

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМ ХРОМИРОВАНИЕМ

Н. Ю. Стекольников¹, Ю. А. Стекольников¹,
Д. И. Максимов¹, В. К. Астанин²

*Кафедры: «Химия и биология» (1); chimic57@mail.ru;
«Технологический сервис и технология машиностроения» (2),
ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина»,
г. Елец, Россия*

Ключевые слова: выход по току; износ; малоцентрированный сульфатный электролит с органическими добавками; наводороживание; покрытия хромом.

Аннотация: Проведен анализ влияния постоянного и импульсного тока на физико-химические свойства покрытий хромом: прочность сцепления с основой, остаточные напряжения, циклическую долговечность, относительное удлинение и сужение, пределы текучести и выносливости.

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 стандартом. Данные способы и режимы позволяют увеличить выход продукции по току на 6–8 %, в 4 раза снизить степень наводороживания восстанавливаемых деталей, в 3 раза уменьшить их внутреннее трение, шероховатость, улучшить физико-механические свойства (предел прочности, выносливости, относительное удлинение и сужение), повысить коррозионную стойкость получаемых хромовых покрытий.

Инновационное развитие сельского хозяйства направлено на повышение технического эксплуатационного уровня сельскохозяйственной техники, совершенствование развития путей ее 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 импортная техника, для которой из-за санкций запрещены поставки ремонтных запасных деталей. Стоимость ремонта при использовании новых запасных частей достигает более 70 % от общей суммы затрат на ремонт. Восстановление изношенных деталей и повторное их использование значительно снижает такие затраты. Повышение срока эксплуатации отремонтированной техники можно добиться за счет применения прогрессивных гальванических технологий восстановления размеров изношенных деталей.

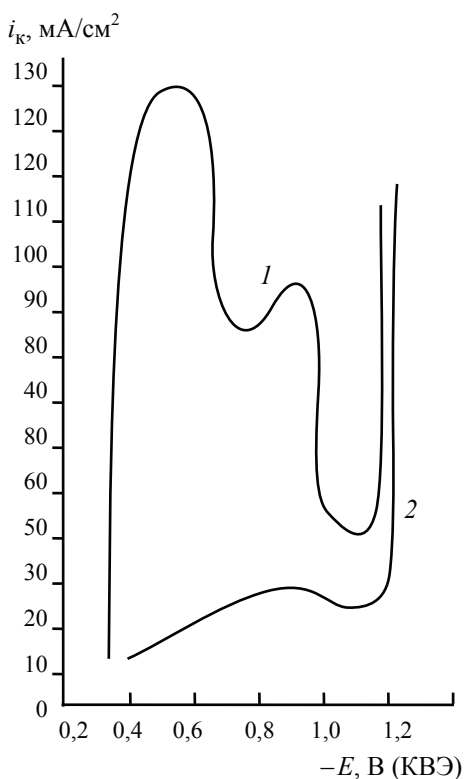


Рис. 1. Катодные поляризационные кривые в электролите 150 г/л CrO_3 + 1,5 г/л H_2SO_4 :
 1 – прямая; 2 – обратная;
 $t = 55^\circ\text{C}$; $v = 50$ мВ/с

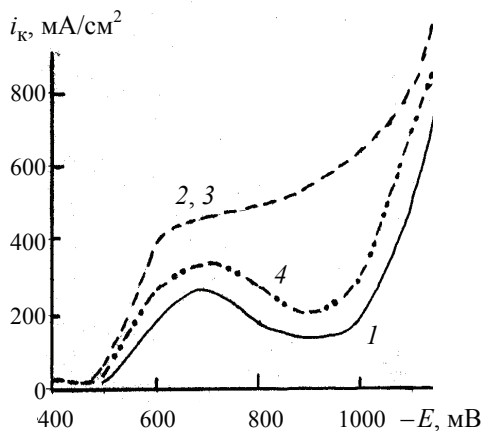


Рис. 2. Потенциодинамические катодные кривые (50 мВ/с) при 20°C и 2000 об/мин в электролитах:
 1 – 250 г/л CrO_3 + 2,5 г/л H_2SO_4 ;
 2 – 150 г/л CrO_3 + 1,5 г/л H_2SO_4 + 1 г/л КФ;
 3 – 150 г/л CrO_3 + 1,5 г/л H_2SO_4 + 1 г/л индиго;
 4 – 150 г/л CrO_3 + 1,5 г/л H_2SO_4

Цель исследования – разработка технологии восстановления и упрочнения изношенных деталей сельскохозяйственных машин хромированием из мало-концентрированных электролитов на фоне сравнения с хромированием из стандартных электролитов.

В статье представлены данные по стандартному (250 г/л CrO_3 + 2,5 г/л H_2SO_4) и малоконцентрированному (150 г/л CrO_3 + 1,5 г/л H_2SO_4 + 1,5 г/л кристаллического фиолетового (КФ) или индиго) электролитам хромирования.

Особенность процесса хромирования – образование коллоидно-дисперсной поверхностной пленки, возникающей при катодном восстановлении хроматных анионов и определяющей в дальнейшем ход поляризационных кривых (рис. 1, КВЭ – количество вещества эквивалента).

Различие в поведении поляризационных кривых с добавками красителей из ряда индиго и КФ показано на рис. 2.

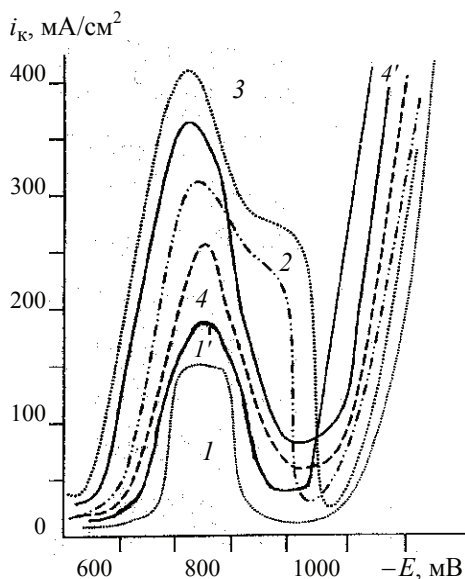


Рис. 3. Потенциодинамические катодные кривые на хроме, снятые при 50°C , 0 и 2000 об/мин в электролитах:
 1 – 250 г/л CrO_3 + 2,5 г/л H_2SO_4 ;
 2 – 150 г/л CrO_3 + 1,5 г/л H_2SO_4 + 1 г/л КФ;
 3 – 150 г/л CrO_3 + 1,5 г/л H_2SO_4 + 1 г/л индиго;
 4 – 150 г/л CrO_3 + 1,5 г/л H_2SO_4
 1' и 4' – скорость вращения 2000 об/мин

Влияние красителей индиго и КФ на парциальные реакции при электроосаждении, %

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

Введение красителей увеличивает скорость катодного процесса в области неполного восстановления ионов от Cr(VI) до Cr(III) (первая восходящая ветвь поляризационных кривых), когда начинается образование дисперсионно-коллоидной пленки, сопровождаемое выделением водорода, а в области второй восходящей ветви наряду с указанными двумя реакциями начинает добавляться осаждение металлического хрома. Наиболее сильно влияние красителей проявляется в области спада потенциалов от $-0,7$ до $-0,9$ В (см. рис. 2, кривые 2 – 4). Такое влияние потенциала можно объяснить изменением характера протекающих катодных реакций в области потенциалов неполного восстановления хромат-ионов и осаждения металлического хрома, начиная с $E = -1,0$ В [1, 2].

Из табл. 1 следует, что введение красителей уменьшает выход по току сопутствующей паразитной реакции выделения водорода, за счет которой увеличивается выход по току хрома (рис. 4).

Содержание водорода определяли волюмометрическими методами вакуумной экстракции. При разработке экологически приемлемых разбавленных электролитов исследована зависимость параметров хромирования от плотности тока, температуры, концентрации электролита. Выход хрома по току возрастает при введении КФ и индиго как в универсальном (см. рис. 4, кривые 1, 1', 1''), так и разбавленном электролите (кривые 2, 2', 2''). При этом влияние добавок на выход хрома значительнее в разбавленном электролите при токе 55...60 А/дм² и выше у красителя индиго, чем КФ (в среднем на 2 – 5 %).

При исследовании влияния органических добавок на износ покрытий при постоянной плотности тока установлена сложная зависимость от температуры электролита с минимумом при 50 °С в универсальных электролитах с добавками, а при 63 °С – в разбавленных. Отметим, что износ меньше в разбавленных электролитах, что связано с большей кроющей и рассеивающей способностью электролита (меньшей шероховатостью) и подтверждено спе-

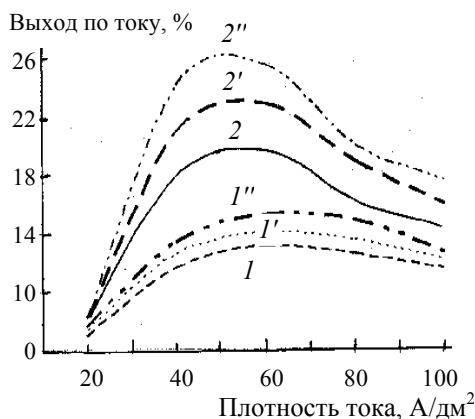


Рис. 4. Изменение выхода по току на стали 40Х от плотности тока при хромировании (55 °С) в электролитах:

- 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

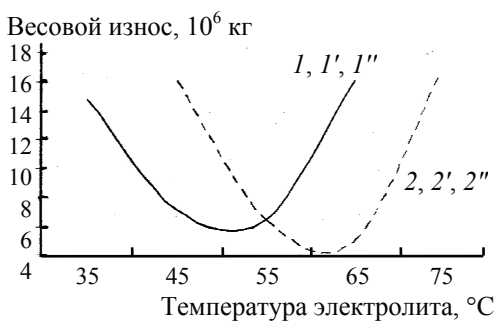


Рис. 5. Изменение весового износа осадков хрома в зависимости от температуры электролита (80 А/дм²):

- 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

циальными исследованиями микрорельефа поверхности осадков хрома (рис. 5).

Технологическим фактором, влияющим на физико-механические свойства покрытий, является использование реверсивного катодного тока при хромировании. С увеличением плотности реверсивного тока выход хрома возрастает и затем, проходя через максимум, снижается (рис. 6, а). При длительности катодной поляризации 200 с, анодной 4 с использовались одинаковые плотности токов с реверсом поляризации, так что $D_k/D_a = 1$.

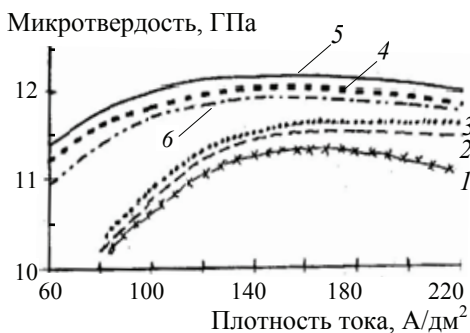


Рис. 7. Изменение микротвердости в зависимости от плотности реверсивного тока при 55 °С для электролитов:

- 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

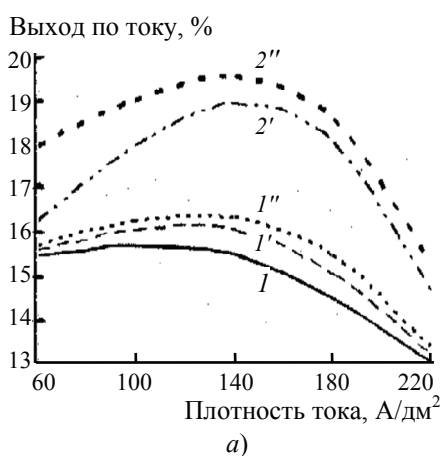


Рис. 6. Изменение выхода по току в зависимости от плотности реверсивного тока при 55 °С (а) и температуры при плотности реверсивного тока 100 А/дм² (б) в тех же электролитах

С повышением температуры при осаждении на реверсивном токе выход по току хрома незначительно уменьшается, падая при 57...60 °С (рис. 6, б) в универсальном электролите, введение добавок смещает границу падения до 65 °С и увеличивает выход по току (см. рис. 6, б, кривые *1*, *1'*, *1''*). В разбавленных электролитах выход по току хрома выше, а граница его падения сдвигается к 70 °С (см. рис. 6, б, кривые *2*, *2'*, *2''*).

Известно, что микротвердость зависит от режима осаждения, состава электролита и, в рассматриваемом случае, указанные добавки позволяют получать осадки высокой микротвердости как в универсальном, так и разбавленном электролитах при реверсивном осаждении (рис. 7).

Суммарный эффект влияния добавок и катодной пленки основных соединений Cr(III) достигается через перераспределение тока между выступами. Такое представление о сглаживающем эффекте добавок подтверждается изучением микроструктуры осадков. Для всех исследованных режимов установлено слоистое строение электролитического хрома с четко выраженными границами раздела слоев. Более сильное выравнивание микрорельефа поверхности при хромировании в импульсном режиме электролиза, а также реверсе тока обусловлено влиянием прерывания тока на кислотность приэлектродного слоя, ионный состав и толщину катодной пленки основных соединений хрома. Таким образом, в малоцентрированные электролиты хромирования для выравнивания поверхности хрома рекомендуется вводить органические добавки КФ или индиго. Предпочтителен импульсный режим электролиза. Результаты представим в виде уравнений:

$$M = 755 + 115x_1 - 105x_2 + 95x_1x_2;$$

$$R = 0,385 - 0,010x_1 - 0,035x_2 - 0,020x_1x_2;$$

$$\eta = 13,55 + 0,90x_1 - 0,70x_2 - 0,15x_1x_2;$$

$$V = 44,95 + 8,80x_1 - 3,60x_2 - 0,45x_1x_2,$$

где M – микротвердость, кгс/мм²; R – шероховатость, мкм; η – выход по току хрома %; V – скорость осаждения хрома, мкм/ч; x_1, x_2 – соответственно плотность тока, А/дм², и температура, °С.

Наибольшая скорость осаждения хрома соответствовала плотности тока 80 А/дм² и температуре 60 °С, которая больше в 1,6 раза скорости выделения хрома в универсальном электролите при 50 А/дм² и 55 °С.

Микротвердость хромового покрытия в зависимости от состава электролита показана в табл. 2, где твердость определялась по шкале Виккерса при времени выдержки 15 с и нагрузке к алмазной пирамиде 200 кгс/мм².

Совершенствование технологии хромирования в разбавленных электролитах, в том числе и при нестационарных режимах электролиза, позволяет улучшить рассеивающую способность электролита и другие функциональные физико-механические свойства покрытий [1 – 4].

В работе применен структурно-чувствительный метод исследования природы дефектов электрокристаллизации, их взаимопревращений и взаимовлияний, в том числе с учетом накопления по границам зерен молекулярного водорода или гидридов (хрома). Появление пика на температурной зависимости внутреннего трения связано с присутствием водорода в хромовом покрытии, сегрегированного на дислокациях [5 – 7]. Рассмотрено влияние многократного хромирования в разбавленном электролите и термообработки на механические свойства металлов (ст. 40Х, 65Г, 30ХГСА, X18Н10Т, медь), такие как предел текучести, прочность сцепления хромового покрытия с основой, циклическую долговечность, предел выносливости.

Таблица 2

Микротвердость покрытий в зависимости от плотности тока (i_k , А/дм²) и состава электролита

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

Таблица 3

**Режимы термообработки
до (числитель) и после (знаменатель)
нанесения покрытия**

Марка металла	Температура, °С (время проведения, ч)
40Х	400 (2,5)/400 (3,5)
65Г	420 (2,5)/420 (2,5)
30ХГСА	250 (3,0)/250 (3,0)
X18Н10Т	250 (3,0)/250 (3,5)
Медь	550 (1,5...2,0)/550 (2,0)

Образцы хромировали в малоцентрированном электролите при 55 °С и плотности тока 50 А/дм² с предшествующей и последующей термообработкой (табл. 3). Снятие хромового покрытия с образцов проводили электрохимически в щелочном растворе. Термическая обработка позволяет снизить внутренние напряжения осадков хрома на 600...920 кг/см², уменьшить наводороживание на 700 см³ на 100 г 10 мкм толщины хрома, увеличить микротвердость на 150...250 кг/мм².

Многочисленное хромирование не влияет на механические свойства металлов, а также не снижает прочности

сцепления хромового покрытия с основной поверхностью металла, по сравнению с однократным (не зависит от состава сталей). Данное заключение можно объяснить удалением поверхностного слоя в процессе пескоструйной обработки и влиянием термообработки после электрохимического покрытия.

Заключение

Приведем некоторые пути улучшения процесса хромирования. Наиболее эффективный путь улучшения параметров и физико-химических свойств покрытий, не требующий принципиального изменения состава электролита – применение нестационарного электролиза в электролитах более разбавленных, чем стандартный (250 г/л CrO₃). Перспективно хромирование импульсным током, который в режиме промышленной частоты (~50 Гц) позволяет стабилизировать pH прикатоде, ионный состав, уменьшить диффузионные ограничения при восстановлении ионов CrO₄²⁻ до металла, интенсифицировать процесс осаждения хрома, благодаря увеличению допустимой катодной плотности тока. Реверсирование катодного тока позволяет получать менее шероховатые покрытия. Другой путь – введение в электролит устойчивых к окислению органических добавок – катализаторов с подвижными π-электронами, а также многовалентных катионов, эффективно влияющих на перенапряжение выделения водорода и качество покрытий.

На предприятии ООО «Воронежсельмаш» разработанными методами проведено восстановление размеров: плунжеров и плунжерных пар топливных насосов высокого давления; золотников; гидрораспределителей; штоков гидроцилиндров; коленчатых валов сельскохозяйственной техники; клапанов двигателей внутреннего сгорания; шатунов; толкателей; осей коромысел распределительных валов; зеркал гильз цилиндров и других деталей, которые показали достаточную надежность и технологичность. Износостойкость восстановленных изношенных деталей сравнима с новыми изделиями и в некоторых случаях (шатуны, шкворни) может быть в 3 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 стандартных электролитов, что дает возможность увеличить выход продукции по току на 6 – 8 %, в 4 раза снизить степень наводороживания восстанавливаемых деталей, в 3 раза уменьшить их внутреннее трение, шероховатость, улучшить физико-механические свойства (пределы прочности, выносливости, относительное удлинение и сужение), в несколько раз повысить коррозионную стойкость получаемых хромовых покрытий, увеличить сроки эксплуатации сельскохозяйственных машин.

Список литературы

1. ГОСТ 9.306–85. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. – Взамен ГОСТ 9.073–77; ГОСТ 21484–76 ; введ. 1987–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 17 с.
2. Сафонов, В. В. Нанокпозиционное гальваническое хромирование / В. В. Сафонов, С. А. Шишурин, В. С. Семочкин // Глав. механик. – 2010. – № 1. – С. 40 – 42.
3. Фаличева, А. И. Экологические проблемы хромирования и альтернативного покрытия / А. И. Фаличева, Ю. А. Стекольников, Н. И. Глянцев // Вестн. Тамб. университета. Сер. Естеств. и техн. науки. – 1999. – Т. 4, вып. 2. – С. 256 – 257.
4. Стекольников, Ю. А. Экологические проблемы гальванического производства и альтернативные покрытия / Ю. А. Стекольников, А. И. Фаличева, Н. И. Глянцев // Техника машиностроения. – 1999. – № 6. – С. 45 – 51.
5. Электроосаждение хромовых покрытий из сульфатно-карбамидных электролитов на основе Cr (III) / В. О. Гордиенко [и др.] // Физико-химическая механика материалов. – 2010. – № 5. – С. 71 – 75.
6. 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 / под ред. В. С. Постникова. – М., 1963. – С. 165 – 170.
7. Гранкин, Э. А. Исследование температурной зависимости внутреннего трения в электролитических осадках хрома / Э. А. Гранкин, А. И. Фаличева, В. К. Алтухов // Электрохимия. – 1971. – Т. 7, № 8. – С. 1131 – 1133.

Restoration of Worn Details of Agricultural Machinery Using Galvanic Chrome Plating

N. Yu. Stekolnikova¹, Yu. A. Stekolnikov¹, D. I. Maksimov¹, V. K. Astanin²

*Department "Chemistry and Biology", Bunin Yelets State University,
Yelets, Russia; chemic55@yandex.ru*

Keywords: chromium coatings; current yield; hydrogenation; low-concentrated sulphatic electrolyte with organic additives; wear.

Abstract: The paper describes the findings of the analysis of influence of direct and pulse current on physical and chemical properties of chromium coatings, such as durability of coupling with the base, residual tension, cyclic durability, relative lengthening and narrowing, limits of fluidity and endurance.

The methods and modes of using the diluted electrolytic chromium plating with organic additives, enabling to apply chromium coating on parts of agricultural machines, surpassing the properties of the coating produced from electrolytes recommended by the national standard. They increase the current yield by 6–8 %, reduce the degree of hydrogenation of reducible parts up to 4 times, reduce their internal friction and surface roughness up to 3 times, improve the mechanical properties (tensile strength, endurance, elongation and contraction), increase the corrosion resistance up to 3 times of the resulting chromium coatings.

References

1. USSR State Committee of Standards, *GOST 9.306-85. Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Pokrytiya metallicheskie i nemetallicheskie neorganicheskie* [Russian Interstate Standart 9.306-85. Unified system of corrosion and ageing protection. Metal and non-metal inorganic coatings. Symbols], Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1985, 17 p. (In Russ.)

2. Safonov V.V., Shishurin S.A., Semochkin V.S. [Nano Composite chrome plating], *Glavnyi mekhanik* [Chief mechanical engineer], 2010, no. 1, pp. 40-42. (In Russ.)

3. Falicheva A.I., Stekol'nikov Yu.A., Glyantsev N.I. [Environmental concerns and alternative chrome plating coating], *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Tambov University Reports. Series Natural and Technical Sciences], 1999, vol. 4, issue 2, pp. 256-257. (In Russ.)

4. Stekol'nikov Yu.A., Falicheva A.I., Glyantsev N.I. [Environmental concerns and alternative electroplating coatings], *Tekhnika mashinostroeniia* [Mechanical Engineering Technology], 1999, no. 6, pp. 45-51. (In Russ.)

5. Hordienko, V.O., Protsenko, V.S., Kwon, S.C., Lee J.-Y., Danilov F.I. [Electrodeposition of chromium coatings from sulphate-carbamide electrolytes based on Cr(III) compounds], *Materials Science*, 2011, vol. 46, issue 5, pp. 647-652, doi: 10.1007/s11003-011-9336-2

6. Postnikov V.S., Sharshakov I.M., Maslennikov E.M. [On the question of the grain boundary stress relaxation in pure metals], *Relaksatsionnye yavleniya v metallakh i splavakh* [Relaxation phenomena in metals and alloys], Moscow, 1963, pp. 165-170.

7. Grankin E.A., Falicheva A.I., Altukhov V.K. [The temperature dependence of internal friction electrolytic chromium precipitation], *Elektrokimiya* [Electrochemistry], 1971, vol. 7, no. 8, pp. 1131-1133. (In Russ.)

Wiederherstellung der abgenutzten Details der landwirtschaftlichen Technik von den galvanischen Deckungen

Zusammenfassung: Es sind die Weisen und die Regimes der Nutzung des verdünnten Elektrolytes der Verchromung mit den organischen Zusätzen erarbeitet. Sie lassen zu, die nach den Eigenschaften aus den Elektrolyten bekommenden und vom Staatsstandard empfehlenden Chromdeckungen auf die Details der Landmaschinen aufzutragen. Sie erlauben, den Ausgang der Produktion nach dem Strom auf 6 – 8 % zu vergrößern, das Maß der Wasserstoffanreicherung der wiederhergestellten Details zu senken, ihre innere Reibung und die Unebenheit bis zu drei Malen zu verringern, die physikalisch-mechanischen Eigenschaften zu verbessern (die Grenzen der Festigkeit und der Zähigkeit, die relative Verlängerung und die Verengung), die Korrosionsstandhaftigkeit der bekommenden Chromdeckungen bis zu 3 Malen zu erhöhen.

Restauration de pièces usées de la technique agricole par le revêtement galvanique

Résumé: Sont développés des moyens et des modes d'utilisation de l'électrolyte dilué de chromage avec des suppléments organiques permettant d'appliquer les revêtements chromés sur les pièces de machines agricoles, dépassant par ses propriétés ceux obtenus à partir des électrolytes recommandés par GOST. Ils permettent d'augmenter le rendement de la production du courant de 6 à 8 %, de réduire jusqu'à 4 fois le degré de l'hydrogénation des pièces restaurées, de réduire jusqu'à trois fois la friction interne et la rugosité, d'améliorer les propriétés physico-mécaniques (résistance, endurance, allongement et rétrécissement), d'élever la résistance des revêtements à la corrosion jusqu'à 3 fois.

Авторы: *Стекольников Наталья Юрьевна* – аспирант кафедры «Химия и биология»; *Стекольников Юрий Александрович* – кандидат химических наук, профессор кафедры «Химия и биология»; *Максимов Дмитрий Игоревич* – соискатель кафедры «Химия и биология»; *Астанин Владимир Константинович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологический сервис и технология машиностроения», ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина», г. Елец, Россия.

Рецензент: *Килимник Александр Борисович* – доктор химических наук, заведующий кафедрой химии, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.