

УДК 631.256

05.00.00 Технические науки

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНОШЕННЫХ
ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
ТЕХНИКИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ
ПОКРЫТИЯМИ**Стекольников Наталья Юрьевна¹
аспирантСтекольников Юрий Александрович¹
к. х. н., профессорАстанин Владимир Константинович²
д. т. н., профессорЕмцев Виталий Валерьевич²
аспирантСанников Эдуард Михайлович²
аспирант
¹*Елецкий государственный университет имени
И.А. Бунина, Елец, Россия*
²*Воронежский государственный аграрный
университет имени императора Петра I,
Воронеж, Россия*

Проведены опытные и аналитические исследования, показывающие взаимосвязи постоянных и импульсных форм тока осаждения на физико-химические свойства покрытий хромом: прочность сцепления с основой, остаточные напряжения, циклическую долговечность, относительное удлинение и сужение, пределы текучести и выносливости. Показаны разработанные способы и режимы использования разбавленного электролита хромирования с органическими добавками, позволяющие наносить хромовые покрытия на детали сельскохозяйственных машин, превосходящие по свойствам покрытия, получаемые из электролитов, рекомендуемых стандартами ГОСТ. Предложена упрочняющая химико-термическая технология нанесения покрытий хромом при изготовлении и восстановительном ремонте изношенных деталей сельскохозяйственной техники (штоков гидроцилиндров, шеек коленчатых валов, золотников, деталей КПП и трансмиссий и т.д.), определен расход добавок модификаторов, предложены методики их определения, подтвержденные патентом на изобретения. Предложена технология получения на изношенных поверхностях деталей сельскохозяйственных машин слоисто-блочных структур из хромовых покрытий, обладающих улучшенными свойствами. Установлено влияние модифицирующих органических добавок на

UDC 631.256

Technical Sciences

**RESTORATION OF WORN DETAILS OF
AGRICULTURAL MACHINERY WITH
GALVANIC COATINGS**Stekolnikova Natalya Yurievna¹
graduate studentStekolnikov Yury Aleksandrovich¹
Cand. Chem. Sci., professorAstaniin Vladimir Konstantinovich²
Dr. Sci. Tech., professorEmtsev Vitaly Valerievich²
graduate studentSannikov Eduard Mikhailovich²
graduate student
¹*Yelets state university of I.A. Bunin, Yelets, Russia*
²*Voronezh State Agrarian University named after
Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia*

We have conducted experimental and analytical studies showing the relationship of constant and pulse forms of current sedimentation on the physico-chemical properties of chrome coatings: adhesion strength to the substrate, residual stress, fatigue life, elongation and contraction, yield stress, and endurance. We have shown the methods and modes of use of dilute electrolyte of chromium plating with organic additives, is capable of applying a chrome coating on parts of agricultural machines, surpassing the properties of the coatings obtained from electrolytes that are recommended by the GOST standards. The proposed hardening chemical-thermal coating technology for chromium in the manufacture and repairing of worn parts of agricultural machinery (rods of hydraulic cylinders, journals of crankshafts, spools, parts, gearboxes and transmissions, etc.), identifies the consumption of additives modifiers, proposed methods for their determination, confirmed by patents for inventions. The proposed technology of worn-out surfaces of parts of agricultural machinery of layer-block structure of the chromium coatings with improved properties. The influence of modifying organic additives on the structure of the intermediate surface film of colloidal trivalent chromium compounds, which in combination with the parameters of the bipolar pulse current allows you to specifically adjust the physical and mechanical properties of crystals of the deposited chromium layer with a grid of cracks, and without them for the required operating conditions of dry friction or oil

структуру промежуточной поверхностной коллоидной пленки из трехвалентных соединений хрома, что в сочетании с параметрами биполярного импульсного тока позволяет целенаправленно регулировать физико-механические свойства кристаллов осаждаемого хромового покрытия как с сеткой трещин, так и без них для требуемых условий эксплуатации сухого трения или масляных сред, что повышает долговечность деталей в процессе использования. Увеличение выхода продукции по току на 6-8 %, до 4 раз снижает степень наводороживания восстанавливаемых деталей, до 3 раз уменьшает их внутреннее трение, шероховатость, улучшает пределы прочности, выносливости, относительное удлинение и сужение, повышает коррозионную стойкость до 3 раз, получаемых хромовых покрытий

Ключевые слова: ВЫХОД ПО ТОКУ, ИЗНОС, НАВОДОРОЖИВАНИЕ, ПОКРЫТИЯ ХРОМОМ, МАЛОКОНЦЕНТРИРОВАННЫЙ СУЛЬФАТНЫЙ ЭЛЕКТРОЛИТ С ОРГАНИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ

environments, which increases the durability of the parts during use. The increase in yield, at the current 6-8 %, to 4 times reduces the degree of hydrogenation of the restored details, up to 3 times reduces internal friction, roughness, improves the limits of strength, toughness, elongation and contraction, increases corrosion resistance up to 3 times, obtained chromium coatings

Keywords: CURRENT EFFICIENCY, WEAR, HYDROGEN ABSORPTION, COATING WITH CHROMIUM, A LOW-CONCENTRATION SULFATE ELECTROLYTE WITH ORGANIC ADDITIVES

Doi: 10.21515/1990-4665-133-016

Введение

Инновационное развитие сельского хозяйства должно быть направлено на повышение технического эксплуатационного уровня сельскохозяйственной техники, совершенствование развития путей её модернизации и восстановления за счет использования возможностей технического сервиса. Восстановление изношенных деталей и возврат их в сельскохозяйственное производство в виде модернизируемой техники, помимо прочего, позволяет получить экономический эффект, так как в современном производстве используется дорогостоящая, а также много устаревшей техники. Так, стоимость ремонта при использовании новых запасных частей достигает более 70% от общей суммы затрат на ремонт. Восстановление изношенных деталей и повторное их использование значительно снизит эти затраты. Повышение долговечности отремонтированной техники можно добиться за счет применения прогрессивных экологических гальванических технологий восстановления геометрии изношенных деталей.

Методика исследований

Цель работы состояла в разработке технологии ремонта с одновременным упрочнением подвергшихся износу деталей сельскохозяйственных машин хромированием из малоцентрированных электролитов при сопоставлении с хромированием из стандартных электролитов.

Результаты и их обсуждение

В работе представлены данные по стандартному электролиту хромирования (250 г/л CrO_3 + 2,5 г/л H_2SO_4) и малоцентрированному (150 г/л CrO_3 + 1,5 г/л H_2SO_4 + 1,5 г/л индиго или кристаллического фиолетового).

Отличительной чертой нанесения хрома является возникновение коллоидно-дисперсной поверхностной пленки при катодном восстановлении хроматных анионов, которые далее определяют особенности процесса на поляризационной кривой (рисунок 1).

Различный ход поляризационной кривой при наличии модификаторов кристаллического фиолетового (КФ) и индиго показаны на рисунках 2 и 3.

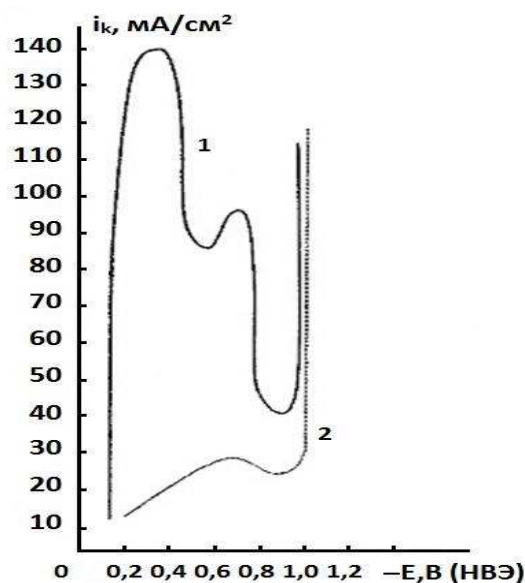


Рисунок 1 - Катодные поляризационные кривые в растворе 150 г/л CrO_3 + 1,5 г/л H_2SO_4 , при $t = 55^\circ\text{C}$; $v = 50$ мВ/сек.: 1 – прямая; 2 – обратная

Из рисунков 2, 3 следует, что в присутствии модификаторов повышаются скорости катодных процессов в области начальной стадии восстановления ионов Cr(VI) до Cr(III) (на первой восходящей ветви поляризационной кривой), т.е. в области образования дисперсионноколлоидных пленок и усиления выделения водородных ионов и, далее, в области второй поднимающейся ветви, к этим двум реакциям добавляется процесс осаждения ионов хрома в виде металла. Значительным влиянием модификаторов можно объяснить спад в области спада потенциалов от -0,7 -0,9 В (рисунок 2, кр.2,3,4), что обусловлено изменениями в характере протекающей катодной реакции как при неполном восстановлении хромат-ионов, так и восстановлении хрома до металла, примерно с $E = -1,0$ В [1, 2].

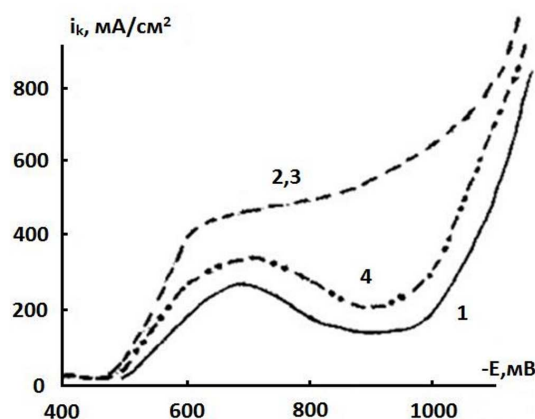


Рисунок 2 - Потенциодинамические кривые при скорости развертки 50 мВ/с и 20°C со скоростью вращения 2000 об/мин в электролитах: 1. 250 г/л CrO₃ + 2,5 г/л H₂SO₄; 2. 150 г/л CrO₃ + 1,5 г/л H₂SO₄ + 1 г/л КФ; 3. 150 г/л CrO₃ + 1,5 г/л H₂SO₄ + 1 г/л индиго; 4. 150 г/л CrO₃ + 1,5 г/л H₂SO₄

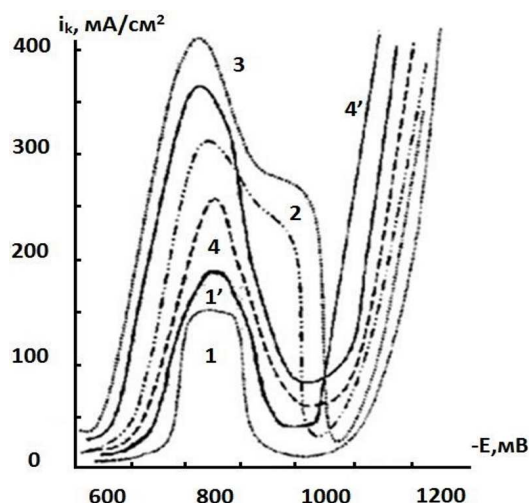


Рисунок 3 - Потенциодинамические катодные кривые на хроме снятые при 50°C и скоростях вращения 0 и 2000 об/мин в растворах: 1. 250 г/л CrO₃ + 2,5 г/л H₂SO₄; 2. 150 г/л CrO₃ + 1,5 г/л H₂SO₄ + 1 г/л КФ; 3. 150 г/л CrO₃ + 1,5 г/л H₂SO₄ + 1 г/л индиго; 4. 150 г/л CrO₃ + 1,5 г/л H₂SO₄, 1' и 4' со скоростью вращения 2000 об/мин

Как следует из таблицы 1, при наличии модификаторов уменьшает выделение водорода и увеличивается доля тока, идущая на выделение хрома, что подтверждается также данными рисунка 4.

Содержание водорода определялось волнометрическим методом путем вакуумной экстракции. Экологически более приемлемы разбавленные электролиты, в которых исследована зависимость параметров хромирования от плотности тока, температуры, концентрации электролита.

Таблица 1 - Влияние модификаторов КФ и индиго на парциальные реакции при осаждении хрома, (%)

| Состав -E, мВ | (I) | | (II) | | (III) | | (IV) | |
|------------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| | H ₂ | Cr(3) | H ₂ | Cr(3) | H ₂ | Cr(3) | H ₂ | Cr(3) |
| 400 | 10 | 89 | 8,5 | 90,5 | 7,3 | 91,7 | 6,5 | 92,2 |
| 420 | 8 | 90 | 7,0 | 90,2 | 6,8 | 90,4 | 6,1 | 91,1 |
| 450 | 7,2 | 91,2 | 6,0 | 90,4 | 5,8 | 92,6 | 5,2 | 93,3 |
| 500 | 6,5 | 92,1 | 4,2 | 96,3 | 4,0 | 96,5 | 3,6 | 96,9 |
| 1000 | 69 | 29 | 63 | 32 | 61,7 | 33,3 | 61,0 | 34,0 |
| 1200 | 65 | 32 | 55 | 42 | 52 | 45 | 46 | 51 |

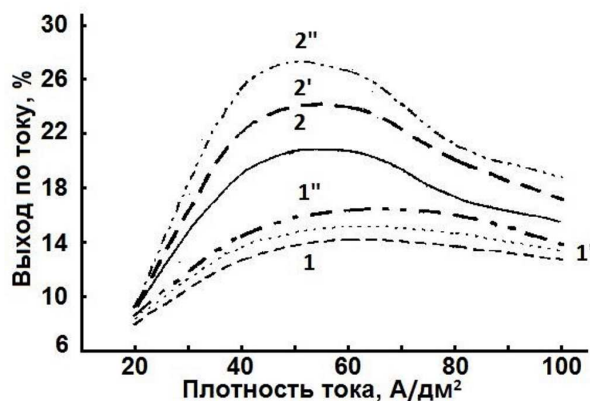


Рисунок 4 - Изменение выхода по току на стали 40Х от плотности тока при хромировании (55°С) в растворах: 1 - 250 г/л CrO₃ + 2,5 г/л H₂SO₄; 1' - 250 г/л CrO₃ + 2,5 г/л H₂SO₄ + 1 г/л КФ; 1'' - 250 г/л CrO₃ + 2,5 г/л H₂SO₄ + 1 г/л индиго; 2 - 150 г/л CrO₃ + 1,5 г/л H₂SO₄; 2' - 150 г/л CrO₃ + 1,5 г/л H₂SO₄ + 1 г/л КФ; 2'' - 150 г/л CrO₃ + 1,5 г/л H₂SO₄ + 1 г/л индиго

Введение индиго и КФ как в универсальный (кр. 1,1',1''), так и разбавленный раствор повышает выход хрома (кр. 2, 2', 2''). При этом выход хрома максимален в разбавленных растворах при токах 55-60 А/дм² и выше у индиго в сравнении с КФ на 5%.

При исследовании действия модификаторов на износ покрытий при постоянной плотности тока установлено, что он зависит от температуры электролита и минимален при 50°С в универсальных электролитах с добавками, при 63°С в разбавленном. Отметим, что износ меньше в разбавленных электролитах, что связано с большей кроющей и рассеивающей способностью электролита (меньшей шероховатостью), что подтверждено специальными исследованиями микрогеометрии поверхности осадков хрома (рисунок 5) [10].

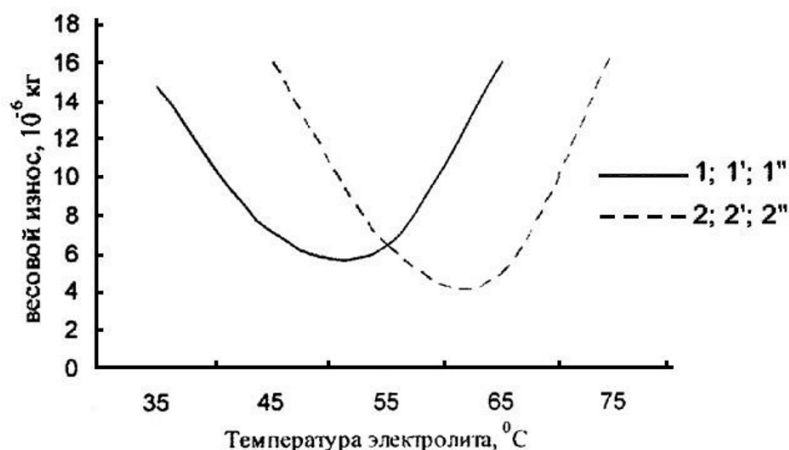


Рисунок 5 - Изменение весового износа осадков хрома в зависимости от температуры электролита (80 А/дм^2) в растворах: 1 - $250 \text{ г/л CrO}_3 + 2,5 \text{ г/л H}_2\text{SO}_4$; 1' - $250 \text{ г/л CrO}_3 + 2,5 \text{ г/л H}_2\text{SO}_4 + 1 \text{ г/л КФ}$; 1'' - $250 \text{ г/л CrO}_3 + 2,5 \text{ г/л H}_2\text{SO}_4 + 1 \text{ г/л индиго}$; 2 - $150 \text{ г/л CrO}_3 + 1,5 \text{ г/л H}_2\text{SO}_4$; 2' - $150 \text{ г/л CrO}_3 + 1,5 \text{ г/л H}_2\text{SO}_4 + 1 \text{ г/л КФ}$; 2'' - $150 \text{ г/л CrO}_3 + 1,5 \text{ г/л H}_2\text{SO}_4 + 1 \text{ г/л индиго}$

Технологическим фактором, влияющим на свойства хромовых покрытий, является использование реверсивного катодного тока при хромировании. Выход хрома по току с увеличением плотности реверсивного тока возрастает и затем, проходя через максимум, снижается (рисунок 6). Длительность катодной поляризации – 200 сек, анодной – 4 сек; Дк/Да = 1.

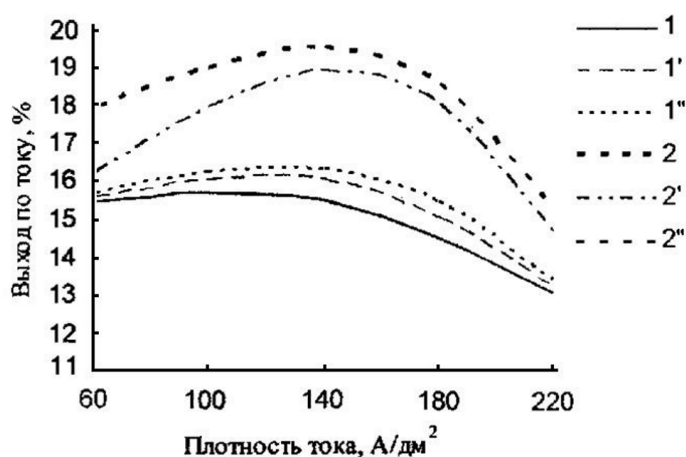


Рисунок 6 - Изменение выхода по току в зависимости от плотности реверсивного тока при 55°C в тех же электролитах

С повышением температуры при осаждении на реверсивном токе выход по току хрома незначительно уменьшается, резко падая при $57-60^{\circ}\text{C}$ в универсальном электролите, введение добавок раздвигает эту границу до

65°C и увеличивает сам выход по току (рисунок 7, кр. 1,1', 1"). В разбавленных электролитах эта характеристика еще выше, а граница резкого падения тока сдвигается к 70°C (рисунок 7, кр.2, 2', 2").

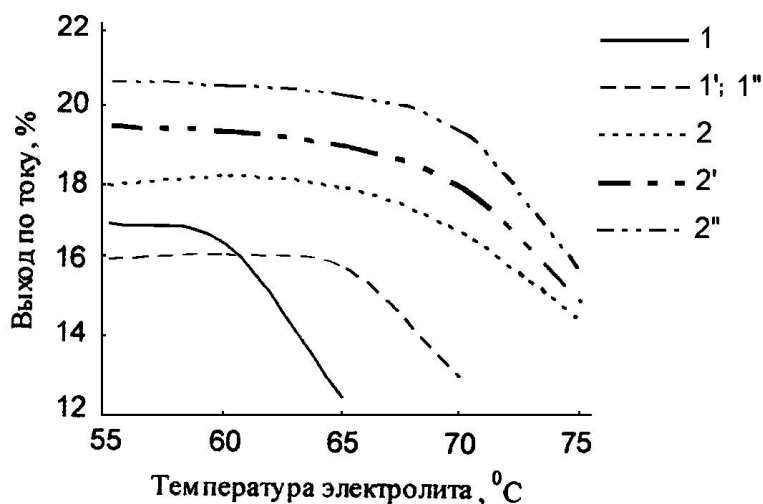


Рисунок 7 - Влияние температуры при плотности реверсивного тока 100 А/дм² в тех же растворах на изменение выхода по току

Видно, что микротвердость сильно зависит от режима осаждения и указанные добавки позволяют получать осадки высокой микротвердости как в универсальном, так и разбавленном электролите при реверсивном осаждении (рисунок 8).

Суммарный эффект влияния добавок и катодной пленки основных соединений хрома (III) достигается через перераспределение тока между выступами. Такое представление о сглаживающем эффекте добавок подтверждается изучением микроструктуры осадков. На всех режимах осаждения электролитический хром имеет слоистое строение с четко выраженной границей раздела слоев. Более сильное выравнивание микропрофиля поверхности при хромировании в импульсном режиме электролиза, а также реверса тока, может быть обусловлено влиянием прерывания тока на кислотность приэлектродного слоя, состав ионов и толщину катодной пленки основных соединений хрома. Таким образом, в малоцентрированные электролиты хромирования для выравнивания поверхности хрома рекомендуется использовать индиго или КФ.

Предпочтителен импульсный режим электролиза.

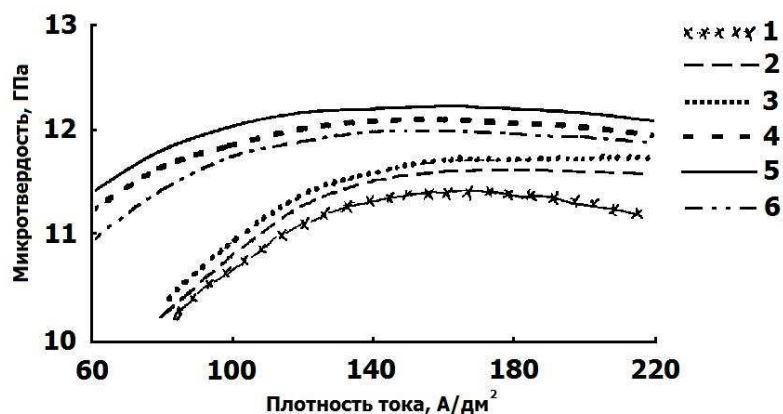


Рисунок 8 - Изменение микротвердости в зависимости от плотности реверсивного тока при 55°С для электролитов: 1 - 250 г/л CrO₃ + 2,5 г/л H₂SO₄; 2 - 250 г/л CrO₃ + 2,5 г/л H₂SO₄ + 1 г/л КФ; 3 - 250 г/л CrO₃ + 2,5 г/л H₂SO₄ + 1 г/л индиго; 4 - 150 г/л CrO₃ + 1,5 г/л H₂SO₄ + 1 г/л КФ; 5 - 150 г/л CrO₃ + 1,5 г/л H₂SO₄ + 1 г/л индиго; 6 - 150 г/л CrO₃ + 1,5 г/л H₂SO₄

Проведено математическое моделирование процесса хромирования:

$$M = 755 + 115 x_1 - 105 x_2 + 95 x_1 \cdot x_2, \text{ кгс/мм}^2$$

$$R = 0,385 - 0,010 x_1 - 0,035 x_2 - 0,020 x_1 \cdot x_2, \text{ мкм}$$

$$\eta = 13,55 + 0,90 x_1 - 0,70 x_2 - 0,15 x_1 \cdot x_2, \%$$

$$V = 44,95 + 8,80 x_1 - 3,60 x_2 - 0,45 x_1 \cdot x_2, \text{ мкм/час}$$

Наибольшие скорости нанесения хрома соответствуют плотностям тока 80 А/дм² и температурам 60 °С, которые превышают в 1,6 раза скорости нанесения хромовых покрытий в универсальных растворах при 50 А/дм² и 55 °С.

Изменение микротвердости покрытия в зависимости от вида предлагаемой добавки показано в таблице 2.

Совершенствование технологии хромирования в разбавленных электролитах, в том числе и на нестационарных режимах электролиза, позволяет повысить кроющие и рассеивающие возможности электролитов и комплекс других функциональных физико-механических свойств покрытий хромом [1,2,3,5].

Таблица 2 - Изменения микротвердости покрытий в зависимости от

плотности тока и вида добавки при толщине 60 мкм

| Состав электролита | H ₂₀₀ (кг/мм ²) | | |
|---|--|----------------------|-----------------------|
| | 30 А/дм ² | 70 А/дм ² | 100 А/дм ² |
| 2,5 г/л H ₂ SO ₄ + 250 г/л CrO ₃ | 504 | 760 | 954 |
| 1,5 г/л H ₂ SO ₄ +150г/л CrO ₃ + 1 г/л КФ | 615 | 919 | 1005 |
| 1,5 г/л H ₂ SO ₄ +150г/л CrO ₃ +1 г/л индиго | 719 | 1033 | 1039 |

Структурно-чувствительным методом исследованы дефекты кристаллизации, их взаимопревращения и взаимовлияния, учитывая накопление по границам зерен водорода в молекулярной форме или хрома в виде гидридов. Пики на температурных зависимостях внутренних трений обусловлены наличием водорода в хромовых покрытиях, сегрегированного на дислокациях [4,6,7,8,9,11].

Дана оценка многократному хромированию в разбавленных электролитах и термической обработке на изменение механических свойств металлов (ст.40Х, 65Х, Х18Н10Т, 30ХГСА, медь), а, именно, пределов текучести, выносливости, прочности сцепления хромовых покрытий с основой деталей, циклической долговечности.

Хромирование проводили в малоцентрированных растворах при 55°С и плотности тока 50 А/дм² с предшествующими и последующими термообработками (таблице 3). Удаление хромовых покрытий с деталей проводилось анодно в щелочных растворах.

Таблица 3. Термообработка до (числитель) и после нанесения хрома (знаменатель)

| Марка металлов | Температура (°С) и время проведения (час) |
|----------------|---|
| 40Х | 400 (2,5 ч)/400 (3,5 ч) |
| 65Г | 420 (2,5 ч)/420 (2,5 ч) |
| 30ХГСА | 250 (3 ч)/250 (3 ч) |
| Х18Н10Т | 250 (3 ч)/250 (3,5 ч) |
| Медь | 550 (1,5-2 ч)/550 (2 ч) |

При многократном хромировании не изменяются физико-механические свойства металлов, не снижается прочность сцепления хромовых покрытий с поверхностью деталей, по сравнению с однократно нанесенными (не влияет состав стали), что объясняется удалением

поверхностных слоев при алмазных и пескоструйных обработках, действием термообработок после нанесения хромового покрытия.

Выводы

Из анализа собственных и литературных данных можно предложить пути совершенствования процессов нанесения хрома на восстанавливаемые детали.

Эффективно улучшить параметры и физико-механические свойства покрытий без принципиальных изменений составов электролитов можно применяя нестационарный электролиз в малоцентрированных электролитах, в отличии от стандартного (250 г/л CrO_3), в особенности, при хромировании на импульсном токе, так как такой ток промышленной частотой (~ 50Гц) стабилизирует кислотность приэлектродного слоя, ионные составы, увеличивает диффузионную подвижность CrO_4^{2-} - ионов при восстановлении до металлов, интенсифицирует процессы из за увеличения допустимых катодных плотностей токов. Реверсирование катодного тока позволяет получать менее шероховатые покрытия.

Другим путем является использование в растворах устойчивых к окислению модификаторов поверхностных коллоидных пленок с подвижной π -электронной связью, а также многовалентных катионов, эффективно блокирующих сопутствующий процесс восстановления водорода, что повышает качество покрытий.

В условиях ОАО «Воронежсельмаш» восстанавливались плунжеры и плунжерные пары топливных насосов высокого давления, золотники, гидрораспределители, штоки гидроцилиндров, шейки коленчатых валов сельскохозяйственной техники, клапаны двигателей внутреннего сгорания, шатуны, толкатели, оси коромысел распределительных валов, зеркала гильз цилиндров и другие детали, которые показали достаточную надежность и технологичность, а износостойкость восстановленных аналогична новым и в некоторых случаях (шатуны, шкворни) даже в 3 и

более раза выше.

Разработаны способы и режимы использования разбавленного электролита хромирования с органическими добавками, позволяющие наносить хромовые покрытия на детали сельскохозяйственных машин, превосходящие по свойствам покрытия, получаемые из электролитов, рекомендуемых ГОСТом. Они позволяют увеличить выход продукции по току на 6-8 %, до 4 раз снизить степень наводороживания восстанавливаемых деталей, до 3 раз уменьшить их внутреннее трение, шероховатость, улучшить физико-механические свойства - прочность, выносливость, относительное удлинение и сужение, повысить коррозионную стойкость до 3-5 раз, получаемых хромовых покрытий на восстанавливаемых в размер изношенных деталях.

Литература

1. Богданович Е. Н. Технология восстановления системы сопряжения вал подшипник / Е. Н. Богданович, А. В. Звягинцева, Ю. Н. Шалимов // Технология машиностроения. – 2010. – №4. - С. 32-38.
2. Гордиенко В. О. Электроосаждение хромовых покрытий из сульфатно-карбамидных электролитов на основе Cr (III) / В. О. Гордиенко // Физ.-хим. мех. матер. - 2010. - №5. - С. 71-75.
3. Гранкин Э. А. Исследование температурной зависимости внутреннего трения в электролитических осадках хрома / Э. А. Гранкин, А. И. Фаличева, В. К. Алтухов // Электрохимия. – 1971. - № 8. - С. 1131-1133.
4. Исследование поглощения водорода электрохимическими металлами и сплавами / Ю. Н. Шалимов, Е. Н. Островская, Ю. В. Литвинов, Харченко Е. Л. // Альтернативная энергетика и экология. – 2006. - №5. - С. 98-99.
5. Постников В. С. К вопросу о зернограничной релаксации напряжений в чистых металлах / В. С. Постников, И. М. Шаршаков, Э. М. Масленников // Релаксационные явления в металлах и сплавах: труды IV Всесоюзной конф. – Москва: Металлургиздат, 1963. - С. 165-170.
6. Сафонов В. В. Нанокпозиционное гальваническое хромирование. / В. В. Сафонов, С. А. Шишурин, В. С. Семочкин // Гальванический механик. - 2010. - №1. - С. 40-42.
7. Токарева И. А. Особенности технологических процессов хромирования из электролитов на основе низковалентных соединений хрома / И. А. Токарева, Ю. Н. Шалимов // Технология машиностроения. – 2014. - №1. - С. 35-41.
8. Фаличева А. И. Экологические проблемы гальванического производства и альтернативные покрытия / А. И. Фаличева, Н. И. Глянцев, Ю. А. Стекольников // Техника машиностроения. - 1999. - №6. - С. 45-51.

9. Фаличева А. И. Экологические проблемы хромирования и альтернативного покрытия / А. И. Фаличева, Ю. А. Стекольников, Н. И. Глянец // Вестник Тамбовского государственного университета. - 1999. - Вып. 2. - С. 256-257.

10. Цуканов О. В. Исследование хромирования в разбавленных электролитах для уменьшения экологической опасности : автореф. дис. ... канд. хим. наук : 02.00.04 / О. В. Цуканов. – Липецк, 2004. – 23 с.

11. Шалимов Ю. Н. Образование дефектов структуры при катодном восстановлении металлов. / Ю. Н. Шалимов, И. А. Токарева, Е. П. Евсеев // Технология машиностроения. – 2014. - №2. - С. 5-12.

References

1. Bogdanovich E. N. Tehnologija vosstanovlenija sistemy soprjazhenija val podshipnik / E. N. Bogdanovich, A. V. Zvjaginceva, Ju. N. Shalimov // Tehnologija mashinostroenija. – 2010. – №4. - S. 32-38.

2. Gordienko V. O. Jelektroosazhdenie hromovyh pokrytij iz sul'fatno-karbamidnyh jelektrolitov na osnove Cr (III) / V. O. Gordienko // Fiz.-him. meh. mater. - 2010. - №5. - S. 71-75.

3. Grankin Je. A. Issledovanie temperaturnoj zavisimosti vnutrennego trenija v jelektroliticheskikh osadkah hroma / Je. A. Grankin, A. I. Falicheva, V. K. Altuhov // Jelektrohimija. – 1971. - № 8. - S. 1131-1133.

4. Issledovanie pogloshhenija vodoroda jelektrohimicheskimi metallami i splavami / Ju. N. Shalimov, E. N. Ostrovskaja, Ju. V. Litvinov, Harchenko E. L. // Al'ternativnaja jenergetika i jekologija. – 2006. - №5. - S. 98-99.

5. Postnikov V. S. K voprosu o zernogranichnoj relaksacii naprjazhenij v chistyh metallah / V. S. Postnikov, I. M. Sharshakov, Je. M. Maslennikov // Relaksacionnye javlenija v metallah i splavah: trudy IV Vsesojuznoj konf. – Moskva: Metallurgizdat, 1963. - S. 165-170.

6. Safonov V. V. Nanokompozicionnoe gal'vanicheskoe hromirovanie. / V. V. Safonov, S. A. Shishurin, V. S. Semochkin // Gal'vanicheskij mehanik. - 2010. - №1. - S. 40-42.

7. Tokareva I. A. Osobennosti tehnologicheskikh processov hromirovanija iz jelektrolitov na osnove nizkovalentnyh soedinenij hroma / I. A. Tokareva, Ju. N. Shalimov // Tehnologija mashinostroenija. – 2014. - №1. - S. 35-41.

8. Falicheva A. I. Jekologicheskie problemy gal'vanicheskogo proizvodstva i al'ternativnye pokrytija / A. I. Falicheva, N. I. Gljancev, Ju. A. Stekol'nikov // Tehnika mashinostroenija. - 1999. - №6. - S. 45-51.

9. Falicheva A. I. Jekologicheskie problemy hromirovanija i al'ternativnogo pokrytija / A. I. Falicheva, Ju. A. Stekol'nikov, N. I. Gljancev // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo universiteta. - 1999. - Vyp. 2. - S. 256-257.

10. Cukanov O. V. Issledovanie hromirovanija v razbavlennyh jelektrolitah dlja umen'shenija jekologicheskoj oposnosti : avtoref. dis. ... kand. him. nauk : 02.00.04 / O. V. Cukanov. – Lipeck, 2004. – 23 s.

11. Shalimov Ju. N. Obrazovanie defektov struktury pri katodnom vosstanovlenii metallov. / Ju. N. Shalimov, I. A. Tokareva, E. P. Evseev // Tehnologija mashinostroenija. – 2014. - №2. - S. 5-12.