать в ходе диагностики и ремонта автомобилей на примере кроссовера «Toyota RAV4», обозначена возможность их решения на современном этапе. Результаты исследования могут быть использовано при обучении специалистов авторемонтных предприятий.

Литература:

1. ГОСТ 18667-73. Автомобили, основные агрегаты и механизмы. Термины и определения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. – 12 с.
2. Виколайнен В.Э., Кобчиков В.С., Мельников Б.Е. Устройство автомобильной техники: ходовая часть автомобиля. – СПб: Изд-во СПбПУ, 2022. – 67 с.
3. Хусайнов А. Ш. Эксплуатационные свойства автомобиля. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 110 с.
4. Toyota RAV4. Модели 2WD&4WD 2013-2019 гг. выпуска с бензиновыми двигателями 3ZR-FE (2,0 л) и 2AR-FE (2,5 л). Руководство по ремонту и техническому обслуживанию. – М.: Легион-Автодата, 2020. – 724 с.
5. Toyota RAV4 Service Manual. – English Service Information Library, 2005. – 527 p.

МЕТОД ПРИСОЕДИНЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ ТРАНЗИСТОРОВ К ОСНОВАНИЮ ВЫВОДНОЙ РАМКИ В ПРОЦЕССЕ СБОРКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРИБОРА

Э. Казалиева^{1,2},

**¹Институт физики им. Х.И. Амирханова ДФИЦ РАН,
²Дагестанский государственный технический университет,
г. Махачкала, kazanova.em@mail.ru
Научный руководитель: Шахмаева А.Р., к.т.н., доцент**

Представлены результаты технологии присоединения кристаллов полупроводниковых транзисторов к основанию выводной рамки в процессе сборки с использованием легкоплавкого припоя. В ходе экспериментов была выявлена зависимость теплового сопротивления границы между кристаллом и корпусом транзисторной структуры от технологических операций. Данное

исследование имеет большое значение для повышения эксплуатационной надежности приборов. Технология присоединения кристаллов полупроводниковых транзисторов с использованием легкоплавкого припоя может быть успешно применена в производстве, что позволит увеличить выход годных приборов и обеспечить их более надежную работу.

The results of the technology of attaching semiconductor transistor crystals to the base of the output frame during assembly using fusible solder are presented. During the experiments, the dependence of the thermal resistance of the boundary between the crystal and the body of the transistor structure on technological operations was revealed. This study is of great importance for improving the operational reliability of devices. The technology of joining semiconductor transistor crystals using low-melting solder can be successfully applied in production, which will increase the output of suitable devices and ensure their more reliable operation.

В настоящее время большую роль в области силовой электроники имеют различные мощные полупроводниковые приборы. Среди таких устройств можно выделить биполярные мощные транзисторы, биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ или IGBT), МОП-транзисторы, БСИТ-транзисторы и другие. Биполярные транзисторы особенно широко применяются в таких областях, как энергосистемы, телевидение, автомобильный транспорт, электровозы, радиосвязь, станкостроение, акустическая и гидроакустическая аппаратура, оборонная техника и во многих других промышленных и бытовых областях. Один из важных этапов технологического процесса производства мощных транзисторов - это процесс присоединения кристалла транзистора к корпусу.

Качество присоединения кристаллов мощных транзисторов в процессе сборки полупроводникового прибора к корпусу характеризуется тепловым сопротивлением. Эксплуатационная надежность прибора повышается благодаря низкому тепловому сопротивлению.

Тепловое электрическое сопротивление выявляет надежность эксплуатации мощных транзисторов, которое возникает в процессе присоединения кристалла к корпусу. Очень часто из-за образования скрытых дефектов (сколов, пустот, микротрещин) под кристаллом появляются участки с аномально высоким тепловым сопротивлением.

Основной причиной разрушительного отказа мощных транзисторов, которые работают в режиме коммутации больших токов, считается вторичный пробой, возникший в результате появления локальных участков структуры с аномально высокой температурой. При этом выявляется повышенное тепловое сопротивление границы между кристаллом структуры транзистора и корпусом, которое возникает в основном из-за дефектов в припое под кристаллом.

Метод присоединения кристалла мощного транзистора должен обеспечивать надежную прочность соединения, низкое тепловое сопротивление контакта и максимальный отвод тепла [1-2].

В процессе присоединения кристалла на эвтектические сплавы возникают трудности с значительными внутренними механическими напряжениями, возникающие из-за малой пластичности эвтектики Au-Si и различных коэффициентов термического расширения кристалла, приводящие к непрочной пайке и к ухудшению надежности приборов. Внутренние механические напряжения при воздействии термоциклических нагрузок могут достигать значений 50–65 Мпа и привести к образованию трещин в кристалле.

Выбор припоев для присоединения кристаллов играет важную роль и зависит от конструкции, условий эксплуатации, температуры плавления припоя, устойчивости кристалла к температуре пайки и методов сборки.

Для присоединения кристаллов мощных транзисторов к основанию выведенной рамки был выбран легкоплавкий припой ПОС-5. Толщина этого припоя влияет на внутренние напряжения прибора при посадке кристалла.

Существуют новые технологии на автоматизированных установках для присоединения мощных полупроводниковых приборов, которые устраняют проблемы сборки в водородной среде. Одна из таких технологий - автомат фирмы "ESEC". Он оснащен горизонтальной нагревательной печью из нержавеющей стали с длиной около 600 мм и закрытым кожухом. Припойный сплав подается через отверстие в кожухе на поверхность вращающейся рамки. Кристалл захватывается присоской и притирается к поверхности рамки с припоем. Режимы работы кристалла и нагрузка на него могут быть заданы и регулируются.

Выводные рамки подаются в печь и после припайки кристаллов загружаются обратно в контейнер. Остальные операции также автоматизированы, а режимы контролируются с помощью ЭВМ. Телевизионные камеры снимают изображение процесса пайки, которое отображается на экране телевизора. Таким образом, можно наблюдать увеличенное изображение процесса пайки кристалла.

В процессе эксперимента были получены режимы сборки мощных транзисторов типа номинала КТ829 с площадью кристаллов $3,5 \times 3,5$ мм² и обратной стороной, покрытой слоем металлов хром-никель-олово-серебро (Cr-Ni-Sn-Ag) [3-4].

Присоединение кристаллов на медную выводную рамку ТО-218, покрытую слоем никеля толщиной 4-5 мкм, осуществлялось при помощи припоя ПОС-5 на автомате "ESEC".

Определено, что толщина паяного соединения и распределение припоя являются основными факторами, влияющими на температуру нагрева кристаллов и термомеханические напряжения. Эти факторы также влияют на тепловое сопротивление и процент выхода годных приборов.

Результаты исследований присоединения кристаллов показали, что при дозе припоя 100 импульсов выход годных составляет 93–94 %, а при дозе припоя более чем 150 импульсов 96–98 %. Однако амплитуда вибраций кристалла в пределах 250 мкм не позволяет получить сплошное паяное соединение под ним.

В таком случае, участки с пустотами по площади кристалла достигают 25-30 % площади активной транзисторной структуры, что приводит к тепловой неустойчивости и повышенному тепловому сопротивлению.

При увеличении амплитуды вибраций до более чем 500 мкм эффективное растекание припоя происходит за пределы активной структуры, как показано на (Рисунок 1).

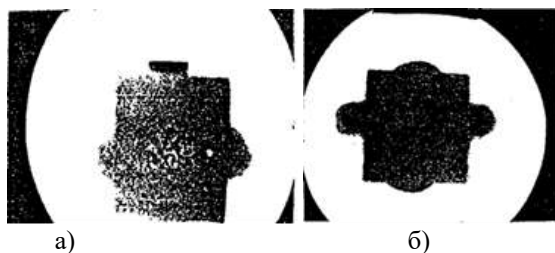


Рис. 1 - качество паяного соединения кристалла под рентгеновским микроскопом: а) - паяное соединение кристалла при амплитуде вибраций 100-250 мкм, б) - паяное соединение кристалла при амплитуде вибраций 350-500 мкм

При амплитуде вибраций в пределах 350-500 мкм, припой под кристаллом обладает однородной структурой, обеспечивая равномерное распространение теплового потока. Выход годных составил 96-98 %.

Толщина припоя под кристаллом, как указано на (Рисунок 2), зависит от дозы припоя и не превышает уровня 22–30 мкм. Эти выводы основаны на проведенных исследованиях присоединения кристаллов и позволяют определить оптимальные параметры для получения качественного паяного соединения.

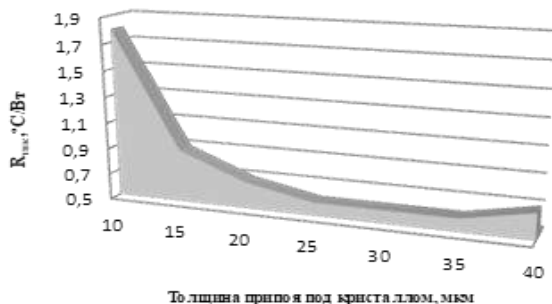


Рис. 2 - зависимость переходного теплового сопротивления кристалл-рамка от толщины припоя

Предложенный метод присоединения кристаллов с использованием программно-управляемой вибрационной пайки позволяет достичь высокой однородности припоя в соединении.

Данный способ также исключает возможность образования дефектов, таких как сколы, трещины, пустоты и непропаи, что существенно снижает уровень термомеханических напряжений в активной структуре и повышает качество присоединения кристаллов.

Одним из ключевых факторов влияющих на качество и надежность прибора является температура, при которой происходит присоединение кристаллов в процессе сборки прибора. Для достижения оптимального результата, температура присоединения кристаллов должна быть установлена на уровне до 360°C, при соответствующей амплитуде вибраций 350-500 мкм. При таких параметрах происходит эффективное удаление окислов из зоны присоединения, обеспечивая отсутствие пустот под кристаллом и необходимый уровень переходного теплового сопротивления (не более 1°C/Вт).

Заключение статьи

С использованием исследованного метода присоединения кристаллов удалось значительно повысить эксплуатационную надежность прибора, достигнув выхода годных приборов до 98%. Данный результат, достигнут за счет получения необходимого теплового сопротивления между кристаллом и корпусом, что в свою очередь способствует снижению переходного теплового сопротивления.

Полученная технология дает возможность осуществлять надежное и эффективное присоединение кристаллов с минимальным риском

возникновения дефектов и обеспечивает высокое качество полупроводниковых приборов.

Литература:

1. Ньюман П. Эффективность преобразования и совершенствование технологий силовых модулей // Компоненты и технологии. – 2008. № 3 (80). – С. 136-138.
2. Шахмаева А.Р., Казалиева Э. Разработка технологии посадки кристалла транзистора на основание корпуса // Проектирования и технология электронных средств. – 2022. № 3. – С. 3-6.
3. Шахмаева А.Р., Казалиева Э. Улучшение тепловых свойств прибора в процессе формирования контакта с коллекторной областью кремниевого транзистора // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2022. – Т. 49. № 3. – С. 6-13. DOI: 10.21822/2073-6185-2022-49-3-6-13.
4. Лашко С. В., Лашко Н. Ф. Пайка металлов. М.: Машиностроение. – 1988. – С. 376.

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГОЛОВНЫХ ОБТЕКАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.С. Пермикин, М.В. Иванова

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

Научный руководитель: Иванцовский В.В., д.т.н., профессор

Анализ технологий и применяемого при их реализации оборудования в практике изготовления обтекателей из композитных материалов позволит подобрать наиболее рациональный метод обработки рассматриваемого изделия. В данной работе рассмотрено наиболее применяемое оборудование при процессе обработки обтекателей.

The analysis of technologies and used in their implementation equipment in the practice of composite fairings manufacturing will allow us to select the most rational method of processing this product. This article discusses the most used equipment for fairing manufacturing.

Известно, что в настоящее время головные обтекала летательных аппаратов изготавливаются из композиционных материалов, т.к. помимо высоких требований к прочности и теплостойкости к ним предъявляются дополнительные требования, связанные с радиопрозрачностью (в

головной части летательного аппарата находится система навигации и средства радиосвязи) [1].

Традиционной и самой распространённой технологией изготовления обтекателей является ручная выкладка слоёв препрега (формование).

Суть данной технологии заключается в том, что на предварительно изготовленную мастер-модель (специальную оснастку, копирующую форму готового изделия) укладывается препрег последовательно слой за слоем, между слоями промазывается связующая смола кистью или валиком, затем смазанные слои придавливаются прикаточным роликом. Заключительным этапом данной технологии является процесс полимеризации (отвержения смолы), который проводится либо в автоклаве (при определённой температуре и давлении), либо методом вакуумной диффузии. После этого, готовое изделие извлекается из оснастки, которая предварительно изготавливается из заготовки на фрезерном ЧПУ-станке [2].

Традиционная технология работы с композиционными материалами имеет серьёзные недостатки:

1. Ручной труд, отсюда долгий процесс укладки препрега и слишком большая продолжительность процесса полимеризации.
2. Человеческий фактор и квалификация рабочих полностью определяют качество изделия, влияющее на его прочность.
3. Под каждый вид изделия требуется индивидуальная дорогостоящая оснастка (мастер-модель), что неоправданно дорого при мелкосерийном или единичном производстве.
4. Большой расход материала – образуется много отходов препрега, а также при слишком большом количестве используемой смолы готовое изделие становится тяжелее.
5. Вредность производства – существует риск попадания опасной микроскопической пыли в лёгкие человека (особенно при работе со стеклопластиком).

При выборе наиболее рациональной технологии изготовления композитных обтекателей следует руководствоваться тем, что такая технология должна полностью исключить вышеуказанные недостатки.

На сегодняшний день также существуют новые технологии изготовления композитных изделий – это автоматизированная выкладка волокон (automated fiber placement – AFP) и автоматизированная выкладка ленты (automated tape laying – ATL). Отличием технологий является лишь ширина укладываемого препрега – в первом случае укладываются несколько узких полос, во втором – лента определённой ширины. Технология AFP имеет меньшую производительность, но при этом каждый жгут может быть уложен по-своему (если есть

необходимость создания сетчатого заполнения материала с целью облегчения изделия). Технология ATL более производительна, но может создавать изделия только со сплошным заполнением.

Технологии автоматизированной выкладки волокон (AFP) и ленты (ATL) представляют собой процессы изготовления композитных изделий на многокоординатном ЧПУ-станке или с использованием роботоманипулятора, при этом, некоторые модели оборудования могут сразу совмещать обе технологии. Устройство такой машины содержит в себе специальную «выкладывающую» головку, которая обеспечивает реакцию механо-химического соединения слоёв композита. Скорость протекания такой реакции зависит от скорости движения головки, работающей по трём параметрам – волокно/лента, температура и давление. Головка подаёт волокна/ленту, предварительно пропитанные связующей смолой, и укладывает их на поверхность мастер-модели, и так далее слой за слоем. Специальный прижимной ролик на головке оказывает необходимое давление для прижима слоёв к оснастке и друг другу, а инфракрасный или лазерный нагреватель прогревает место контакта ролика со слоями, тем самым полимеризация композита протекает одновременно с укладкой слоёв препрега [3].

К преимуществам технологий AFP и ATL можно отнести высокую производительность и небольшую себестоимость производства, отсутствие человеческого фактора и наилучшее качество получаемого изделия, возможность менять конструктивные параметры у головного обтекателя (варьировать параметрами прочности и радиопрозрачности, меняя тип заполнения материала), полностью безопасное и практически безотходное производство.

Однако, у рассматриваемых технологий сохраняется и общий минус – это, как и в случае ручной выкладки слоёв препрега, необходимость использования дорогостоящей специализированной оснастки (мастер-модели) для укладки поверх неё волокон или ленты.

Сравнительно недавно была изобретена ещё одна автоматизированная технология изготовления композитных изделий – это 3D-печать полимером, армированным непрерывным волокном (continuous fibre reinforced polymer 3D printing – CFRP 3D printing). Данная технология идентична широко распространённой технологии 3D-печати методом послойного наплавления (Fused Deposition Modeling – FDM), но отличается конструкцией используемого 3D-принтера, которая позволяет печатать изделия специальными филаментами. Такие филаменты представляют собой полимеры на основе связующей смолы, армированной по всей длине непрерывными волокнами – стекловолокном, углеволокном, арамидом (кевларом) или полиамидом.

Для изготовления по такой технологии головных обтекателей летательных аппаратов, необходимо использование именно таких филаментов (с непрерывными волокнами), чтобы обеспечить требуемые прочностные параметры композита, также как и при изготовлении по другим технологиям. В процессе 3D-печати можно также варьировать различными параметрами для обеспечения требуемых прочностных характеристик изделия – температурой нагрева сопла и рабочего стола, скоростью движения печатающей головки, диаметром сопла и толщиной слоя, типом заполнения материала (сплошное или сетчатое с определённой геометрией и плотностью) [4].

Технология CFRP 3D printing имеет ряд преимуществ – отсутствие человеческого фактора и хорошее качество изделий, возможность варьировать параметрами печати для получения требуемых конструктивных параметров у головного обтекателя, безопасное и безотходное производство, уже не требуется специальная дороговязая оснастка. К недостаткам можно отнести невысокую производительность (по сравнению с технологиями AFP/ATL), а также необходимость дополнительной постобработки после печати (шлифование и полирование поверхностей, сверление отверстий и т.д.).

Хотя дополнительная механообработка порой требуется и после изготовления по другим технологиям (ручной или автоматизированной выкладки препрега) – сверление отверстий под крепление, вырезание окон, шлифование и полирование поверхностей, и другие операции.

Таким образом, наиболее рациональной технологией изготовления композитных головных обтекателей летательных аппаратов является совмещение технологии автоматизированной выкладки волокон/лент (AFP/ATL) с 3D-печатью полимерами с непрерывными волокнами (CFRP 3D printing) и автоматизированной постобработкой (механообработкой при помощи фрезерной ЧПУ-головки). При комбинации, вышеприведённых технологических процессов их недостатки взаимно исключаются. Следовательно, для изготовления головных обтекателей необходимо спроектировать многокоординатный ЧПУ-станок, поддерживающий технологии AFP/ATL, CFRP 3D printing и механической обработки композитов.

Головной обтекатель будет изготавливаться на данном станке в следующей последовательности – первые несколько слоёв печатаются по технологии CFRP 3D printing, затем остальные слои выкладываются по технологии AFP/ATL, и завершающий этап – механообработка. Все эти операции будут выполняться на гибридном станке за один установ.

Литература:

1. Применение композиционных материалов при проектировании носовых обтекателей летательных аппаратов / *Р.А. Нестеренко, А.Г. Магдин, Д.В. Кудрявцев, Д.К. Жанзакова* // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 2. – С. 13-20. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-2-13-20.
2. Технология изготовления агрегатов лёгких самолётов из полимерных композиционных материалов: учеб. пособие / [*В.И. Бгатов, Д.А. Кропивенцев, В.М. Шахмистов*]. – Самара: Изд-во СГАУ, 2006 – 110 с.: ил. – ISBN 5-7883-0478-4.
3. *Denkena B., Schmidt C., Weber P.* Automated Fiber Placement Head for Manufacturing of Innovative Aerospace Stiffening Structures // 16th Machining Innovations Conference for Aerospace Industry, MIC 2016, Garbsen, Germany, 23–24 nov. 2016: Procedia Manufacturing №6, ScienceDirect, Elsevier B.V. – Garbsen, 2016. – P. 96–104.
4. *Anbalagan A., Launchbury E.J., Kauffman M., Pazhani A., Xavier M.A.* Investigation on CFRP 3D printing build parameters and their effect on topologically optimized complex models [Electronic resource] // Materials Today: Proceedings, 2023 – Elsevier B.V. – Coventry, 2023. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.352> (accessed 13.10.2023).

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

Анистратов Н.А., Зайцева Ю.М., Муштаков А.Г.	Москва	3
Аршавская П.В., Плюснин П.Е	Новосибирск	7
Ахмадулина Ю.А., Сысоев В.И., Окотруб А.В.	Новосибирск	9
Батавская С.А., Апарнев А.И., Логинов А.В.	Новосибирск ¹²	12
Башкирова А.С., Тарасов В.П., Комелин И.М.	Москва	14
Бурова Е.А., Швецов Д.А., Жуков В.И.	Новосибирск	18
Воронов Е.М., Турло Е.В.	Новосибирск	23
Гаркушина А.Д., Жужгов А.В., Ларина Т.В.	Новосибирск	24
Гладышева Д.И., Новгородцева О.Н., Бушуева Е.Г.	Новосибирск	28
Глазунов А.М., Мозырев А.Г., Худякова Д.	Тюмень	30
Глазунов А.М., Мозырев А.Г.	Тюмень	34
Головахин В.В., Баннов А.Г.	Новосибирск	36
Гончаров А.С., Рязанцев А.А., Иванов П.И.	Москва	39
Грачева Д.К., Грачев Е.К.	Северск	42
Грачева Д.К., Муслимова А.В.	Северск	44
Гурин С.А., Швецов Д.А., Жуков В.И.	Новосибирск	45
Данн А.А., Зима Т.М.	Новосибирск	49
Доленко В.В., Турло Е.М.	Новосибирск	52
Дроздова А.В., Пинаков Д.В.	Новосибирск	53
Евтюхин М.А., Волчкова Е.В., Буслаева Т.М.	Москва	56
Еловский Р.А., Турло Е.М.	Новосибирск	60

Ельсукова С.Н., Ницакова А.Д., Федосеева Ю.В.	Новосибирск	62
Забелина А.И., Афонина Л.И.	Новосибирск	65
Зеневич Л.С.	Минск	68
Иванников В.В., Уваров Н.Ф.	Новосибирск	72
Каёткин В.Е., Расторгуева М.И., Титова С.М.	Екатеринбург	75
Камнев С.А., Коледова Е.С.	Новосибирск	79
Киселева Н.Н., Уваров Н.Ф.	Новосибирск	81
Колтышев М.Е., Нечкин М.А., Наливайко К.А.	Екатеринбург	84
Кузич А.А., Огородников В.Э.	Минск	89
Кузнецова А.Д., Бадмаев С.Д.	Новосибирск	93
Кусков Т.Е., Бычков А.Л., Бухтояров В.А.	Новосибирск	95
Кукарских Л.О., Якубович В.А., Новгородцева О.Н.	Новосибирск	99
Кызласова Д.А., Улихин А.С.	Новосибирск	101
Лозбень А.Д., Баннов А.Г.	Новосибирск	105
Матрошилов Я.В., Турло Е.В.	Новосибирск	108
Нечкин М.А., Колтышев М.Е., Наливайко К.А.	Екатеринбург	111
Никонова С.Г., Афонина Л.И.	Новосибирск	115
Никулина В.С., Россохач Е.В., Крутский Ю.Л.	Новосибирск	118
Пашенко С.В., Швецов Д.А., Жуков В.И.	Новосибирск	122
Ридель Н.С., Гусев А.А.	Новосибирск	127
Самсонова В.В., Соколова А.С.	Новосибирск	129
Сидоров И.Е., Пономарёва В.Г.	Новосибирск	131
Синельникова Ю.Е., Уваров Н.Ф.	Новосибирск	134
Смагулова А.Р., Баннов А.Г.	Новосибирск	136
Стебницкий И.А., Матейшина Ю.Г.	Новосибирск	140
Тимакова Т.Е., Санарова В.А., Афонина Л.И.	Новосибирск	141
Швабауэр А.И., Брестер А.Е.	Новосибирск	146
Шварцкопф М.А.	Новосибирск	149
Юдина Л.И., Кирьянов А.Д., Скрипкина Т.С.	Новосибирск	152
Юн Э.А., Боброва М.С., Либерман Е.Ю.	Москва	155
Якубова М.И., Молоков П.Б.	Северск	159
Якубова М.И., Грачев Е.К.	Северск	161

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

Александрова Н.С.	Новосибирск	163
Андрюшкина В.Е.	Новосибирск	167
Бадин И.С., Панина А.Г., Бачурин А.С.	Новосибирск	170
Батыров Б.Б., Пухова Е.А.	Новосибирск	175
Белов К.А., Насенник И.Е.	Новосибирск	178
Беляева Е.С., Деморецкий Д.А., Тонеев И.Р.	Самара	179
Бурдилов А.А., Ракшун Я.В., Хомяков Ю.В., Чернов В.А.	Новосибирск	183
Бурхинова Н.Ю.	Новосибирск	185
Ганненко Д.Н.	Новосибирск	188
Головахин В.В., Корниенко Е.Е.	Новосибирск	193
Дик Д.В., Гудыма Т.С., Филиппов А.А.	Новосибирск	196
Долгова В.А.	Новосибирск	200
Дударева А.А., Бушуева Е.Г.	Новосибирск	203
Зобова Ю.О., Антропова К.А.	Новосибирск	206
Иванова Е.А., Сыч Е.И., Епифанов В.Б.	Самара	209
Кан О.И.	Москва	213
Каратеева Д.А., Юргин А.Б.	Новосибирск	217
Ким Е.Ю., Федоренко Э.А., Антропова К.А.	Новосибирск	220
Киселева И.Ю.	Новосибирск	223
Кобылкин К.В., Голышев А.А.	Новосибирск	226
Кузьменко Е.Д.	Томск	229
Кутькин О.М., Ракшун Я.В., Хомяков Ю.В., Чернов В.А.	Новосибирск	232
Малютина Ю.Н.	Новосибирск	233
Манцуров Н.Д., Комонов А.И., Волошин Б.В.	Новосибирск	235
Насенник И.Е.	Новосибирск	239
Насырова А., Дробяз Е.А.	Новосибирск	241
Васильева Ю.З., Некля Ю.А., Сперанский М.Я.	Томск	245
Петухова П.М.	Новосибирск	248
Прокопец А.В.	Новосибирск	252
Пухова Е.А., Бушуева Е.Г.	Новосибирск	255
Ризницкий А.Е., Худяков Д.В.	Новосибирск	258
Станкевич С.В.	Новосибирск	261

Федоренко Э.А., Ким Е.Ю.	Новосибирск	264
Шаговская В.С., Гречухин А.В., Нечаев И.В.	Новосибирск	265

**Секция ТЕХНОЛОГИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ
ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**

Галигузова К.Д.	Новосибирск	269
Гуляева Д.С.	Новосибирск	272
Зеленских С.А.	Новосибирск	275
Евсейчева Е.А., Веселова Ю.В.	Новосибирск	277
Кузьмина А.В.	Новосибирск	280
Нечухрина М.Ф.	Новосибирск	284
Острикова Т.К.	Новосибирск	288
Полосина Н.В.	Новосибирск	291
Полосина Н.В., Гуляева Д.С., Верхушин Д.А.	Новосибирск	294
Тарасова Т.Д.	Новосибирск	297
Федотова К.В.	Новосибирск	302

**Секция АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ
ПРОИЗВОДСТВ**

Александрова А.А.	Новосибирск	305
Воронцов В.А.	Новосибирск	308
Казалиева Э.	Махачкала	310
Пермикин М.С., Иванова М.В.	Новосибирск	315

НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ

**XVII Всероссийская научная конференция молодых ученых
г. Новосибирск, 04-08 декабря 2023 г.**

Сборник научных трудов в 11 частях

Часть 3

Под редакцией Соколовой Д.О.

Подписано в печать 29.01.2024. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Уч.-изд. л. 18,83. Печ. л. 20,25. Тираж 100 экз. Заказ № Р-02883

Отпечатано в типографии

Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20