

Saltanat Alihanovna Bolegenova – Professor, Doctor of Physics and Mathematics, al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Physics and Technology, Thermophysics and Technical Physics Department, Almaty; e-mail: Saltanat.Bolegenova@kaznu.kz

Valery Yuiyovich Maximov – PhD, al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Physics and Technology, Thermophysics and Technical Physics Department, Almaty; e-mail: Valeriy.Maximov@kaznu.kz

Ernar Medetuly – master student, Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Physics and Technology, Thermophysics and Technical Physics Department, Almaty; e-mail: medetuli_ernar@mail.ru.

Редакцияға енуі 27.03.2024

Өңдеуден кейін түсуі 29.04.2024

Жариялауға қабылданды 02.05.2024

DOI: 10.53360/2788-7995-2024-2(14)-44



МРНТИ: 55.22.23

Н. Серікбекұлы^{1,2*}, К.Д. Орманбеков^{1,2}, А.Б. Шынарбек^{1,2}, А.Ж. Жасулан^{1,2}

¹Университет имени Шакарима города Семей,

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

²Научный центр «Модификация поверхности материалов»

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Физкультурная, 4в

*e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЙ СОСТАВ КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ1-0

Аннотация: В данной статье исследуется влияние электролитической среды на структуру и фазовый состав фосфатно-кальциевых покрытий, полученных микродуговым оксидированием поверхности титанового сплава ВТ1-0. Представлены экспериментальные исследования на основе различных электролитических сред (например, водного раствора нитрата кальция и водного раствора фосфата аммония). Фазовый состав и морфология покрытий были проанализированы с помощью микроскопии и рентгеновского дифракционного анализа. На основании исследований ученых в этой области удалось оценить влияние электролитической среды на формирование фосфатных кальциевых покрытий и определить оптимальную среду для достижения определенных свойств покрытий. В заключение следует отметить, что данная работа вносит вклад в понимание процесса формирования поверхностных покрытий на титановых сплавах и может способствовать дальнейшим исследованиям в области модификации поверхности материалов.

Ключевые слова: реакция, кислоты, электролитическая среда, кальций-фосфатные покрытия, микродуговое оксидирование.

Титан и его сплавы широко используются в качестве конструкционных материалов благодаря своим свойствам, таким как коррозионная стойкость и высокая прочность.

Основной целью данной статьи является изучение структуры и фазового состава кальций-фосфатных покрытий на титановом сплаве ВТ1-0 в электролитически насыщенном и газонасыщенном состояниях при высокой температуре и высоком давлении.

Биосовместимые материалы и технологии их изготовления являются одним из ключевых направлений научно-производственного развития, что связано с потребностями практической медицины, нуждающейся в новом поколении имплантатов для восстановления и замещения биологической структуры и функции различных органов человеческого тела.

Покрытия из фосфата кальция, полученные методом микродугового оксидирования, могут быть использованы в нескольких областях на поверхности титановых сплавов ВТ1-0.

Одной из основных областей применения таких покрытий является медицина. Покрытия из фосфата кальция являются биосовместимыми, то есть хорошо взаимодействуют с тканями человека, не отторгаясь. Поэтому такие покрытия можно использовать для изготовления имплантатов, например, титановых протезов суставов и зубных имплантатов. Покрытие из фосфата кальция на поверхности титановых сплавов способствует срастанию имплантата с окружающими тканями и улучшает регенерацию костной ткани. Это покрытие обладает превосходной коррозионной стойкостью и защищает поверхность титановых сплавов от воздействия агрессивных сред, таких как кислоты и щелочи.

Использование фосфатных покрытий кальция на поверхности титанового сплава BT1-0 также улучшает механические свойства. Высокая твердость и износостойкость этого покрытия повышает долговечность и надежность изделий из титановых сплавов.

В целом, использование покрытий из фосфата кальция, полученных методом микродугового оксидирования, на поверхностях из титанового сплава BT1-0 дает множество преимуществ, включая биосовместимость, коррозионную стойкость и улучшение механических свойств [1].

В современной травматологии, ортопедии, стоматологии, и челюстно-лицевой хирургии широко применяются имплантаты для исправления дефектов костной ткани или замещения поврежденных тканей. Эти имплантаты, обычно изготовленные из металлических основ, включая титан и его сплавы, покрываются биосовместимыми материалами, обеспечивающими высокую совместимость с человеческим организмом. Среди методов обработки поверхности титана и его сплавов, а также других материалов, наиболее распространенным является нанесение тонких защитных покрытий из биологически инертных оксидов или биологически активных фосфатов кальция, которые позволяют изготавливать имплантаты, более близкие к биомиметическому материалу костной ткани. Для имплантатов со сложной геометрией наиболее перспективным методом является микродуговое оксидирование (МДО) в водном растворе электролитов.

Микродуговое оксидирование (МДО) выделяется как один из наиболее перспективных методов обработки поверхности материалов, позволяя получать multifunctional покрытия с уникальными свойствами. Его ключевая особенность заключается в использовании поверхностного микроразряда при формировании пленки, который играет важную роль в придании покрытию специфических характеристик. Долгосрочный опыт показывает, что среди множества его преимуществ, возможность формирования функциональных покрытий в электролитах на основе низкоконцентрированных щелочных растворов занимает особое место, подчеркивая его универсальность и эффективность [2].

Покрытия из фосфата кальция, полученные методом микродугового оксидирования, обладают рядом свойств, которые делают их привлекательными для различных технических и медицинских применений:

1. Биосовместимость: покрытия из фосфата кальция являются биосовместимыми и хорошо воспринимаются живыми тканями. Поэтому их можно использовать в медицинских имплантатах, таких как ортопедические и стоматологические.

2. Хорошая адгезия: микродуговые оксидные покрытия обладают хорошей адгезией к материалу подложки. Это обеспечивает стабильную и прочную связь между покрытием и поверхностью подложки.

3. Высокая твердость: покрытие из фосфата кальция имеет высокую твердость, близкую к твердости натурального костного материала. Это делает его идеальным для имплантатов, которые поддерживают и защищают поврежденную кость.

4. Химическая стабильность: покрытия из фосфата кальция, полученные методом микродугового оксидирования, химически стабильны. Они устойчивы к воздействию кислот и щелочей, их поверхность не разрушается и не корродирует.

5. Потенциал роста костей: покрытия, полученные методом микродугового оксидирования, обладают способностью стимулировать рост новых костей. Это свойство особенно полезно, когда покрытие используется в имплантатах, так как оно способствует быстрому заживлению и восстановлению поврежденной кости.

6. Экологичность: процесс микродугового оксидирования не требует использования вредных химикатов или высокой энергии для формирования покрытия из фосфата кальция. Это делает процесс экологически чистым.

В результате покрытия из фосфата кальция, полученные методом микродугового оксидирования, обладают многими полезными свойствами, которые делают их привлекательными для использования в медицине и других областях.

Метод МДО был разработан и широко использовался для нанесения защитных упрочняющих покрытий на титан, алюминий и другие вентильные металлы, но в последнее десятилетие он широко применяется для нанесения биоактивных покрытий из фосфата кальция, в основном на титан. В основном он применяется для титана [3-4].

Для полного понимания этого процесса рассмотрим пример Г.Г. Нечаева, ученого из Саратовского государственного технического университета. Для своих исследований ученый использовал образец прямоугольной пластины размером 10 x 10 x 2 мм из титанового сплава BT1-0. Микродуговое оксидирование он проводил в лабораторной ванне из нержавеющей стали, которая выступала в роли второго электрода, с плавной регулировкой тока и различными электрическими режимами. Электролит перемешивался сжатым воздухом и термостабилизировался путем подачи в ванну холодной воды через рубашку водяного охлаждения. Для процесса микродугового окисления был выбран щелочной раствор электролита, содержащий NaOH в концентрации 3 г/л. Образец погружали в раствор электролита, а затем подвергали микродуговому окислению. Процесс проводился в анодном режиме при плотности тока 90 А/дм² в течение 20 минут (величина тока 2,5 А). Образцы с покрытием промывались в холодной воде в течение 3-4 минут, а затем высушивались в сушильном шкафу в течение 1 часа. Микротвердость измерялась с помощью микротвердомера HVS-1000B, оснащенного системой видеоизмерений SP-5, при нагрузке 9,807 Н в течение 15 секунд. Измерения открытой пористости и контроль структуры поверхности проводились с помощью анализатора изображений AGPM-6M с программным обеспечением "Металлограф". Толщина покрытия измерялась в поперечном сечении с помощью микротвердомера HVS-1000B. Изменения геометрии образцов исследовали путем измерения линейных размеров образцов до и после процесса МДО с помощью микрометра типа МКЦ-0-25-0,001.

Процесс МДО в растворе NaOH проходил равномерно по всей поверхности; визуальный осмотр поверхности после МДО показал, что на образцах образовалось сплошное, однородное серо-голубое покрытие без трещин и обломков. При снижении тока до 1 А процесс продолжался в течение 15 минут без микродуговых разрядов; через 15 минут на поверхности появились микроразряды, и только через 4 минуты после первого микроразряда процесс распространился по всей поверхности. Однако количество микроразрядов было очень мало. При дальнейшем уменьшении силы тока микроразряды больше не возникали.

Результаты Г.Г. Нечаева в инструментальном исследовании образцов перед процессом МДО и сформированного покрытия представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерений характеристик МДО покрытия [15]

Измеряемая характеристика	Значение характеристики	
	с покрытием	без покрытия
Шероховатость: R_a , мкм R_z , мкм	1.37 15	0.79 10.1
Пористость, %	45	—
Микротвердость, HV, кгс/мм ²	271	225
Толщина покрытия, мкм	95 ± 10	—
Толщина образца, мм	1,51	1,49

Известен ряд работ, посвященных разработке и изучению покрытий на основе фосфата кальция, и полученные таким образом покрытия на титане обладают хорошими физико-химическими свойствами, включая высокую коррозионную стойкость, износостойкость, твердость и химическую стабильность в агрессивных средах. Эти свойства были продемонстрированы [5]. Однако существуют некоторые проблемы в области медицинского материаловедения. с увеличением толщины (до 100 мкм) и пористости покрытий из фосфата кальция повышается их биоактивность, osteoconductive и osteoinductive способности, но снижается механическая прочность и прочность сцепления с подложкой. Поэтому разработка биопокрытий с оптимальным сочетанием высокой адгезионной прочности, толщины, пористости и шероховатости является актуальной задачей в области медицинского материаловедения.

В основном, микродуговое окисление осуществляется в устройстве MicroArc-3.0 в электролите на основе водного раствора ортофосфорной кислоты, гидроксиапатита и карбоната кальция.

МДО проводится в анодном режиме при напряжениях 150, 200, 250, 300, 350 и 400 В. Другие электрофизические параметры: длительность импульса – 100 мкс, частота – до 50 Гц, время воздействия – до 10 минут. Морфология поверхности покрытий из фосфата кальция изучается с помощью оптической микроскопии на металлургическом микроскопе Olympus GX-71 и сканирующей электронной микроскопии на электронном микроскопе SEM 515 (Philips). Размер структурных элементов – сферул и пор – измерялся стандартным методом «позитивного среза». Общая пористость оценивается металлографическим методом как отношение общей длины поперечного сечения, соответствующего порам, к общей длине линии среза [5]. Параметр шероховатости Ra измеряется с помощью прибора Profilometer-296 и представляет собой результат усреднения шероховатости по нескольким участкам измерения длины. Для оценки адгезии покрытия к подложке используется «метод отрыва» на тестере Instron 1185, а рентгенодифракционный анализ проводили на дифрактометре BRUKER D8 Advance с угловым диапазоном 2θ 5 - 90°, шагом сканирования 0,01° и линией Cu K α (λ = 1,5405 нм) Инфракрасные спектры измеряются с помощью Фурье-преобразования Инфракрасные спектры измерялись с помощью Фурье-спектрометра BIO RAD FTS 175 в диапазоне длин волн 4000 – 400 см⁻¹. Образцы представляют собой хлопья материала покрытия, предварительно снятые и тонко измельченные с металлической подложки в бромистом калии KBr [6].

На первом рисунке показана амплитуда тока в зависимости от времени осаждения для пленок фосфата кальция при различных напряжениях. Было обнаружено, что микроискровой разряд, приводящий к формированию покрытия, возникает при начальном значении 150 В, которое является начальным значением напряжения микродугового процесса. Начальный амплитудный ток составлял 20 А. Однако через 1,5 минуты после приложения напряжения ток падал до нуля, что свидетельствовало об образовании диэлектрической пленки; при напряжениях от 200 до 300 В начальный ток возрастал до 80-200 А. Максимальное время образования пленки фосфата кальция составляло 10 минут; при напряжении 400 В максимальный ток составлял 400 А. При этом амплитудный ток падал до 90 А на пятой минуте приложения напряжения и далее оставался практически постоянным. В этом случае амплитуда тока снизилась до 90 А на 5-й минуте приложения напряжения и в дальнейшем оставалась практически постоянной.

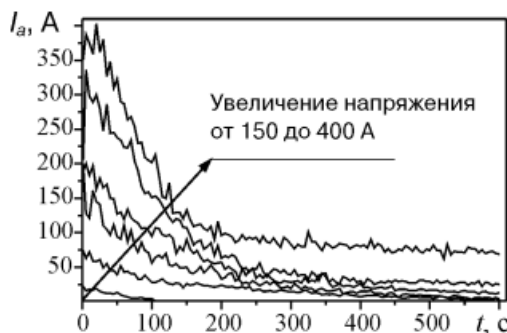


Рисунок 1 – Зависимость амплитудного тока от времени нанесения микродугового покрытия

Второй рисунок показывает, что при увеличении напряжения от 150 В до 350 В размер сферы увеличился почти линейно от 5 мкм до 30 мкм, а размер пор – от 1,5 мкм до 12 мкм. При увеличении напряжения до 400 В средний размер сферы уменьшился до 26 мкм, а размер пор – до 9 мкм. Общая пористость покрытия из фосфата кальция увеличилась с 20 до 25% при увеличении напряжения со 150 до 250 В, но при дальнейшем увеличении напряжения снизилась до 18%.

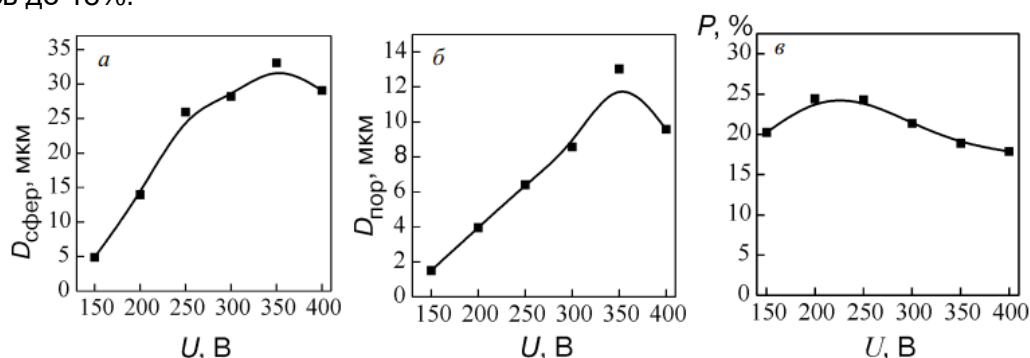


Рисунок 2 – Размер сферолитов (а), размер пор (б) и общая пористость поверхности (в) покрытий из фосфата кальция в зависимости от приложенного напряжения

Таким образом, исследование влияния напряжения микродугового оксидирования на свойства покрытий позволяет получить биопокрытия с оптимально сочетающимися физико-химическими характеристиками: высокой адгезионной прочностью, толщиной, пористостью и шероховатостью. Биопробы, проведенные учеными Института физики прочности и материаловедения СО РАН (г. Томск) Е.В. Легостаевым, Е.Г. Комаровой, Ю.П. Шаркеевым и П.В. Уваркиным на полученных покрытиях, показали, что сразу после нанесения покрытия находились в рентгеноаморфном состоянии и имели высокую скорость реабсорбции. Биологические свойства полученных покрытий с оптимальными характеристиками были изучены в культурах фибробластов *in vitro* [7].

Использование титановых изделий в различных отраслях промышленности может потребовать дополнительных свойств, не зависящих от основного материала. Поэтому поверхность титановых изделий оксидируют для получения высокотемпературных титановых сплавов со специальной микроструктурой, упрочненных и модифицированных сплавов и надежных защитных покрытий [8].

Усиление условий эксплуатации и требований к конструкционным материалам подчеркивает важность нашего исследования, направленного на изучение и применение микродугового оксидирования для создания защитных и упрочняющих покрытий. Методика, демонстрирующая значительные перспективы в улучшении характеристик титановых сплавов, представляет собой ответ на современные технологические вызовы, включая повышенную агрессивность рабочих сред [9].

Микродуговое оксидирование (МДО) может формировать анодный слой на металлах и сплавах вентильной группы (например, Al, Tg, Xt, Y), которые содержат как оксиды основного металла, так и оксиды или соединения, основанные на составе электролита [10-11]. Однако технология МДО не обеспечивает такой же износостойкости, поскольку твердость упрочненного оксидного слоя уменьшается по мере приближения к поверхностному слою основного металла. Неравномерное распределение твердости может привести к сильному износу сопряженных деталей в процессе эксплуатации, особенно в период приработки.

На основании исследований других ученых можно сделать вывод, что износостойкость оксидного слоя зависит от шероховатости поверхности и микротвердости оксидного слоя, которые влияют на величину коэффициента трения, а также от параметров МДО и состава электролита. Сравнительная оценка износостойкости оксидных слоев на титане BT1-0 показала, что КМ с оксидным покрытием обладает более высокой износостойкостью, чем материал без покрытия. Наименьший износ наблюдался в основном оксидном слое, а

наибольший – в рыхлом поверхностном слое. Измерения показали, что микротвердость коррелирует с износостойкостью оксидного слоя [12].

Одна из основных функций покрытий из диоксида титана – формирование крошечных выступов на поверхности. На ранних стадиях формирования покрытия можно наблюдать образование небольших выступов, покрытых частицами оксида. По мере продвижения процесса выступы становятся более выраженными, образуя микротрубочки и поры, пронизывающие покрытие. Кроме того, можно наблюдать появление так называемых «островков» на поверхности. На этих «островках» процесс окисления протекает более интенсивно и образуется более плотное и толстое покрытие, чем на окружающей поверхности [13].

Морфологические и структурные изменения в процессе микродугового оксидирования титана играют важную роль в определении свойств покрытия, таких как адгезия, устойчивость к трению и коррозионная стойкость. Понимание этих изменений может помочь оптимизировать процесс формирования покрытия и разработать материалы с желаемыми свойствами для различных промышленных применений [14-15].

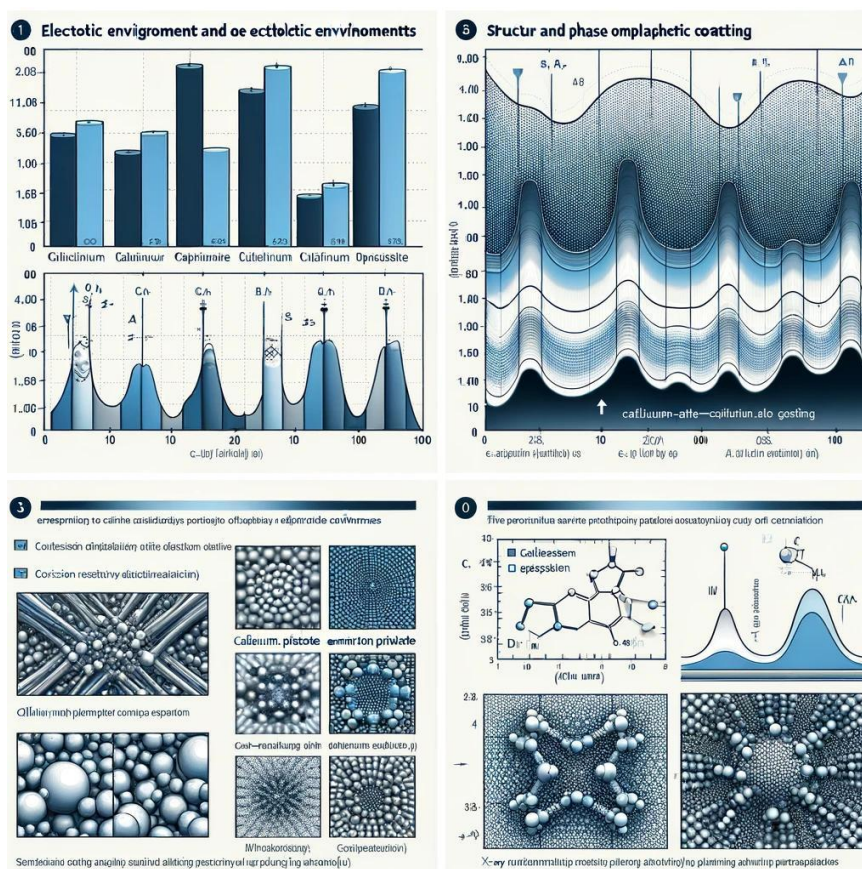


Рисунок 3 – Иллюстративные материалы, отражающие результаты экспериментов

1. **Диаграмма сравнения прочности адгезии покрытий.** Эта диаграмма представляет собой столбчатую диаграмму, которая сравнивает прочность адгезии покрытий, полученных в различных электролитических средах. Прочность адгезии измеряется в МПа, и каждый столбец представляет собой различные электролитические среды, такие как водный раствор нитрата кальция и водный раствор фосфата аммония.

2. **Линейный график коррозионной стойкости покрытий.** Этот график демонстрирует коррозионную стойкость покрытий со временем в солевом растворе. Ось Y отражает степень коррозионных повреждений, а ось X – время в днях. График позволяет оценить долговечность покрытий в агрессивных условиях.

3. Схематическое представление рентгеновских дифракционных паттернов. Эта диаграмма показывает различные фазовые составы в покрытиях, произведенных в растворах кальция нитрата и фосфата аммония. Рентгеновские дифракционные паттерны иллюстрируют, как электролитическая среда влияет на кристаллическую структуру покрытий. Эти иллюстрации важны для демонстрации научных результатов исследования, так как они наглядно показывают, как выбор электролитической среды может влиять на характеристики и свойства фосфатно-кальциевых покрытий. Включение таких графических материалов делает статью более информативной и убедительной для читателей, заинтересованных в разработке и применении инновационных покрытий в медицине и других областях.

Результаты показали, что физико-химические комплексы кальций-фосфатных покрытий играют важную роль в формировании трехмерных структур в культуре клеток, будучи способными одновременно растворять искусственные поверхности (функция остеокластов) и синтезировать новый межклеточный матрикс из продуктов растворения (функция остеобластов). Таким образом, эффективность покрытий из фосфата кальция в улучшении остеоинтеграции была продемонстрирована с помощью биоиспытаний. Данное покрытие может быть использовано в медицинской практике в качестве биологического покрытия на титановых подложках.

Список литературы

1. Синтез керамикоподобных покрытий при плазменно-электролитической обработке вентильных металлов / И.В. Суминов и др. // Известия АН. Серия Физическая. – 2000. – Т. 64, № 4, С. 763-766.
2. Плазменно-электролитическое оксидирование вентильных металлов в электролитах с соединениями Zr(IV) / В.С. Руднев и др. // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2010. – Т. 46, № 4. – С. 380-386.
3. Мамаев А.И. Сильноточковые процессы в растворах электролитов / А.И. Мамаев, В.А. Мамаева. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005, 255 с.
4. Гордиенко П.С. Микродуговое оксидирование титана и его сплавов / П.С. Гордиенко, С.В. Гнеденков. – Владивосток: Дальнаука, 1997, 186 с.
5. Методы исследований материалов: Структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий / Л.И. Тушинский и др. – М.: Мир, 2004, 384 с.
6. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия / А. Смит. – М.: Мир, 1982, 327 с.
7. Пилотное исследование *in vitro* параметров искусственной ниши для остеогенной дифференцировки пула стромальных стволовых клеток человека / И.А. Хлусов и др. // Клеточные технологии в биологии и медицине. – 2010. – № 4. – С. 216-224.
8. Николаев А.В. Новое явление в электролизе / А.В. Николаев, Г.А. Марков, Б.И. Пещевский // Известия СО АН СССР. Серия химических наук. – 1977. – Вып. 5. – № 12. – С. 32-33.
9. Тихоненко В.В. Упрочняющие технологии формирования износостойких поверхностных слоев / В.В. Тихоненко, А.М. Шкилько // Фізична інженерія поверхш. – 2011. – Т. 9, № 3. – С. 237-243.
10. Черненко В.И. Получение покрытий анодно-искровым электролизом / В.И. Черненко, Л.А. Снежко, И.И. Папанова. – Л.: Химия, 1991. – 128 с.
11. Гордиенко П.С. Влияние ионного состава электролита и режима оксидирования на фазовый и элементный состав покрытий, полученных на металлах / П.С. Гордиенко, О.А. Хрисанфова // ДВО АН СССР. Ин-т химии. – Владивосток, 1989. – 70 с.
12. Казанцев, И.А. Технология получения композиционных материалов микродуговым оксидированием: монография / И.А. Казанцев, А.О. Кривенков. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2007. – 240 с.
13. Исследование керамикоподобных покрытий, формируемых на алюминиевых композитах методом микродугового оксидирования / С.В. Савушкина и др. // XIV-я международная научно-техническая конференция «Быстрозакаленные материалы и покрытия». 29-30 ноября 2016 года. – Litres, 2022. – С. 87.

14. Дударева Н.Ю. Влияние режимов микродугового оксидирования на свойства формируемой поверхности / Н.Ю. Дударева // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2013. – Т. 17, № 3(56). – С. 217-222.
15. Нечаев Г.Г. Электрохимические и электролитноплазменные методы модификации металлических поверхностей / Г.Г. Нечаев, С.С. Попова // Материалы III Международной науч.-техн. конф. Кострома, 2010. – С. 270.

References

1. Sintez keramikopodobnykh pokrytii pri plazmenno-ehlektroliticheskoi obrabotke ventil'nykh metallov / I.V. Suminov i dr. // Izvestiya AN. Seriya Fizicheskaya. – 2000. – Т. 64, № 4, S. 763-766. (In Russian).
2. Plazmenno-ehlektroliticheskoe oksidirovanie ventil'nykh metallov v ehlektrolitakh s soedineniyami Zr(IV) / V.S. Rudnev i dr. // Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita materialov. – 2010. – Т. 46, № 4. – S. 380-386. (In Russian).
3. Mamaev A.I. Sil'notokovye protsessy v rastvorakh ehlektrolitov / A.I. Mamaev, V.A. Mamaeva. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2005, 255 s. (In Russian).
4. Gordienko P.S. Mikrodugovoe oksidirovanie titana i ego splavov / P.S. Gordienko, S.V. Gnedenkov. – Vladivostok: Dal'nauka, 1997, 186 s. (In Russian).
5. Metody issledovaniy materialov: Struktura, svoystva i protsessy naneseniya neorganicheskikh pokrytii / L.I. Tushinskii i dr. – M.: Mir, 2004, 384 s. (In Russian).
6. Smit A. Prikladnaya IK-spektroskopiya / A. Smit. – M.: Mir, 1982, 327 s. (In Russian).
7. Pilotnoe issledovanie in vitro parametrov iskusstvennoi nishi dlya osteogennoi differentsirovki pula stromal'nykh stvolovykh kletok cheloveka / I.A. Khlusov i dr. // Kletochnye tekhnologii v biologii i meditsine. – 2010. – № 4. – S. 216-224. (In Russian).
8. Nikolaev A.V. Novoe yavlenie v ehlektrolize / A.V. Nikolaev, G.A. Markov, B.I. Peshchevitskii // Izvestiya SO AN SSSR. Seriya khimicheskikh nauk. – 1977. – Vyp. 5. – № 12. – S. 32-33. (In Russian).
9. Tikhonenko V.V. Uprochnyayushchie tekhnologii formirovaniya iznosostoikikh poverkhnostnykh sloev / V.V. Tikhonenko, A.M. Shkil'ko // Fizichna inzheneriya poverkhsh. – 2011. – Т. 9, № 3. – S. 237-243. (In Russian).
10. Chernenko V.I. Poluchenie pokrytii anodno-iskrovym ehlektrolizom / V.I. Chernenko, L.A. Snezhko, I.I. Papanova. – L.: Khimiya, 1991. – 128 s. (In Russian).
11. Gordienko P.S. Vliyanie ionnogo sostava ehlektrolita i rezhima oksidirovaniya na fazovyi i ehlementnyi sostav pokrytii, poluchennykh na metallakh / P.S. Gordienko, O.A. Khrisanova // DVO AN SSSR. In-t khimii. – Vladivostok, 1989. – 70 s. (In Russian).
12. Kazantsev, I.A. Tekhnologiya polucheniya kompozitsionnykh materialov mikrodugovym oksidirovaniem: monografiya / I.A. Kazantsev, A.O. Krivenkov. – Penza: Informatsionno-izdatel'skii tsentr PGU, 2007. – 240 s. (In Russian).
13. Issledovanie keramikopodobnykh pokrytii, formiruemykh na alyuminievykh kompozitakh metodom mikrodugovogo oksidirovaniya / S.V. Savushkina i dr. // XIV-ya mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Bystrozakalennyye materialy i pokrytiya». 29-30 noyabrya 2016 goda. – Litres, 2022. – S. 87. (In Russian).
14. Dudareva N.YU. Vliyanie rezhimov mikrodugovogo oksidirovaniya na svoystva formiruemoi poverkhnosti / N.YU. Dudareva // Vestnik Ufinskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta. – 2013. – Т. 17, № 3(56). – S. 217-222. (In Russian).
15. Nechaev G.G. Ehlektrokhimicheskie i ehlektrolitoplazmennyye metody modifikatsii metallicheskh poverkhnostei / G.G. Nechaev, S.S. Popova // Materialy III Mezhdunarodnoi nauch.-tekhn. konf. Kostroma, 2010. – S. 270. (In Russian).

Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках проекта гранатового финансирования Комитета науки МНВО РК AP13068529 «Получение многофункциональных кальций-фосфатных покрытий с наночастицами диоксида титана методом плазменно-электролитического оксидирования».

Н. Серікбекұлы*, К.Д. Орманбеков^{1,2}, А.Б. Шынарбек^{1,2}, А.Ж. Жасұлан^{1,2}

¹Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

²«Материалдар бетінің түрлендіру» ғылыми орталығы
Қазақстан Республикасы, Семей қ., Физкультурная к-сі, 4в

*e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com

BT1-0 ТИТАН ҚОРЫТПАСЫНЫҢ БЕТІНДЕГІ МИКРОДОҒАЛЫҚ ТОТЫҒУ ӘДІСІ БОЙЫНША АЛЫНҒАН КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТТЫ ЖАБЫНДАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-ФАЗАЛЫҚ ҚҰРАМЫНА ЭЛЕКТРОЛИТТЫҚ ОРТАНЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Бұл мақалада BT1-0 титан қорытпасының бетінің микродоғалық тотығуы нәтижесінде алынған кальций фосфатты жабындарының құрылымы мен фазалық құрамына электролиттік ортаның әсері қарастырылады. Әртүрлі электролиттік орталарды (мысалы, кальций нитратының және аммоний фосфатының ерітіндісі) қолданатын эксперименттік зерттеулер ұсынылған. Жабындардың фазалық құрамы мен морфологиясы микроскопиялық және рентгендік дифракциялық талдау арқылы алынады. Осы саладағы ғалымдардың зерттеулері негізінде кальций фосфатты жабындарының түзілуіне электролиттік ортаның әсерін бағалауға және жабынның белгілі бір қасиеттеріне қол жеткізу үшін оңтайлы ортаны анықтауға мүмкіндік туды. Қорытындылай келе, бұл жұмыс титан қорытпаларында беттік жабындардың пайда болуын түсінуге ықпал ететінін және материалдардың беттік модификациясы саласындағы одан әрі зерттеулерге ықпал ете алатынын атап өткен жөн.

Түйін сөздер: реакция, қышқылдар, электролиттік орта, кальций фосфатты жабындары, микродоғалық тотығу.

N. Serikbekuly^{1,2*}, K.D.Ormanbekov^{1,2}, A.B. Shynarbek^{1,2}. A.Zh. Zhassulan^{1,2}

¹Shakarim University of Semey,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20 A

²Scientific center «Surface modification of materials»
Republic of Kazakhstan, Semey, Fizkulturnaya str., 4b

*e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com

STUDYING THE INFLUENCE OF ELECTROLYTIC MEDIUM ON THE STRUCTURAL-PHASE COMPOSITION OF CALCIUM-PHOSPHATE COATINGS OBTAINED BY THE METHOD OF MICROARC OXIDATION ON THE SURFACE OF TITANIUM ALLOY VT1-0

This article examines the influence of the electrolytic environment on the structure and phase composition of calcium phosphate coatings obtained by microarc oxidation of the surface of VT1-0 titanium alloy. Experimental studies using different electrolytic media (eg, aqueous calcium nitrate and aqueous ammonium phosphate) are presented. The phase composition and morphology of the coatings were analyzed using microscopy and X-ray diffraction analysis. Based on the research of scientists in this field, it was possible to evaluate the influence of the electrolytic environment on the formation of calcium phosphate coatings and determine the optimal environment for achieving certain coating properties. In conclusion, it should be noted that this work contributes to the understanding of the formation of surface coatings on titanium alloys and can contribute to further research in the field of surface modification of materials.

Key words: reaction, acids, electrolytic environment, calcium phosphate coatings, microarc oxidation.

Сведения об авторах

Айнур Жасулановна Жасулан – магистр естественных наук НАО «Университета имени Шакарима города Семей», Республика Казахстан; Старший научный сотрудник НЦ «Модификация поверхности материалов»; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

Куаныш Даулетович Орманбеков – магистр технических наук НАО «Университета имени Шакарима города Семей», Республика Казахстан; младший научный сотрудник НЦ «Модификация поверхности материалов»; e-mail: ormanbekov_k@mail.ru.

Айбек Бакытжанович Шынарбек – магистрант специальности «Машиностроение»; НАО «Университета имени Шакарима города Семей», Республика Казахстан; младший научный сотрудник НЦ «Модификация поверхности материалов»; e-mail: shynarbekov16@mail.ru.

Нұржан Серікбекұлы* – магистрант специальности «Техническая физика»; НАО «Университета имени Шакарима города Семей», Республика Казахстан; Младший научный сотрудник НЦ «Модификация поверхности материалов»; e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com.

Авторлар туралы мәліметтер

Айнұр Жасұланқызы Жасұлан – жаратылыстану ғылымдарының магистрі; «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы; «Материалдар бетінің түрлендіру» ҒО аға ғылыми қызметкері; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

Қуаныш Даулетович Орманбеков – техника ғылымдарының магистрі; «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы; «материалдар бетін өзгерту» ҒО кіші ғылыми қызметкері; e-mail: ormanbekov_k@mail.ru.

Айбек Бақытжанұлы Шынарбек – «Машина жасау» мамандығының магистранты; «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы; «материалдар бетінің модификациясы» ҒО кіші ғылыми қызметкері; e-mail: shinarbekov16@mail.ru.

Нұржан Серікбекұлы* – «Техникалық физика» мамандығының магистранты; «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы; «материалдар бетінің модификациясы» ҒО кіші ғылыми қызметкері; e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com.

Information about the authors

Ainur Zhassulankyzy Zhassulan – Master of natural science; «Shakarim University of Semey», Republic of Kazakhstan; senior researcher of the NC «Modification of the surface of materials»; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

Kuanysh Dauletovich Ormanbekov – Master of technical science; NAO «Shakarim University of Semey», Republic of Kazakhstan; Junior researcher of the NC «Modification of the surface of materials»; e-mail: ormanbekov_k@mail.ru.

Aibek Bakhytzhanuky Shynarbek – Master's student of the specialty «Mechanical Engineering»; NAO «Shakarim University of Semey», Republic of Kazakhstan; Junior researcher of the NC «Modification of the surface of materials»; e-mail: shinarbekov16@mail.ru.

Nurzhan Serikbekuly* – Master's student of the specialty «Technical Physics»; NAO «Shakarim University of Semey», Republic of Kazakhstan; Junior researcher of the NC «Modification of the surface of materials»; e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com.

Поступила в редакцию 06.02.2024

Поступила после доработки 13.03.2024

Принята к публикации 18.03.2024

DOI: 10.53360/2788-7995-2024-2(14)-45

МРНТИ: 44.31.31



О.А. Степанова, М.К. Касенгалиев, Т.Н. Умыржан*, А.Р. Хажиудинова

Университет имени Шакарима города Семей,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

*e-mail: timirlan-95@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ НЕПРОЕКТНОГО УГЛЯ

Аннотация: Сжигание угля остается важным источником энергии, несмотря на его экологические недостатки. В данной работе исследуется эффективность сжигания непроектного угля марки Д из разреза Каражыра на ТЭЦ-1 города Семей. Целью исследования является оптимизация процессов сжигания для повышения эффективности работы котла Е-90-3,9/440. Метод исследования включает экспериментально-теоретический подход, с акцентом на составление теплового баланса и расчет коэффициента полезного действия (КПД) методом обратного баланса.

Анализ полученных данных показывает, что при увеличении теплопроизводительности котла наблюдается параллельный рост расхода топлива и КПД, указывающий на улучшение эффективности работы котельного агрегата. Выявлено, что при достижении теплопроизводительности в 220 ГДж/ч происходит значительный скачок КПД, свидетельствующий о переходе котла в более оптимальный режим. Этот результат подтверждает не только значительный потенциал для повышения энергетической эффективности, но и стабильность топливных затрат при изменении нагрузок на котельный агрегат.