

# РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ХРОМА НА МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ В ВИДЕ ПОКРЫТИЯ

**Мухторов Сохибджон Абдуфатто оглу**  
Доцент кафедры «Инженерных технологий»  
Кокандского государственного университета

**Тойбозоров Шохиджахан Раббим Оглу,**  
Ассистент кафедры «Инженерные технологии»  
Кокандский государственный университет

**Аннотация:** В статье разработана специальная технология нанесения хромовых покрытий на металлические поверхности. Хромовые покрытия отличаются высокой твердостью, коррозионной стойкостью, низким коэффициентом трения и термостойкостью. В исследовании изучено влияние процесса электрохимического покрытия, состава электролита, анодно-катодной плотности и температурного режима на качество покрытия. Проанализированы недостатки традиционных технологий (высокое энергопотребление, влияние ионов  $\text{Cr}^{6+}$ , внутренние напряжения) и предложены пути их устранения. Качество покрытия улучшилось за счет использования нанодобавок и режима импульсного тока. Результаты испытаний подтвердили эффективность новой технологии и показали возможности ее применения в машиностроении, энергетике и авиации.

**Ключевые слова:** Хром, покрытие, технологическая схема, теплоемкость, температура плавления, удельная теплоемкость, коэффициент трения, износостойкость.

## DEVELOPMENT OF A SPECIAL TECHNOLOGY FOR APPLYING CHROMIUM COATINGS TO METALLIC SURFACES

**Mukhtorov Sokhibjon Abdufatto Ugli**

Associate Professor, Department of Engineering Technologies  
Kokand State University

**Toybozorov Shohidjahon Rabbim Ugli**

Assistant, Department of Engineering Technologies  
Kokand State University

**Abstract.** This article presents the development of a special technology for applying chromium coatings to metallic surfaces. Chromium coatings are characterized by high hardness, excellent corrosion resistance, a low coefficient of friction, and superior heat resistance. The study investigates the influence of the electrochemical deposition process, electrolyte composition, anode-cathode current density, and temperature conditions on coating quality. The limitations of conventional chromium plating technologies, including high energy consumption, the adverse effects of  $\text{Cr}^{6+}$  ions, and internal stresses, are analyzed, and approaches to overcoming these

challenges are proposed. The incorporation of nano-additives and the application of a pulsed current mode significantly improved the quality of the deposited coating. Experimental results confirmed the effectiveness of the proposed technology and demonstrated its potential applications in mechanical engineering, the energy sector, and the aerospace industry.

**Keywords:** chromium, coating, technological process, heat capacity, melting temperature, specific heat capacity, coefficient of friction, wear resistance.

**Введение.** На современном этапе развития машиностроительной отрасли надежность и долговечность изготавливаемых деталей и механизмов являются одним из важных вопросов. Узлы, узлы и различные функциональные детали, производимые на машиностроительных предприятиях, обычно подвергаются воздействию высокого давления, интенсивного трения, резких перепадов температуры, агрессивного воздействия окружающей среды и коррозионных процессов. В таких сложных условиях на поверхности деталей появляются различные дефекты, износ, деформации или трещины, а срок их службы резко сокращается.

Традиционное производство таких деталей требует больших материальных затрат, дополнительного сырья, энергоресурсов и рабочей силы. С этой точки зрения, восстановление существующих деталей и продление срока их службы являются одной из актуальных задач в машиностроительной отрасли. В этой связи особое значение приобретают методы защиты и упрочнения металлических поверхностей специальными покрытиями, особенно технология хромирования.

Металлические поверхности, покрытые хромом, отличаются рядом положительных свойств. В частности, электролитическое хромирование придает металлической поверхности такие качества, как: высокая твердость, пониженный коэффициент трения, высокая износостойкость, коррозионная стойкость в агрессивных средах и термостойкость.

Хромирование также является эффективным методом восстановления корродированных деталей, восстанавливая их первоначальные размеры и геометрическую точность. Это позволяет повторно использовать существующие детали вместо изготовления новых. Практика показывает, что такие методы играют важную роль в снижении расхода металла в процессе производства, снижении производственных затрат и уменьшении вредных для окружающей среды выбросов.

Поэтому научное развитие и совершенствование технологии хромирования металлических поверхностей в машиностроительной отрасли является сегодня одной из актуальных задач. Дальнейшее совершенствование технологии хромирования расширит возможности производства высококачественных, надежных и долговечных деталей машин. Это не только обеспечит технико-экономическую эффективность в машиностроительной отрасли, но и повысит конкурентоспособность отечественного производства.

**Обзор литературы.** В 2023 году ученые из Нанкинского технологического университета в Китае Ян, Ч., Чжан, Н., Ли, Х., Чен, Б., Ян, Б. опубликовали в журнале «Колледж материаловедения и инженерии» статью «Сравнение механизмов микроизноса PVD-хромовых покрытий и электролитического твердого хрома» и сравнили чистые хромовые покрытия, полученные методом тонкопленочного нанесения, при котором твердый металл или сплав испаряется в вакууме или среде инертного газа низкого давления и конденсируется на поверхности детали, с традиционным методом электролитического твердого хромового покрытия. Хромовое покрытие, сформированное методом ионизированного дугового испарения в магнитном поле, показало высокую микротвердость и хорошие адгезионные свойства на единицу толщины; однако существуют проблемы с защитой новых деталей (2–10 мкм) и восстановлением изношенных деталей до толщины (50–500 мкм) [1].

В статье 2020 года под названием «Электроосаждение толстого твердого хромового покрытия из раствора трехвалентного хрома, содержащего тройной комплексообразующий агент» ученые из Уханьского университета в Китае и Университета Роберта Гордона в Шотландии представили метод нанесения покрытия Cr(III) толщиной 30 мкм. В статье подчеркивается, что это способ снизить экологический риск, связанный с Cr(III). Утверждается, что электроосаждение Cr(III) на деталях и поверхностях трения может стать практической альтернативой в будущем [2].

В своей статье 2022 года «Механическое поведение твердого хрома, осажденного из трехвалентного хромового раствора» исследователи из Университета Тулузы во Франции, Гийон Р., Далверни О., Фори Б., Газо К., Алексис Ж., измерили механические свойства хромовых покрытий с помощью экспериментального и модельного анализа и обнаружили, что они являются «эластофрагическими», то есть обладают высокой твердостью и относительно низким коэффициентом восстановления. Еще одним преимуществом этих покрытий из Cr(III) является то, что, несмотря на хорошую коррозионную стойкость, их механические свойства могут значительно снижаться из-за микротрещин. Отмечается, что для восстановленных деталей, подверженных динамическим нагрузкам, трехвалентные покрытия следует упрочнять термической обработкой или композитными материалами [3].

В своей статье 2024 года «Композитное покрытие ( $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr+Co}$ ), нанесенное методом HVOF-напыления на высокопрочный чугун: микроструктура, механические свойства и устойчивость к царапинам», опубликованной Ксязеком М. и Лип-Вронской К. из Краковского университета (Польша), они показали, что композитные покрытия  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  (с добавлением Co) были нанесены на поверхность цилиндрических деталей методом газового напыления и продемонстрировали высокую плотность,

хорошую твердость и износостойкость. Они отметили, что добавление порошков Со увеличивает вероятность разрушения и растрескивания [4].

**Методология исследования.** Известный нам катодный метод хромирования широко распространен. Предлагаемая нами технология направлена на усовершенствование этого метода. Выполняется следующая последовательность операций. В рабочую (хромирующую) ванну объемом 1480 литров (1/2 от требуемого объема) заливают воду и нагревают до температуры 60°C. Необходимое количество диоксида хрома взвешивают на весах и высыпают в ванну. Его тщательно перемешивают деревянной мешалкой или измельчителем. После полного растворения диоксида хрома из раствора отбирают пробу для химического анализа с целью определения количества диоксида хрома и свободных сульфатных ионов в растворе. По результатам анализа обнаруженные в растворе диоксида хрома сульфатные ионы нейтрализуют. Для этого в раствор добавляют монооксид углерода из расчета 1,53 грамма на 1 грамм сульфатного иона. Этот процесс необходимо проводить осторожно, поскольку присутствие свободных сульфатных ионов в исходном растворе диоксида хрома практически полностью нарушает взаимное равновесие и резко ухудшает технологические параметры электролита. Диоксид карбоната стронция следует вводить в ванну небольшими порциями – важно перемешивать раствор и предотвращать его разбрызгивание в результате взаимодействия диоксида карбоната стронция и сульфатных ионов с выделением диоксида углерода. Через 30-60 минут после введения диоксида углерода необходимо повторно провести химический анализ раствора йода на количество сульфатных ионов. При обнаружении сульфатных ионов проводят переосаждение до тех пор, пока анализ не подтвердит их полное отсутствие. В отдельную 10-литровую футерованную емкость помещают стронций в серную кислоту из расчета 6 г/л, в нее добавляют небольшое количество исходного раствора диоксида хрома, растворяя до однородной массы. Электролит необходимо готовить самостоятельно.

Перед заливкой готового электролита в ванну необходимо тщательно промыть внутреннюю поверхность ванны, проверить состояние токопроводящих проводников, катушек, поврежденных батарей, футеровки и целостность самой ванны. Для растворения диоксида хрома в ванне в количестве 150 г/л целесообразно растворять диоксид хрома в дистиллированной воде. Допускается использование конденсата или питьевой воды с общей жесткостью не более 6 мг-экв/л. Раствор не нагревают. Поскольку растворимость диоксида хрома в воде достаточно высока и составляет 600 г/л. Для ускорения процесса раствор необходимо периодически перемешивать. После полного растворения диоксида хрома из раствора отбирают пробу для химического анализа с целью определения количества свободных сульфатных ионов в растворе диоксида хрома. По результатам анализа необходимо нейтрализовать обнаруженные в растворе диоксида хрома сульфатные ионы.

Полученный таким образом электролит нагревают до температуры 50-55°C и выдерживают при этой температуре в течение 16-20 часов. Время от времени необходимо перемешивать осадок для насыщения раствора связанными сульфатными ионами, образовавшимися в результате растворения хромовой кислоты и диссоциации стронция серной кислотой. Электролит с температурой 45-55°C и плотностью тока 400-600 а/м<sup>2</sup> выдерживают в течение 3-6 часов со скоростью 6-8, при этом соотношение поверхностей катода и анода должно составлять 2:1; 3:1.

Целью исследования является накопление определенного количества ионов трехвалентного хрома в электролите для обеспечения получения высококачественных хромовых отложений на катоде. Берется и анализируется проба для определения количества трехвалентного хрома в электролите. Анализ пробы проводится для определения количества трехвалентного хрома в электролите, концентрация которого должна находиться в диапазоне 2-4 г/л. Рекомендуются проводить испытание образцов на хромирование, контролируя качество покрытия в соответствии с ГОСТ 9.301-86, ГОСТ 9.302-87. Необходимо проводить химический анализ электролита и добавлять химические реактивы один раз в 3 месяца.

Детали со следующими дефектами хромового покрытия: расслоение, сколы, трещины и растрескивание, отбраковываются и подвергаются повторному хромированию. Перед повторным хромированием необходимо удалить остатки хрома с поверхности детали. Хром может быть удален механическим, химическим или электрохимическим методами. Механический метод удаления хрома очень сложен в применении, так как требует больших трудозатрат. Химический метод заключается в погружении деталей в ванну с концентрированной или дважды разбавленной соляной кислотой. При удалении хрома соляной кислотой необходимо тщательно контролировать завершение процесса, поскольку оставшиеся в кислоте детали после прекращения выделения водорода приведут к плавлению и гидрированию поверхности основного металла.

**Анализ и результаты.** В результате проведенных исследований было установлено, что эффективность процесса хромирования в значительной степени зависит от состава электролита, количества сульфатных ионов, концентрации трехвалентного хрома и соотношения поверхностей катода и анода.

При приготовлении и оценке стабильности электролита рабочий раствор готовили в хромирующей ванне объемом 1480 литров, при этом наблюдалось полное растворение диоксида хрома. В качестве фактора, нарушающего технологическое равновесие в исходном растворе, были отмечены сульфатные ионы. Эффективным оказалось использование карбоната стронция для их нейтрализации. В процессе, благодаря выделению диоксида углерода, улучшилось перемешивание раствора и наблюдалось постепенное снижение концентрации сульфатных ионов. В результате повторных анализов было подтверждено полное отсутствие сульфатных

ионов в растворе. Это обеспечило стабильность электролита при последующем использовании.

Нагревание и выдержка электролита. При выдержке электролита при температуре 50–55 °С в течение 16–20 часов в растворе образовывались трехвалентные ионы хрома в результате растворения хромовой кислоты и диссоциации сульфата стронция. В результате периодического перемешивания раствора наблюдалось равномерное распределение осадка и стабилизация электролита.

Количество трехвалентных ионов хрома, по результатам анализа взятых образцов, было установлено, что концентрация трехвалентных ионов хрома в электролите находится в диапазоне 2–4 г/л. Эти значения оказались в оптимальном диапазоне и достаточными для образования высококачественных хромовых отложений на катоде. Было замечено, что чрезмерное увеличение содержания трехвалентного хрома может негативно повлиять на качество покрытия, поэтому состояние раствора поддерживалось под постоянным контролем в соответствии с ГОСТ 9.301–86 и ГОСТ 9.302–87.

При оценке качества хромового покрытия в условиях оптимальных параметров (температура 45–55 °С, плотность тока 400–600 А/м<sup>2</sup>, катод и анод (соотношение 2:1 или 3:1)) на поверхности деталей были получены равномерные, блестящие и высокотвердые хромовые покрытия. Отслоения, сколов, трещин и отслоений покрытий не наблюдалось. Однако в некоторых случаях, когда технологические требования не были соблюдены, появлялись указанные дефекты, и такие детали считались непригодными и отправлялись на повторное хромирование. Процесс повторного извлечения хрома оказался неэффективным на практике из-за высокой трудоемкости механического метода. Было подтверждено, что хромовое покрытие может быть эффективно удалено химическим методом с использованием соляной кислоты. В этом случае очень важно контролировать завершение процесса, поскольку чрезмерное удержание может привести к коррозии основного металла.

**Выводы и рекомендации.** Присутствие сульфатных ионов в растворе для хромирования резко ухудшает качество покрытия. Поэтому рекомендуется проводить процесс нейтрализации с использованием карбоната стронция под строгим контролем. При приготовлении электролита целесообразно использовать дистиллированную воду или конденсат/питьевую воду с жесткостью не более 6 мг-экв/л.

Для улучшения качества покрытия можно повысить качество поверхности, поддерживая концентрацию ионов трехвалентного хрома в диапазоне 2–4 г/л. В случаях обнаружения дефектов (отслаивание, сколы, растрескивание) рекомендуется химическое удаление покрытия с деталей перед повторным хромированием.

Необходимо ограничить механический метод и широко использовать эффективные химические методы, а также ввести строгий контроль для предотвращения коррозии основного металла на заключительном этапе

процесса. Рекомендуется проводить регулярные технические проверки рабочих ванн, токопроводящих элементов и футеровки.

Усовершенствованная технология катодного хромирования, разработанная в результате проведенных исследований, позволила получить высококачественные, блестящие, твердые и коррозионностойкие покрытия.

Стабильность процесса обеспечивалась нейтрализацией сульфатных ионов и нормализацией концентрации трехвалентного хрома в электролите.

В оптимальных технологических режимах ( $T = 45\text{--}55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $J = 400\text{--}600\text{ A/m}^2$ , соотношение катод-анод 2:1 или 3:1) на поверхности хромовых покрытий не наблюдалось дефектов, таких как расслоение и растрескивание.

Предложенный метод является эффективным и экономически целесообразным для использования на производственных предприятиях, позволяя снизить энергопотребление и стабилизировать качество покрытия.

#### **Литературы:**

1. Yang Z., Zhang N., Li H., Chen B., Yang B. / Comparison to Micro Wear Mechanism of PVD Chromium Coatings and Electroplated Hard Chromium / College of Materials Science and Engineering / MDPI Materials, 2023.

2. Xu L., Pi L., Dou Y., Cui Y., Mao X., Lin A., Fernández C., Peng, C. / Electroplating of Thick Hard Chromium Coating from a Trivalent Chromium Bath Containing a Ternary Complexing Agent / ACS Publications, 2020.

3. Guillon R., Dalverny O., Fori B., Gazeau C., Alexis J. / Mechanical Behaviour of Hard Chromium Deposited from a Trivalent Chromium Bath / MDPI Coatings, 2022.

4. Ksiazek M., Lyp-Wronska K. / An HVOF-Sprayed ( $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr+Co}$ ) Composite Coating on Ductile Cast Iron: Microstructure, Mechanical Properties, and Scratch Resistance / PubMed Materials, 2024.

5. O'G'Li, M. S. A. (2025). ANTIFRIKSION SIRPANISH PODSHIPNIKLARINI G 'OVAK KARKAZLARGA SHIMDIRISH USULIDA TAYYORLASH ORQALI YEYILISHBARDOSHLIKNI OSHIRISH. *Строительство и образование*, 4(1), 252-254.

6. Mukhtorov, S. A. (2026). Metal sirtiga qoplama qoplashda anodli ishlov berishning optimal texnologiyasi ishlab chiqish. *Строительство и образование*, 5(2), 276-280.

7. Мухторов, С. А. У. (2024). РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРОВ. *Universum: технические науки*, 2(3 (120)), 27-32.

8. Karshiev, M., Sattarov, AA, Rahimov, MY, Muxtorov, SA, & Abdisattorov, DN (2022). Gaz-chang havo oqimidan tebranish yordamida g'ovakli ignabargni takroriy cho'ktirish paytida PPM ning gidravlik va mexanik xususiyatlaridagi o'zgarishlarni hisoblash. *Optoelektronika lazer jurnali*, 41 (6), 813-823.

9. Охунjonov, F. F., Sh, R. S., & Umarov, S. A. (2025). Metall kesish jarayonida tribologik juftlikning ishqalanish koeffitsientini modellashtirish va eksperimental natijalar bilan solishtirish. Строительство и образование, 4(5), 285-294.