



А.С. Янута, Н.И. Корнейчук
Бендерский политехнический филиал
Приднестровского государственного университета имени Т.Г. Шевченко

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ОСАЖДЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ХРОМА В ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОМ ЖЕЛЕЗО-ХРОМОВОМ ПОКРЫТИИ, ПРИМЕНЯЕМОМ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ПОД ПОДШИПНИКИ

В статье представлены результаты исследований влияния условий нанесения (рН электролита, плотности катодного тока) на содержание хрома в электролитическом железо-хромовом покрытии из сульфатно-хлоридного электролита. Исследованиями установлены закономерности влияния плотности тока и кислотности сульфатно-хлоридного электролита на содержание хрома в исследуемом покрытии. Выявлено, что при температуре электролита 40 °С, рН=0,3...0,8 и плотности тока 15...60 А/дм² в электролитическом железо-хромовом покрытии содержание хрома составляет 1,34...11,9 %.

Восстановление, электролитическое покрытие, автомобильный транспорт, сплав, железо-хром, режимы осаждения.

Введение. Конструкционное совершенствование автомобильного транспорта, дорожно-строительной и сельскохозяйственной техники повышает производительность выполняемых работ, однако усложняет и повышает стоимость процессов технического обслуживания и ремонта, в том числе из-за высокой стоимости запасных частей. Восстановление изношенных деталей узлов и агрегатов – один из эффективных способов снижения затрат при ремонте.

Известно, что предельное состояние сопряжения деталей наступает при износе не более 0,2...0,3 мм [1], что позволяет производить их восстановление. При этом 40...60 % деталей автомобильного транспорта подлежат ремонту и восстановлению [2].

С 1 января 2018 года сотрудниками научно-исследовательской лаборатории «Реновация машин и оборудования» ПГУ имени Т.Г. Шевченко проведен сбор и анализ данных по отказам узлов и агрегатов строительного, грузового и специализированного транспорта предприятий в городах Бендеры и Тирасполь. Анализ результатов данных установил, что у спецтранспорта доля отказов гидроприводов составляет 45 % и 20 % трансмиссии [3, 4]. Для грузовых автомобилей семейства КамАЗ доля отказов агрегатов трансмиссии составила 11,7...18,9 % при средней наработке 11,6...28,9 тыс. км пробега [5].

Наибольшее число отказов возникает из-за износа и коррозионных повреждений трущихся поверхностей деталей [6]. Нашими исследованиями установлено, что коэффициент повторяемости износа посадочных мест под подшипники, которые подвергаются механическому и коррозионно-механическому изнашиванию, находится в пределах 0,95–1,0 в зависимости от условий эксплуатации. Из-за износа в сопряжениях подшипниковых узлов происходит нарушение посадки, что вызывает динамическую неуравнове-

шенность не только узлов трансмиссии, но и машины в целом. Поэтому увеличение ресурса посадочных мест на валах, осях в корпусах механизмов и узлов машин является актуальной научно-технической проблемой.

При производстве деталей, узлов и агрегатов автотранспортной техники для защиты от коррозии наносят различные защитные (полимерные, цинковые и др.) покрытия [7–9].

В авторемонтном производстве для восстановления изношенных поверхностей наибольшее применение получили технологии нанесения износостойких электролитических и полимерных покрытий [10–17].

Среди существующих гальванических технологий восстановления деталей наибольшее распространение получило электролитическое железнение: из-за низкой себестоимости, высокой производительности процесса и малой токсичности применяемых электролитов. Однако электролитические железные покрытия имеют сравнительно низкую микротвердость (4000...5000 МПа), а также износ- и коррозионную стойкость, которые не всегда отвечают современным требованиям ремонтного производства.

Одним из эффективных направлений повышения физико-механических свойств электролитических покрытий на основе железа является его легирование [18, 19]. Существуют различные электролитические сплавы на основе железа, но наиболее распространенным является легирование хромом [20]. Легирование хромом электролитического железа позволяет повысить микротвердость, износостойкость и коррозионную стойкость покрытия [21–26]. Однако данные, имеющиеся в литературе, ограничены и не позволяют разработать эффективные технологические процессы, в частности восстановления посадочных мест под подшипники качения и скольжения автотракторной и

др. техники. В этой связи целью настоящей работы является определение влияния условий осаждения на содержание хрома в электролитическом железо-хромовом покрытии, с дальнейшим применением его для восстановления посадочных мест под подшипники скольжения и качения в корпусных деталях, валах и осях автомобильного транспорта, дорожно-строительных машин и сельскохозяйственной техники.

Методика исследований. Электролитическое железо-хромовое покрытие получали путем осаждения из разработанного сульфатно-хлоридного электролита [27] в электролизере объемом 5 л, с использованием источника постоянного тока. Приготовление электролита производилось по методике [21] из реактивов классификации «ХЧ». Покрытие наносилось на плоские образцы площадью $S=0,2 \text{ дм}^2$. Температура электролита в процессе электролиза поддерживалась постоянной $40 \pm 2^\circ\text{C}$, кислотность изменяли путем добавления в электролит серной кислоты, контроль pH электролита проводился pH-метром модели Smart Sensor AS218. Перед каждым осаждением покрытия на образцы проводили проверку содержания двух- и трехвалентного железа, а также содержания хрома в электролите фотоколлометрическим методом с использованием фотоэлектроколориметра ФЭК-2М. Соотношение площадей катода и анода, изготовленного из низкоуглеродистой стали, в электролизере составляло 1:3.

Исследования содержания хрома в электролитическом покрытии проводились на базе центральной испытательной лаборатории ОАО «Молдавский металлургический завод» г. Рыбница (ПМР) по ГОСТ 12350-78 [28].

Результаты исследований. В ходе проведения исследований процесса осаждения покрытия сплава Fe-Cr из сульфатно-хлоридных электролитов стояла задача определения наиболее важных факторов, влияющих на процессы образования сплава и в частности на повышение содержания хрома в покрытии. Нами были выделены две гипотезы.

Первая гипотеза. Скорость кристаллизации железа и хрома при формировании электролитического покрытия зависит от условий осаждения. При том, что скорость перехода Cr (III) в металлический хром ниже, чем у ионов железа. Следовательно, снижая скорость осаждения железа, применяя неоптимальные для данных ионов условия, можно повысить содержание хрома в покрытии.

Вторая гипотеза. При определенных условиях ионы Fe (II) являются катализатором процесса. В ходе осаждения ионы железа «тянут» за собой ионы хрома, ускоряя процесс их кристаллизации.

На основании полученных результатов анализов содержания хрома в исследуемом железо-хромовом покрытии установлена закономерность влияния условий электролиза (кислотности электролита и плотности тока) на содержание Cr.

При проведении исследований установлено, что максимальное содержание хрома в покрытии составляет 11,9 % при $\text{pH}=0,7$ $D_k=60 \text{ А/дм}^2$. Нами выявлено, что изменение кислотности электролита оказывает наибольшее влияние на содержание хрома в покрытии. Так, при увеличении pH от 0,3 до 0,8 содержание хрома в покрытии повышается с 1,34 до 8,12 % (рис. 1) [29].

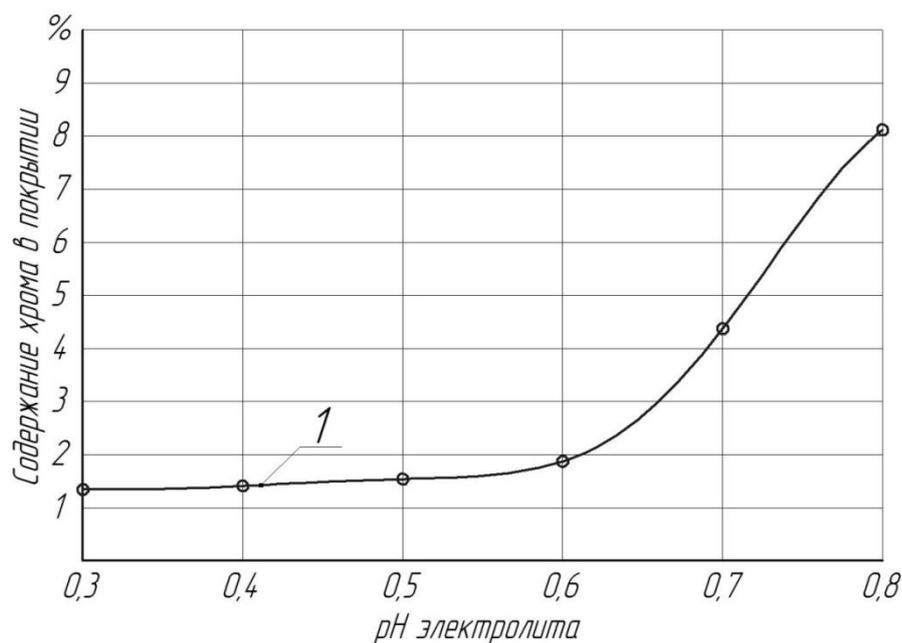


Рис. 1. Зависимость содержания хрома в электролитическом железо-хромовом покрытии от кислотности электролита ($t_{\text{эл}}=40^\circ\text{C}$, $D_k=40 \text{ А/дм}^2$)

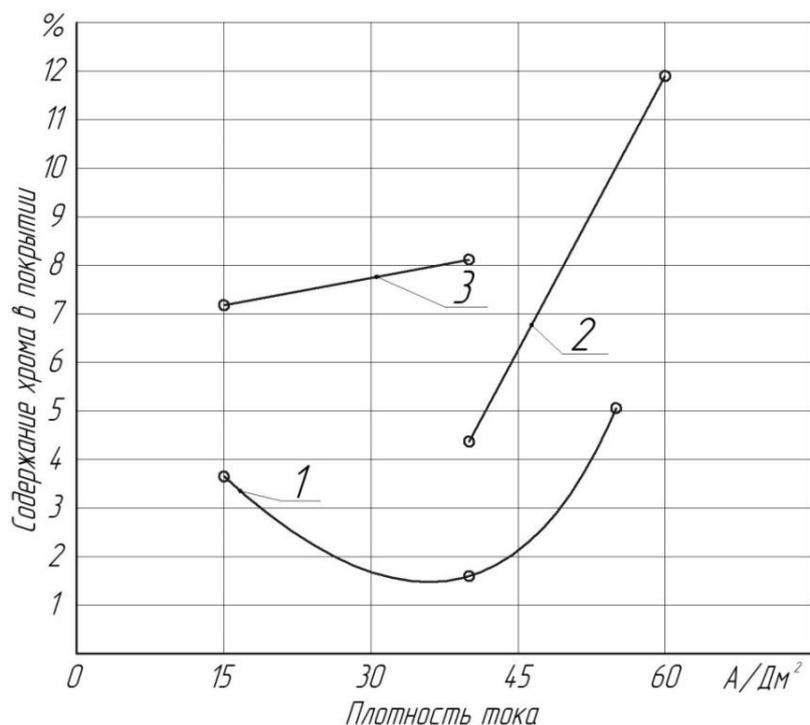


Рис. 2. Зависимость содержания хрома в электролитическом железо-хромовом покрытии от плотности тока: 1 – $t_{эл}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $pH=0,6$; 2 – $t_{эл}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $pH=0,7$; 3 – $t_{эл}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $pH=0,8$

Как следует из графика (рис. 1), в интервале $pH=0,3\dots0,6$ содержание хрома изменяется незначительно с 1,34 до 1,87 %, что свидетельствует о незначительном влиянии кислотности электролита при данных условиях на содержание хрома в покрытии. При повышении pH электролита до $0,7\dots0,8$ содержание легирующей добавки в исследуемом покрытии повышается до 4,37 и 8,12 % соответственно. Резкое увеличение содержания хрома в покрытии указывает на более оптимальные условия электрокристаллизации ионов хрома совместно с ионами железа. Из анализа результатов исследований следует (рис. 1), что при pH в интервале $0,3\dots0,6$ скорость осаждения покрытия незначительная и количество хрома в покрытии также незначительное, эти данные подтверждают гипотезу № 2.

Исследования влияния плотности тока при различных значениях кислотности тока на содержание хрома в электролитическом покрытии позволили установить закономерности изменения содержания хрома в покрытии, которые носят сложный характер (рис. 2). Из анализа полученных результатов следует, что максимальное содержание хрома в покрытии составило 11,9 %, при $pH=0,7$ и плотности тока $D_k=60\text{ А/дм}^2$ (кривая 2). При этом следует заметить, что при совместном повышении pH электролита и плотности тока значительно повышается содержание хрома. При $pH=0,6$ в интервале плотностей тока $15\dots55\text{ А/дм}^2$ была установлена нелинейная закономерность изменения содержания хрома, минимальное значение которого 1,87 % достигается при $D_k=40\text{ А/дм}^2$. При дальнейшем увеличении плотности тока до 55 А/дм^2 содержание хрома увеличивается с 1,87 до 5,06 % (кривая 1).

При нанесении покрытий в электролите с $pH=0,7$ и $0,8$ закономерности содержания хрома в покрытии в зависимости от плотности тока носят линейный характер. Так, если при $pH=0,7$ и плотности тока $D_k=40\text{ А/дм}^2$ содержание хрома составляет 4,37 %, то при повышении плотности тока до 60 А/дм^2 содержание хрома увеличивается более чем в 2 раза и составляет 11,9 % (кривая 2). Содержание хрома в покрытиях осажденных при $pH=0,8$ в сравнении с полученными при $pH=0,6$ плотности тока в 15 А/дм^2 увеличивается в 2 раза с 3,65 до 7,18 %.

Установленные закономерности коррелируют с ранее установленными закономерностями изменения скорости осаждения сплава Fe-Cr [21]. Полученные данные дополнительно подтверждают вторую гипотезу.

Выводы

1. Установлены закономерности содержания хрома в электролитическом железо-хромовом покрытии в зависимости от плотности тока и кислотности разработанного сульфатно-хлоридного электролита.

2. Выявлено существенное влияние кислотности электролита и плотности тока при осаждении сплава Fe-Cr на содержание хрома в электролитическом покрытии.

3. Определены условия осаждения качественных покрытий электролитического сплава с содержанием хрома от 1,34 до 11,9 % при кислотности $pH=0,3\dots0,8$, температуре электролита $-40\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и катодной плотности тока $15\dots60\text{ А/дм}^2$.

Литература

1. Корнейчук, Н. И. Перспективы использования промышленных методов восстановления изношенных деталей машин гальваническими и полимерными

покрытиями в современных условиях развития агропромышленного технического сервиса / Корнейчук, Н. И., Лялякин, В. П. // Труды ГОСНИТИ. – Т. 130. – 2018. – С. 254–264.

2. Мухаметшина, Р. М. Трибологические отказы дорожно-строительных машин / Р. М. Мухаметшина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 1–2. – С. 252–255.

3. Котомчин, А. Н. Анализ отказов узлов и агрегатов строительных, дорожных, подъемно-транспортных машин и специализированного автотранспорта на примере МУП «КоммуналДорСервис» г. Бендеры / А. Н. Котомчин, Ю. Г. Ляхов // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2019. – № 3 (63). – С. 174–178. – EDN WKPYUI.

4. Котомчин, А. Н. Анализ отказов узлов и агрегатов специализированного автотранспорта, возникающих в процессе эксплуатации / А. Н. Котомчин, В. А. Зорин // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2021 : Материалы VII международной научно-практической конференции, в рамках 7-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса. Инфраструктурное и социально-экономическое развитие» (Горловка, 25 мая 2021 г.). – Горловка : Автомобильно-дорожный институт Донецкого национального технического университета. – 2021. – С. 72–75. – EDN QPUZTE.

5. Янута, А. С. Анализ отказов агрегатов грузовых автомобилей камаз автотранспортных предприятий г. Бендеры / А. С. Янута // Высокие технологии и инновации в науке : сборник избранных статей Международной научной конференции (Санкт-Петербург, 28 января 2021 г.). – Санкт-Петербург : ГНИИ «Нацразвитие». 2021. – С. 171–176. – EDN ECPVH.

6. Мухаметшина, Р. М. Отказы дорожно-строительных машин по параметрам коррозии / Р. М. Мухаметшина // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 4 (26). – С. 403–408. – EDN RSTENN.

7. Емельянов, А. А. Способы обеспечения антикоррозионной защиты кузовов / А. А. Емельянов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2022. – № 9. – С. 36–39. – DOI 10.31044/1684-2561-2022-0-9-36-39. – EDN TFNOOS.

8. Емельянов, А. А. Анализ применяемых защитных покрытий для кузова автомобиля из полимерных материалов / Емельянов А. А., Булат С. В. // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте : материалы XVI Международной научно-технической конференции (Вологда, 08 декабря 2021 г.). – Вологда : Вологодский государственный университет. – 2022. – С. 309–312. – EDN GXWRJG.

9. Емельянов, А. А. Конструкция кузова легкового автомобиля и характер его коррозионного износа / А. А. Емельянов // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины

и робототехнические комплексы : Сборник докладов 27-й Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. – Москва : Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – 2023. – С. 248–251. – EDN QGFEUF.

10. Ляхов, Е. Ю. Повышение эффективности эксплуатации дорожных машин и автомобилей за счет применения ремонтных полимерных материалов / Ляхов Е. Ю., Зорин В. А. // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2021. – № 1(95). – С. 39–43. – EDN WMKAWS.

11. Ляхов, Е. Ю. Определение оптимальных технологических режимов нанесения ремонтных полимерных материалов / Е. Ю. Ляхов, В. А. Зорин, Ю. В. Штефан // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2020. – № 4(54). – С. 15–25. – EDN KYBFNW.

12. Ляхов, Е. Ю. Исследование реологических свойств полимерных композиционных материалов методом конечных элементов / Е. Ю. Ляхов, В. А. Зорин // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2020. – № 3(66). – С. 114–119. – EDN SZJJOE.

13. Моделирование процесса электролитического покрытия сплава железо-хром из сульфатно-хлоридного электролита при восстановлении деталей машин / А. С. Янута, Ю. В. Штефан, В. К. Федоров, Н. И. Корнейчук // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2023. – Т. 20, № 2(90). – С. 260–276. – DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-2-260-276. – EDN CBHVWL.

14. Котомчин, А. Н. Влияние неорганических добавок и условий электролиза хромирования на качество получаемых покрытий для восстановления и упрочнения деталей машин / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников, Н. И. Корнейчук // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2021. – № 7. – С. 49–56. – DOI 10.36535/0236-1914-2021-07-9. – EDN TVEVXL.

15. Мухин, В. В. Ремонт деталей дорожно-строительных машин, работающих во влажной среде / В. В. Мухин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2021. – № 2. – С. 9–12. – DOI 10.31044/1684-2561-2021-0-2-9-12. – EDN GRBRNT.

16. Мухин, В. В. Оценка коррозионной стойкости соединений, восстановленных с использованием полимерных композиционных материалов / В. В. Мухин, Н. И. Баурова // Технология металлов. – 2022. – № 10. – С. 39–45. – DOI 10.31044/1684-2499-2022-0-10-39-45. – EDN VTFHFQ.

17. Мухин, В. В. Методика оценки свойств эпоксидных композиционных материалов, работающих во влажной среде / В. В. Мухин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2022. – № 7. – С. 35–39. – DOI 10.31044/1684-2561-2022-0-7-35-39. – EDN ZAQXKD.

18. Бомешко, Е. В. Электроосаждение двойных и тройных сплавов на основе железа и хрома: теорети-

ческие представления и практические рекомендации / Е. В. Бомешко, Н. И. Корнейчук // Вестник ПГУ. – 2019. – Т. 3, № 53. – С. 153–165.

19. Янута, А. С. Легирование как способ совершенствования технологии электролитического железнения / А. С. Янута, В. К. Федоров, Н. И. Корнейчук // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2022 : Материалы VIII международной научно-практической конференции. – Горловка, 2022. – С. 92–96. – EDN DUQOFD.

20. Янута, А. С. Анализ применения электролитов для получения электролитических сплавов Fe-Cr при восстановлении деталей машин и оборудования / А. С. Янута, Н. И. Корнейчук, А. Ф. Синельников // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2021. – № 3 (69). – С. 101–106. – EDN KZIELB.

21. Electrolytic alloying of iron-chromium during deposition of coatings from a sulfate-chloride electrolyte / A. F. Sinelnikov, E. V. Bomeshko, N. I. Korneychuk, Yanuta A. S. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering (14th-16th December 2020, Moscow). – Moscow, 2020. – P. 1–9.

22. Янута, А. С. Исследование влияния режимов осаждения на процесс осаждения сплава Fe-Cr из сульфатного электролита / А. С. Янута, А. Ф. Синельников // Высокие технологии и инновации в науке : сборник избранных статей Международной научной конференции (Санкт-Петербург, 28 января 2021 г.). – Санкт-Петербург : ГНИИ «Нацразвитие». 2021. – С. 177–180. – EDN TUEVBL.

23. Янута, А. С. Исследование влияния режимов осаждения на структуру электролитического бинарного покрытия Fe-Cr, полученного из сульфатно-хлоридного электролита / А. С. Янута // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2022. – № 3(70). – С. 17–21. – EDN PMMMMH.

24. Янута, А. С. Применение гальванического покрытия сплава на основе железа для восстановления изношенных деталей дорожно-строительной техники / А. С. Янута // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы : Сборник статей 26-ой Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. – Москва : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. – 2022. – С. 585–589. – EDN MUHUNV.

25. Повышение износостойкости деталей электрохимическими сплавами на основе железа / Г. В. Гурьянов, Ю. Е. Кисель, А. Н. Лысенко, А. А. Обозов // Сельский механизатор. – 2017. – № 2. – С. 34–35.

26. Упрочняющее легирование электроосажденного железа / В. И. Серебровский, В. В. Серебровский, Р. И. Сафронов, Ю. П. Гнездилова // Вестник Курской ГСХА. – 2015. – № 4. – С. 68–71.

27. Патент № 543 Приднестровская Молдавская Республика. Электролит для получения железохромового покрытия : № 22100598 : заявл. 20.04.2022 : опубл. 01.06.2022 / А. С. Янута, Н. И. Корнейчук, Е. В. Бомешко. – 4 с.

28. ГОСТ 12350-78. Стали легированные и высоколегированные. Методы определения хрома : введен 1980-01-01. – 1984. – 10 с.

29. Янута, А. С. Оценка влияния кислотности электролита на содержание хрома в бинарном гальваническом покрытии на основе железа / А. С. Янута, В. К. Федоров, Н. И. Корнейчук // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте : Материалы XVII Международной научно-технической конференции (Вологда, 08 декабря 2022 г.) / ответственный редактор В. А. Раков. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2023. – С. 265–268. – EDN IQQWPB.

A.S. Yanuta, N.I. Korneychuk

Bendery Polytechnic Branch of T.G. Shevchenko Pridnestrovian State University

STUDY OF DEPOSITION CONDITIONS INFLUENCE ON CHROMIUM CONTENT IN ELECTROLYTIC IRON-CHROMIUM COATING USED TO RESTORE BEARING SEATS

The article presents the results of studies of the effect of application conditions (pH of the electrolyte, cathode current density) on the chromium content in the electrolytic iron-chromium coating of sulfate-chloride electrolyte. Studies have established the regularities of the influence of the current density and acidity of the sulfate-chloride electrolyte on the chromium content in the coating under study. It was found that at an electrolyte temperature of 40 °C, pH = 0,3...0,8 and a current density of 15...60 A / dm², the chromium content in the electrolytic iron-chromium coating is 1,34...11,9 %.

Reduction, electrolytic coating, automobile transport, alloy, iron-chromium, deposition modes.