

УДК 535.14+537.528+621.373.826

ИССЛЕДОВАНИЕ МАСЛОЕМКОСТИ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ТЕХНИКИ И ОБОРУДОВАНИЯ, ОСАЖДЕННЫХ ИЗ ХРОМОВОГО ЭЛЕКТРОЛИТА С ДОБАВКОЙ НАНОМАТЕРИАЛОВ ПЛАЗМЕННОГО СИНТЕЗА

ЛЕЩИК С.Д.¹, ФИЛИПPOB A.И.², КИСЕЛЬ O.B.³

¹ Учреждение образования «Гродненский государственный университет
имени Янки Купалы», Гродно

² Учреждение образования «Гродненский государственный аграрный универ-
ситет», Гродно

³ Открытое акционерное общество «Автобусный парк г. Гродно», Гродно

Аннотация: В работе представлены результаты исследования влияния технологических режимов электролиза, концентрации и типа наночастиц в электролите на маслoемкость покрытий на основе электролитического хрома, полученных из модифицированных наночастицами электролитов.

Ключевые слова: гальваническое покрытие, импульсная лазерная абляция, маслoемкость, наночастицы, хромирование, электроразрядное диспергирование.

Abstract: The paper presents the results of a study of the effect of technological modes of electrolysis, the concentration and type of nanoparticles in the electrolyte, on the oil capacity of coatings based on electrolytic chromium obtained from electrolytes modified with nanoparticles.

Keywords: electroplating, pulse laser ablation, oil capacity, nanoparticles, chrome plating, electrodischarge dispersion.

Введение. Интерес к гальваническим хромовым покрытиям и их широкое распространение обусловлен высокой эффективностью их использования за счет резкого увеличения износостойкости поверхности детали после хромирования. Кроме того, гальванический хром характеризуется высокой твердостью, термической и химической стойкостью. В тоже время целесообразность совершенствования технологического процесса хромирования также велика. Это обусловлено рядом факторов. Хромирование является чрезвычайно энергоемким процессом. При этом скорость осаждения металла и выход хрома по току очень низкие. Рассеивающая и кроющая способность электролита значительно хуже, чем у других процессов электролитической металлизации. Осажденные покрытия отличаются неравномерностью по толщине, которая тем больше, чем толще покрытие. Это влечет затраты на шлифование деталей после хромирования. В связи с этим поиск способов совершенствования процесса хромирования представляется актуальным и активно продолжается [1, 2].

Одним из перспективных подходов к модернизации технологии хромирования является добавление в электролит ультрадисперсных частиц, выступающих в роли модифицирующих добавок [3]. Это объясняется тем, не требуется радикальных изменений технологии хромирования, так как меняется лишь состав электролита, а улучшения эксплуатационных характеристик покрытий – существенным. Однако влияние частиц на свойства покрытий не является универсальным и может существенно различаться в зависимости от таких факторов, как размер, химическая природа, метод синтеза и условия введения частиц в электролит. В одних случаях такие добавки способны заметно улучшать функциональные характеристики осаждаемых слоев, в других — их эффект может оказаться незначительным или вовсе отсутствовать [3, 4]. Если же влияние модификатора достоверно выявлено, ключевым становится понимание механизма его действия. Установление того, внедряются ли частицы в структуру покрытия, изменяют ли морфологию поверхности, влияют ли на кинетику электрокристаллизации или адсорбционные процессы, позволяет не только объяснить наблюдаемые эффекты, но и целенаправленно управлять процессом осаждения, а также оптимизировать эксплуатационные свойства получаемых покрытий. В связи с этим, применение новых модификаторов требует проведения комплекса экспериментальных исследований свойств электролита, характеристик осаждаемых из него покрытий и кинетических особенностей процесса хромирования. Это позволит, решив множество частных исследовательских задач (одной из которых посвящена настоящая работа), сформировать научно-технологические основы получения нанокomпозиционных гальванопокрытий с заданными эксплуатационными свойствами.

Цель работы – исследование влияния наночастиц, синтезированных методом импульсной лазерной абляции алюминия в воде и электроразрядным диспергированием алюминия в воде, на маслосъемность покрытий на основе электролитического хрома, полученных из модифицированных названными наночастицами электролитов.

Материалы, методика и техника экспериментальных исследований. Экспериментальные исследования проводили на образцах гальванических хромовых покрытий на стальной подложке, осажженных из стандартного электролита хромирования, который содержал наноразмерные частицы. В качестве наномодификатора использовали продукты импульсной лазерной абляции алюминия в воде, а также продукты электроразрядного диспергирования алюминия в воде. Подробное описание процессов и установок, а также характеристик синтезированных наночастиц приведено в литературе [5-7].

Для определения маслосъемности, предварительно взвешенные, стальные образцы с нанесенным на них хромовым покрытием погружали в емкость с нагретым маслом, давали остыть до комнатной температуры, извлекали и, очистив поверхности от избытка масла, повторно взвешивали. Отношение привеса к площади хромированной поверхности дает удельную маслосъемность покрытия.

Результаты и их обсуждение. В первой серии экспериментов изучалось влияние состава электролита (тип наночастиц в электролите), температуры осаждения и плотности катодного тока на маслоспособность хромовых покрытий. Концентрация наномодификатора во всех случаях составляла 1 г/дм³. Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 –Значения маслоспособности покрытий $M \times 10^{-5}$ (г/см²) в зависимости от режимов электроосаждения

Катодная плотность тока I , А/дм ²	Осаждение из стандартного электролита при температуре, °С				Осаждение из наноэлектролита, содержащего продукты импульсной лазерной абляции алюминия в воде, при температуре, °С				Осаждение из наноэлектролита, содержащего продукты электроразрядного диспергирования алюминия в воде, при температуре, °С			
	45	50	55	60	45	50	55	60	45	50	55	60
30	1,4	1,5	1,3	1,2	1,5	1,6	1,5	1,4	1,5	1,6	1,5	1,4
40	1,6	1,6	1,4	1,2	1,8	1,7	1,5	1,3	1,7	1,7	1,6	1,4
50	1,4	1,4	1,2	1,1	1,5	1,6	1,5	1,2	1,5	1,6	1,5	1,3

Рассмотрим влияние различных факторов на исследуемый параметр.

Влияние температуры осаждения. Для всех трех типов электролитов (стандартный и два наномодифицированных) наблюдается общая тенденция: с ростом температуры от 45 до 60 °С маслоспособность покрытий, как правило, снижается. Наибольшие значения маслоспособности зафиксированы при 45–50°С.

Влияние плотности тока. При повышении плотности тока с 30 до 40 А/дм² в большинстве случаев наблюдается увеличение маслоспособности, особенно заметное для стандартного электролита и наноэлектролита с продуктами лазерной абляции. При дальнейшем росте плотности тока до 50 А/дм² значения маслоспособности снижаются, приближаясь или становясь ниже показателей при 30 А/дм².

Влияние состава электролита. Покрытия из стандартного электролита имеют наименьшие значения маслоспособности во всех режимах осаждения, особенно при повышенных температурах (55–60 °С) и высоких плотностях тока. Наномодифицированные электролиты (оба типа) обеспечивают получение покрытий имеющих более высокую маслоспособность по сравнению со стандартными покрытиями, особенно в области средних температур (45–55 °С) и при плотности тока 40 А/дм². Образцы, осажденные из электролита с продуктами лазерной абляции показывают наивысшие значения маслоспособности в ряде режимов (например, 1,8 г/см²×10⁻⁵ при 45 °С и 40 А/дм²). Электролит с продуктами электроразрядного диспергирования алюминия также обеспечивает формирование покрытий, которые по маслоспособности превосходят покрытия из стандартного электролита, но в целом значения маслоспособности, близкие

или немного ниже, чем у покрытий из электролита с наночастицами лазерного синтеза.

Максимальная маслосъемность ($1,8 \times 10^{-5}$ г/см²) достигнута при использовании наноэлектролита с продуктами лазерной абляции, температуре 45 °С и плотности тока 40 А/дм².

Вторая серия экспериментов была направлена на изучение влияния концентрации наночастиц в электролите на маслосъемность осаждаемых гальванопокрытий. Для этих исследований осаждение покрытий производили при режимах износостойкого хромирования. Результаты экспериментов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения маслосъемности покрытий на основе гальванического хрома в зависимости от содержания наномодификатора в электролите при их осаждении

Состав электролита	Маслосъемность $M \times 10^{-5}$ (г/см ²) при концентрации ультрадисперсных частиц в электролите хромирования (С, г/дм ³)					
	0,0	0,1	1,0	5,0	10,0	15,0
Стандартный+продукты электро-разрядного диспергирования алюминия в воде	1,60	1,70	1,75	1,80	1,85	1,85
Стандартный+продукты импульсной лазерной абляции алюминия в воде		1,70	1,7	1,75	1,80	1,80

Установлено, что маслосъемность тонких слоев на базе электролитического хрома возрастает с увеличением концентрации дисперсной добавки в электролите: а именно: для обоих типов добавок наблюдается схожий характер зависимости – плавное повышение показателя до концентрации 10 г/дм³, после чего рост стабилизируется.

Покрyтия с продуктами электроразрядного разрушения алюминия демонстрируют чуть более высокую маслосъемность при максимальных концентрациях ($1,85 \times 10^{-5}$ г/см² при 10-15 г/дм³). Покрyтия с продуктами лазерной абляции достигают плато уже при 5-10 г/дм³ ($1,80 \times 10^{-5}$ г/см²). Базовый электролит без наночастиц показывает наименьшую маслосъемность ($1,6 \times 10^{-5}$ г/см²), что подтверждает роль дисперсных добавок в улучшении эксплуатационных свойств покрытий.

Оптимальная концентрация наночастиц для достижения максимальной маслосъемности лежит в диапазоне 5-10 г/дм³.

Продукты электроразрядного разрушения алюминия обеспечивают немного лучшие результаты по сравнению с продуктами лазерной абляции при высоких концентрациях.

Дальнейшее увеличение концентрации (свыше 10 г/дм³) не приводит к значимому росту маслосъемкости, что указывает на предел эффективности добавки в данных условиях.

Выводы. Экспериментально изучено влияние наночастиц, синтезированных методом импульсной лазерной абляции алюминия в воде и электро-разрядным диспергированием алюминия в воде, на маслосъемкость покрытий на основе электролитического хрома, полученных из модифицированных названными наночастицами электролитов, в зависимости от технологических режимов электролиза, типа и концентрации частиц. Показано, что наибольшей маслосъемкостью характеризуются покрытия осажденные при 45-50 °С и катодной плотности тока равной 40 А/дм² из электролитов с добавкой наноразмерных продуктов электро-разрядного диспергирования алюминия в концентрации 5-10 г/дм³.

Список литературы:

1. Груба О.Н. Повышение эффективности процесса электролитического хромирования / О.Н. Груба, Н.А. Векессер // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Химия. - 2022. – Т. 14, № 1. – С. 114-124.
2. Тарасевич С.Т. Влияние наноразмерных продуктов электроэрозионного разрушения алюминия на рассеивающую способность электролита хромирования / С.Т. Тарасевич, М.С. Лещик, А.М. Плоцкая // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения: сб. материалов VI Междунар. науч. конф. молодых ученых, Гродно, 2 июня 2022 г. / ГрГУ им. Янки Купалы ; редкол.: А. С. Воронцов (отв. ред.) [и др.]. – Гродно : ГрГУ им. Янки Купалы, 2022. – С. 311-316.
3. Сайфуллин Р. С. Композиционные покрытия и материалы / Р.С. Сайфуллин. – М.: Химия, 1977. – 272 с.
4. Тюриков Е. В. Исследование служебных свойств покрытий, полученных в саморегулирующемся электролите хромирования, содержащего нанопорошок оксида алюминия с размером частиц 5–50 нм / Е.В. Тюриков // Авиационные материалы и технологии. – 2009. – Т. 10, № 1. – С. 13-17.
5. Лещик С.Д. Процессы и установки для получения наночастиц методами, использующими плазменное состояние вещества. Импульсная лазерная абляция / С.Д. Лещик, К.Ф. Зноско, В.В. Тарковский // Актуальные проблемы науки и техники: материалы I Международной научно-технической конференции, Сарапул, 20-22 мая 2021 г.: СПИ (филиал) ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»; под общ ред. Г.В. Миловзорова. – Ижевск: Изд-во УИР ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2021. – С. 32-36.
6. Лещик С.Д. Процессы и установки для получения наночастиц методами, использующими плазменное состояние вещества. Электроимпульсное разрушение материалов / С.Д. Лещик, В.В. Тарковский, К.Ф. Зноско // Актуальные проблемы науки и техники: материалы I Международной научно-технической конференции, Сарапул, 20-22 мая 2021 г.: СПИ (филиал) ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»; под общ ред. Г.В. Мило-

взорова. – Ижевск: Изд-во УИР ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2021. – С. 37-41.

7. Лещик, С.Д. Исследование характеристик наномодификаторов гальванических покрытий, синтезированных при лазерной абляции алюминия в жидкой среде / С. Д. Лещик [и др.] // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка. – 2021. – Т. 11. – № 2. – С. 49-59.