

УДК 621.357.7

*П. С. Богатова, П. А. Дикий**Уральский государственный аграрный университет**(г. Екатеринбург)***СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ
ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ХРОМИРОВАНИЯ**

Хромирование, давно открытая технология создания декоративных, антикоррозионных, твёрдых хромовых покрытий путём электроосаждения металлов. Однако сейчас, когда качество покрытий и потенциал продуктивности их нанесения сильно исчерпал себя, появляются новые цели и направления в развитии хромирования, в том числе автоматизация и оптимизация уже существующих процессов, создание нового оборудования для хромирования, новых сплавов и композитов гальваническим методом. В статье обзревается исследования по вышеупомянутым направлениям, кратко описывается развитие технологии хромирования, современные исследования, направленные на улучшение качества покрытий и повышение экологичности процесса, а также затронута актуальная тема, отчистки сточных вод гальванических цехов, занимающихся хромированием, оказывающих негативное влияние на экологию.

Ключевые слова: *Гальваника, хромирование, управление гальваническим процессом, гальваническая установка, гальваническое покрытие, анод, хромовый сплав, хромовый композит, отходы хромирования, электроосаждение.*

Полина Сергеевна Богатова – преподаватель кафедры почвоведения, агроэкологии и химии имени проф. Н.А. Иванова, ФГБОУ ВО Уральский

ГАУ, Россия, 620075, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42. E-mail: bogatova.p.s@gmail.com.

Петр Алексеевич Дикий – студент Уральского ГАУ, Россия, 620075, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42. E-mail: dikiypetralexseyevich@gmail.com.

MODERN RESEARCH IN GALVANIC CHROMIUM COATING

Chrome plating is a long-discovered technology for creating decorative, corrosion-resistant, hard chrome coatings by electroplating. However, nowadays the quality of the coatings and the productivity potential of their application have been largely exhausted, so, new goals and directions for the development of chrome plating are emerging. Such as automation and optimization of existing processes, creation of new equipment for chrome plating, new alloys and composites by electroplating. This article will review the research on the mentioned directions, modern research aimed at improving the quality of coatings and the environmental friendliness of the process and the relevant topic of treatment of wastewater having a negative impact on the environment in galvanic shops engaged in chrome plating.

Key words: *galvanic, chromium plating, galvanic process control, galvanic plant, galvanic coating, anode, chromium alloy, chromium composite, chromium waste, electrodeposition.*

Polina Bogatova – lecture of the Soil Science, Agroecology and Chemistry Department named after prof. N. A. Ivanov, Ural State Agrarian University, Russia, 620075, Sverdlovsk Region, Yekaterinburg, st. Karl Liebknecht, 42. E-mail: bogatova.p.s@gmail.com.

Peter Dikiy – student of, Ural State Agrarian University. Russia, 620075, Sverdlovsk region, Yekaterinburg, st. Karl Liebknecht, 42. E-mail: dikiypetralexseyevich@gmail.com

Для цитирования

Богатова П. С., Дикий П. А. Современные исследования в области гальванического хромирования // Аграрное образование и наука. 2023. № 2. С. 3

Введение

Процесс хромирования обеспечивает нанесение покрытий, с большой твердостью, износоустойчивостью, жаростойкостью, с высокой способностью к отражению, быстрой пассивацией, которой обуславливается коррозионная стойкость. Само по себе электроосаждение металлов было открыто Борисом Семёновичом Якоби ещё в 1836 году и активно исследовалось им самим, на протяжении всей его жизни. Он также активно поддерживал сторонние исследования, однако изначально большинство исследований были посвящены в основном применению электроосаждения в искусстве и декоративных покрытиях [Якоби, 1957]. В конце 19-го, начале 20-го века куда больший интерес привлекли практические свойства гальванических покрытий, благодаря которым можно было увеличивать качество изделий, их срок эксплуатации и придавать им свойства, осаждённых на их поверхность металлов. Именно такую популярность получило в 1926-27 годах во всех промышленно развитых странах хромовое покрытие [Лайнер В.И., Кудрявцев, 1937, 1938; Павлова, 1963]. Его свойства стали очень востребованы, так как вместо использования деталей из дорогих марок стали или других металлов, можно было применять, куда более дешёвые хромированные детали из обычной стали или железа, там, где это не ухудшало качество продукции. Это было не только экономически выгодно, но и технологически проще. На сегодняшний день хромирование не только не потеряло своей популярности, но и стало ещё более востребованным методом, поскольку современные составы и оборудование позволяет

добиться высокой надёжности, низких затрат при эксплуатации, долгого эксплуатационного периода, а также позволяют эффективно восстанавливать даже сложные по форме или изношенные детали [Khusanboyev, Mukhtorov, 2022.]. Все это обуславливает популярность использования хромирования в разработке оборудования для тяжелой промышленности [Pyshmintsev, Golyshev etc., 2022.] и сельского хозяйства [Rudenok et al., 2022.].

Ключевые события прошлого в развитии технологии хромирования.

Развитие технологий нанесения хромовых покрытий зачастую идёт параллельно с другими технологиями гальванического покрытия, а значит многие ключевые этапы развития у них общие. Первый такой этап, это переход от использования неудобных электрохимических источников тока к электрогенераторам с большей стабильностью и управляемостью, что открыло новые возможности для варьирования режимов тока, и как следствие, свойств получаемого покрытия.

Со временем разрабатывались новые составы, ванны и другое оборудование, а также улучшались существующие. Разрабатывались новые методы контроля процесса и состава электролита. Однако многие составы стали работоспособны, только при применении блескообразователей и поверхностно активных веществ. Использование данного новшества в целом позволило довольно значительно повысить качество покрытий [Девис, Джеймс, 1979].

Современные исследования.

Технологии, составы и оборудование совершенствуются и создаются по сей день. В работе О.Н. Груба и Н.А. Векесер рассматриваются возможности по интенсификации и оптимизации процесса осаждения, путём изменения состава в качественном и количественном плане. Также рассмотрены составы, значительно расширяющие верхний предел

допустимых плотностей тока, при которых качественный хромовый осадок будет получаться быстрее [Груба, 2022].

Не менее интересна работа Варфаламеевой С. В. и Буториной А.А. посвящённая разработке технологии получения хром-алмазных покрытий, представляющих собой электрохимический композит. Главной проблемой его создания является низкая энергетическая стабильность наноалмазов из-за чего вместо их равномерного распределения по площади покрытия происходит создание агломераций. Авторами была усовершенствована технология равномерного распределения наноалмазов на поверхности и в объеме гальванического покрытия, разработана гальваническая ванна, специализированная для хром-алмазного покрытия, а также предложен способ стабилизации наночастиц, для получения качественных покрытий. При использовании этой технологии толщина осадка уменьшается (до трёх раз), параллельно значительно возрастает скорость осаждения (до 5 раз) и увеличивается износостойкость (до 6 раз). Несмотря на то, что использование наноалмазов увеличивает стоимость покрытия, затраты существенно не меняются из-за получения слоя в 3 раза меньше стандартного, затраты на материал уменьшаются, а увеличение скорости протекания реакции уменьшает затраты на электроэнергию. Итоговый продукт не сильно дороже стандартных покрытий, но имеет более высокие физико-химические качества, которые способствуют получению продукции лучшего качества и экономии за счёт большего срока эксплуатации без ремонта или замены [Варфаламеева, Буторина, 2021].

В связи с популярностью применения нанотехнологий в различных областях производства, добавление наноалмазов в покрытия также является интересной для исследователей темой. В работе Zoghipour «Investigation of Wear Behaviors of Nanodiamond Particles Added Chromium Coating on Porous Powder Metallurgy Specimens» показано сравнение свойств пористых металлических образцов без покрытия, термообработанных образцов,

покрытых с использованием гальванического хромирования и покрытия с использованием наноалмазов [Zoghiour 2022]. После чего технология была испытана на цепном колесе нефтяного насоса. В результате данного исследования было установлено, что добавление наноалмазов в состав покрытия привело к улучшению твердости и износостойкости хромоалмазных покрытий по сравнению с покрытиями из чистого хрома, без покрытия и образцами, прошедшими термообработку.

Вне зависимости от используемого состава и технологии нанесения покрытия, для получения максимальных результатов необходимо использовать качественное и современное оборудование, способное поддерживать оптимальные условия процесса хромирования, а также требуется повышение точности и равномерности в нанесении покрытия за счёт особенностей самого оборудования. В результате чего станет возможным обойти ограничения, зависящие от состава электролита. В работе А.Н. Котомчина и А.Ф. Синельникова были проанализированы уже существовавшие на тот момент способы поддержания температуры и выявлены их недостатки, а также создан новый способ поддержания температуры и разработана установка, позволяющая сократить электрозатраты и улучшить качество покрытий, как при низких 20-35 °С так и при высоких 40-60 °С температурах электролита [Котомчин, Синельников, 2020]. Литовка Ю.В., Скворцов И.В., Хворов В.А. провели анализ работ посвящённых модернизации оборудования связанных с увеличением равномерности покрытий, а также предложили способ с использованием подвижного фигурного спицевого анода, который по итогам их исследования должен положительно сказываться на равномерности покрытия и управляемости процессом [Литовка, Скворцова, 2022].

Важным направлением в хромировании остаётся ремонт изношенных деталей. Исследовательская работа Чуриловой Д. Г., Стекольниковой Ю. А., Араповой И. С., и др. как раз написана на столь актуальную тему, как

промышленное использование хромирования при ремонте сельскохозяйственной техники. В статье рассматривают основные формы поляризационного тока, и других факторов, которыми обуславливаются свойства хромового покрытия. Даются различные рекомендации для улучшения процесса восстановления и упрочнения деталей. [Чурилова, Стекольников и др., 2019]

Не смотря на великолепные качества хромовых покрытий. Хромирование считается очень токсичным производством из-за используемых в нём соединений, к тому-же процесс имеет относительно низкую продуктивность и довольно высокую энергоёмкость, а результате остаётся довольно много отходов производства, что создаёт серьёзную экологическую угрозу. Однако эту проблему не обошли стороной различные исследования, как российских, так и иностранных авторов, посвящённые решению проблемы путём изменений в составе и технологиях хромирования для уменьшения расхода и выбросов электролита М. Ю. Белгородской, Д. О. Игнаткиной, Ю. Ю. Юрьевой, и др. [Белгородская, Игнаткина, и др, 2021.].

Кроме того, для снижения токсичности электролита представляется возможным использование технологий смешанных покрытий, таких как железо-никель-хром, позволяющих получить однородное покрытие со схожими свойствами при использовании электролита, в составе которого используется более экологичная форма хрома. Исследования таких покрытий сосредоточены на установлении зависимости твердости, коррозионной стойкости, силы адгезии покрытия и влияния изменения состава электролита от режима тока [Meinhold, 2022] или изучении влияния соотношения компонентов электролита на коррозионную стойкость покрытия и разработке его практического применения [Song et al., 2022].

Другое направление улучшение технологий и способов очистки воды и утилизации электролитов хромирования, либо нахождение им других

применений после отработки, работы на подобную тему представлены статьями как российских, так и зарубежных авторов, например исследование состава сточных вод, образующихся после электрохимических процессов [Stojković et al., 2023], изучение утилизации электролита в целом [Пашаян, Зеркаленкова, 2016] или токсичных ионов хрома в частности [Andrade et al. 2022].

Заключение.

Хромирование остаётся одним из самых востребованных гальванических процессов, увеличивающих износостойкость деталей, их коррозионную устойчивость и придающих другие полезные свойства. Новые способы применения и большой потенциал к совершенствованию свойств покрытия, а также технологий нанесения и утилизации электролита постоянно увеличивают интерес к его исследованию и развитию. Кроме того, потенциал использования хрома в смешанных составах электролитов также позволяет улучшить качество покрытия и снизить экологические последствия использования хрома. Благодаря вышеперечисленным вариантам усовершенствования процесс хромирования еще долгое время будет представлять интерес для исследователей. На производствах также по-прежнему широко используют данную технологию, поскольку ее относительная дешевизна дает возможность производить доступные качественные изделия.

Список литературы

Andrade D. C. et al. Coupling electrokinetic with a cork-based permeable reactive barrier to prevent groundwater pollution: A case study on hexavalent chromium-contaminated soil //Electrochimica Acta. 2022. Т. 429. P. 140936.

Khusanboyev A. M., Mukhtorov S. H. S. Improving the strength of details by chroming the surfaces //Educational Research in Universal Sciences. 2022. Т. 1. №. 6. P. 626-634.

Meinhold V. et al. Electrodeposition of thick and crack-free Fe-Cr-Ni coatings from a Cr (III) electrolyte //Coatings. 2022. Т. 12. №. 1. P. 56.

Pyshmintsev I. Y., Golyshev A. S., Lovyagin A. M. Local Chromium Plating as a Promising Method for Refurbishing Long Retained Mandrels in Continuous Rolling Mills //Steel in Translation. 2022. Т. 52. №. 11. P. 1079-1085.

Rudenok V. A. et al. The design and properties of galvanic anticorrosive coatings for important precision parts of farming equipment //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2022. Т. 949. №. 1. P. 012113.

Song Y. et al. High-throughput preparation and electrochemical screening of nanocrystalline Fe-Cr-Ni material libraries with homogeneous element distribution // Corrosion Science. 2022. Т. 196. P. 110028.

Stojković A. S. et al. Comparative physicochemical analysis of galvanic sludge wastes //Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2023. P. 1-10.

Zoghipour N. et al. Investigation of Wear Behaviors of Nanodiamond Particles Added Chromium Coating on Porous Powder Metallurgy Specimens //Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2022. Т. 58. №. 1. P. 42-52.

Белгородская М. Ю., Игнаткина Д. О., Юрьев Ю. Ю., и др. Повышение качества очистки сточных вод машиностроительных предприятий, использующих хромовый ангидрид // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал, 2021. № 4 (38). С. 33–36.

Варфаламеева С. В., Буторина А. А. Разработка технологии получения гальванических хром-алмазных покрытий за счет усовершенствования методов стабилизации наноалмазов // Наукосфера. 2021. № 6(2). С. 45-51.

Груба О. Н., Векессер Н. А. Повышение эффективности процесса электролитического хромирования // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2022. Т. 14, № 1. С. 114–124. DOI: 10.14529/chem220113.

Девис С., Джеймс А. Электрохимический словарь. Мир, 1979, 288 с.

Котомчин А. Н., Синельников А. Ф. Установка для поддержания рабочей температуры электролитов при восстановлении деталей машин гальваническими покрытиями // Вестник СибАДИ 2020. №. 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-500-511>.

Лайнер В. И., Кудрявцев Н. Т. Основы гальваностегии (в двух томах). М., Л.: Главная редакция литературы по цветной металлургии. 1936 г.

Литовка Ю. В., Скворцова В. И., Хворов В. А. Оптимальное управление гальваническим процессом с использованием каркасного фигурного анода, состоящего из спиц – анодов // Научные известия. 2022. № 27. С. 163-166.

Павлова О. И. История техники электроосаждения металлов. Изд. АН СССР М., 1963, 128 с.

Пашаян А. А., Зеркаленкова М. В. О возможности утилизации электролитов хромирования без образования гальваношламов// Вестник технологического университета. 2016. № 9. С. 151-154.

Чурилова Д. Г., Стекольников Ю. А., Арапова И. С. и др. Промышленное использование хромирования при ремонте деталей сельскохозяйственной техники // Вестник рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2019 № 4(44). С. 120-125.

Якоби Б. С. Работы по электрохимии. Сборник статей и материалов под ред. Акад. А.Н.Фрумкина. Изд. АН СССР, М.-Л., 1957, 304 с.

Рецензент: Воронин Б. А., Уральский ГАУ (г. Екатеринбург)