УДК 620.192.6

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ САМОРЕГУЛИРУЮЩЕГОСЯ ЭЛЕКТРОЛИТА С ДОБАВЛЕНИЕМ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ

ШИШУРИН Сергей Александрович, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

В статье представлены результаты лабораторных исследований микротвердости и износостойкости базовых и нанокомпозиционных гальванических покрытий хрома. Выбрана наиболее эффективная упрочняющая фаза – наноразмерный порошок оксида алюминия в концентрации 3 г/л. Применение наноразмерного порошка оксида алюминия позволяет повысить микротвердость и износостойкость нанокомпозиционных покрытий в 1,5–1,8 раза по сравнению с базовыми.

Введение. В большинстве регионов страны при ремонте сельскохозяйственной техники сохраняется востребованность в восстановленных агрегатах. Эта тенденция подтверждается и мировым опытом [2, 4, 5]. Поэтому создание высокоресурсных агрегаторемонтных центров по восстановлению работоспособности двигателей, дизельной топливной аппаратуры, гидротрансмиссий, турбокомпрессоров и других, наиболее сложных узлов становится одним из перспективных направлений развития сельского хозяйства. Восстановление деталей, как правило, включает в себя операции нанесения слоя материала на изношенные поверхности с целью получения номинальных размеров [5]. Указанная особенность создает предпосылки для упрочнения деталей при восстановлении путем нанесения на быстроизнашиваемые участки деталей материалов с износостойкостью, превышающей износостойкость материал детали.

В настоящее время разработан ряд способов восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники, однако они имеют существенные недостатки и не всегда обеспечивают необходимый ресурс восстановленных деталей [4]. В связи с этим разработка новых технологий, повышающих эффективность восстановления деталей, является актуальной задачей. Наиболее перспективными для восстановления и упрочнения ресурсоопределяющих деталей сельскохозяйственной техники являются нанокомпозиционные гальванические покрытия на основе хрома [1]. Такие покрытия представляют собой гальванически осажденный металл с включением в него различных наноразмерных частиц. Применение наноразмерных частиц позволяет значительно улучшить служебные свойства получаемых покрытий [1, 3, 11, 12]. В связи с этим, большой научно-практический интерес представляет изучение влияния наноразмерных материалов на микротвердость и износостойкость гальванических покрытий на основе хрома, так как микротвердость и износостойкость материала в большой степени предопределяют ресурс сопряжения в целом.

Методика исследований. Для получения нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе хрома был выбран саморегулирующийся электролит хромирования [8]. Такой электролит широко распространен в ремонтном производстве, так как позволяет получать качественные хромовые покрытия с высокой микротвердостью (8...10 ГПа). Кроме того, дает возможность в широком диапазоне изменять физико-механические свойства покрытий при изменении режимов хромирования, что очень важно для исследования и создания новых износостойких покрытий [1, 3, 11].

Электролит: хромовый ангидрид – 250 г/л; калий кремнефтористый – 20 г/л; барий сернокислый – 5 г/л; серная кислота – 0,34 г/л; нанодисперсные частицы – 3 г/л. Режимы: плотность тока 50 А/дм^2; температура 50 °С. После загрузки в ванну детали выдерживали без тока 1–2 мин для прогрева. В первые 0,5–1,5 мин давался импульс тока 80...120 А/дм^2, затем плотность тока снижалась до номинального значения.

Для получения наноразмерных материа-

лов был выбран метод плазменной переконденсации, позволяющий получать различные нанодисперсные материалы с размером частиц от 10 до 100 нм [6, 9]. Метод основан на испарении крупнодисперсного порошка (сырья) в плазменном потоке с температурой 4500...6000 °С и конденсации пара до частиц требуемого размера.

Для получения нанокомпозиционных покрытий на основе хрома была выбрана следующая группа наноразмерных частиц: Al_2O_3, AlN, SiC, TiC, WC.

Приготовление электролита-суспензии для получения покрытий проводили по разработанной методике [7, 8, 10].

Нанесение покрытия на образцы проводили на лабораторной установке (рис. 1).

Для измерения микротвердости покрытия наносили на образцы, изготовленные из стали ШХ15. Все образцы подвергались термообработке до твердости 55-60 HRC, размеры образцов 40×40×4 мм.

Микротвердость покрытий определяли на микротвердомере «*Durascan 20*» (рис. 2) по методу восстановленного отпечатка вдавливанием алмазной пирамиды согласно ГОСТ 9450–76. С целью исключения влияния твердости основного металла измерение микротвердости полученных покрытий целесообразно проводить на металлографических шлифах, вдавливая алмазную пирамиду в шлифованный торец пластины.

Шлифы изготавливали, используя отрезной станок «*Labotom 5*». Для фиксации образцов их запрессовывали в акриловую термопластичную смолу, используя электрогидравлический пресс «*Struers CitoPress-1*». Шлифование и полирование металлографических шлифов осуществляли с помощью двухдисковой шлифовальной машины «*MDG02*» и шлифовально-полировального станка «*Struers TegraPol-15*».

При изучении механизма упрочнения нанокомпозиционных покрытий большое значение имеет установление характера изменения микротвердости получаемых покрытий по толщине слоя. В связи с этим измерения микротвердости проводили по толщине покрытия, согласно схеме, представленной на рис. 3, делая по 5 равноудаленных замеров по толщине покрытия и 3 замера микротвердости подложки.

Испытания покрытий на износостойкость проводили на машине трения МИ-1М по схеме «ролик – колодка» (рис. 4).

Испытания проводили согласно ГОСТ 23.224–86 «Обеспечение износостойкости деталей. Методы оценки износостойкости восстановленных деталей».

Колодки изготавливали из кольца наружным диаметром 65 мм, внутренний диаметр которого шлифовали под размер дисков. Длина колодки по окружности 20 мм, ширина 10 мм. Ролики изготавливали диаметром 50 мм и шириной 12 мм. На ролики наносили экспериментальные покрытия. Исследованиям подвергали образцы без покрытий с нанокомпозиционными и базовыми покрытиями. Ко-

Рис. 1. Лабораторная установка для нанесения покрытий

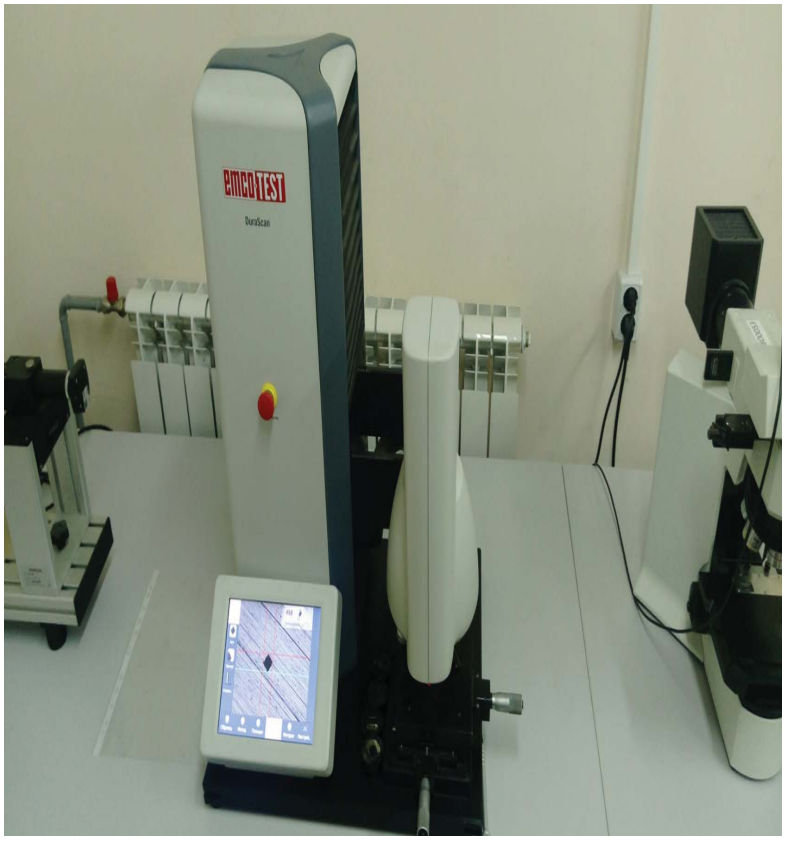

Рис. 2. Микротвердомер «Durascan 20»

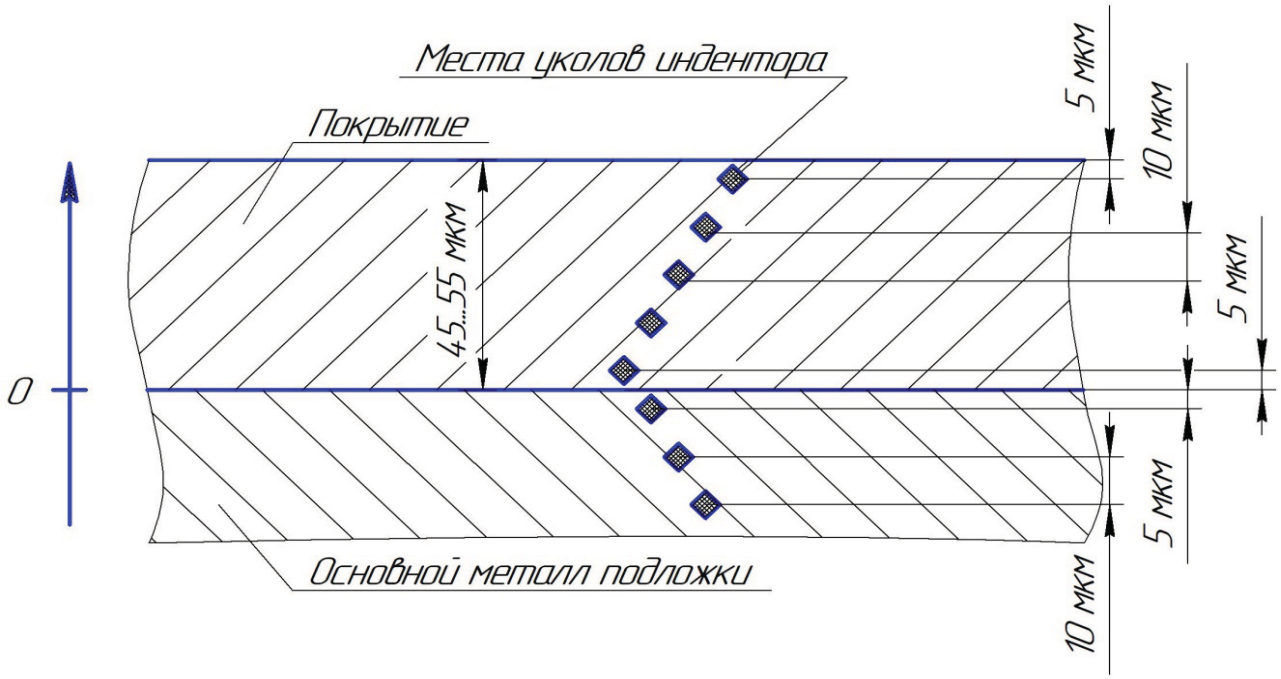

Рис. 3. Схема измерения микротвердости покрытий на шлифе

лодки и ролики изготавливали из стали ШХ15 и подвергали термообработке до твердости 55–60 HRC.

Испытания проводили в двух средах: на чистом дизельном топливе и на дизельном топливе с добавлением кварцевого абразива с размерами частиц 3–5 мкм при концентрации абразива 3 % по массе топлива.

Основная нагрузка испытаний составляла 850 Н.

Перед испытаниями образцы пар трения прирабатывали в течение 3 ч на режимах основного испытания. Продолжительность основных испытаний составляла 4 ч. Износ образцов определяли взвешиванием на аналитических весах «*HR-250AZG*» 1-го класса точности ГОСТ OIML R 76-1-2011.

Все эксперименты проводили с троекратной повторяемостью.

Результаты исследований. Результаты измерений микротвердости полученных покрытий представлены в таблице.

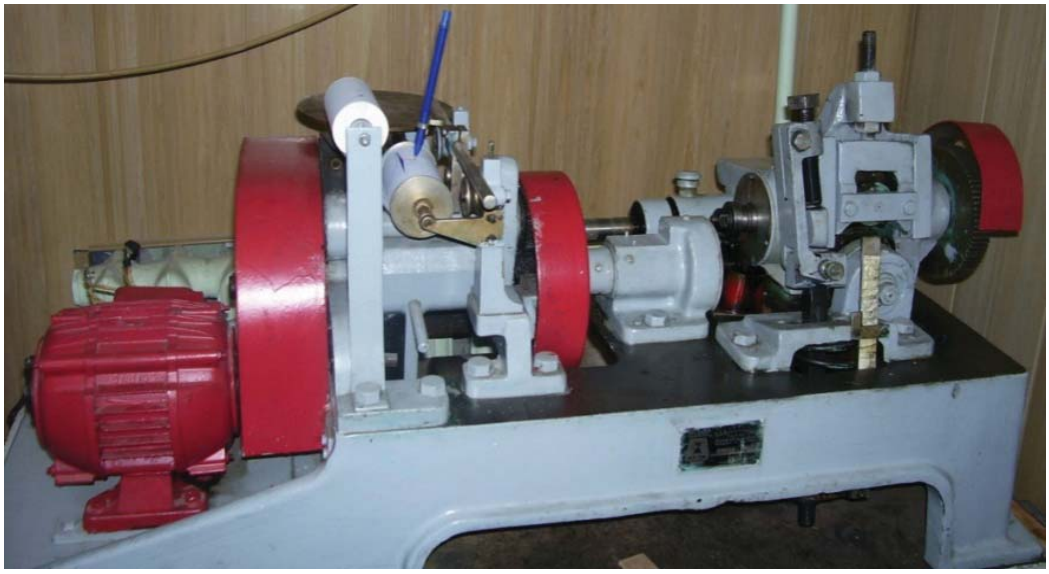

Рис. 4. Машина трения МИ-1М

Из представленных данных видно, что наибольшей микротвердостью обладает нанокомпозиционное электролитическое покрытие на основе хрома, полученное при введении в электролит хромирования наноразмерного порошка Al_2O_3.

В результате проведенных экспериментов была определена наноразмерная фаза, позволяющая достичь наибольшего значения микротвердости покрытия, по сравнению с рассматриваемыми порошками.

Результаты замеров микротвердости покрытий по толщине слоя представлены на рис. 5.

Из представленных данных видно, что микротвердость всех полученных покрытий достаточно равномерна по толщине слоя покрытия. Однако в нанокомпозиционных покрытиях по мере удаления от границы с основным металлом микротвердость незначительно увеличивалась. Вероятно, это можно объяснить дислокационным механизмом упрочнения нанокомпозиционных покрытий, так как дислокации, будучи термодинамически неустойчивыми дефектами, стремятся выйти на поверхность.

Последующие исследования износостойкости нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе хрома проводили с наноразмерным порошком Al_2O_3.

Результаты лабораторных испытаний на износостойкость образцов без покрытий, с ба-

Результаты измерения микротвердости нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе хрома

Материал наноразмерных частиц	Среднее значение микротвердости, ГПа
Al_2O_3	14,10
AlN	13,42
SiC	13,26
WC	12,71
TiC	12,62
Без нанодисперсных частиц	9,6

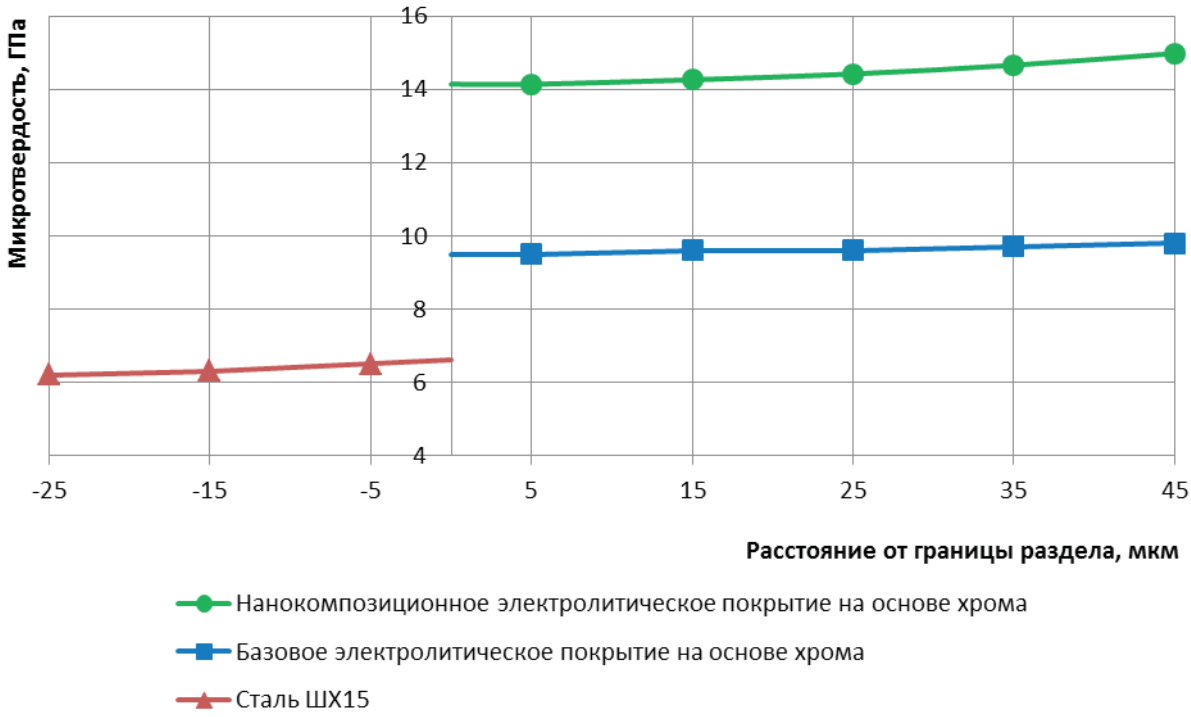

Рис. 5. Распределение микротвердости покрытий на основе хрома по толщине покрытия

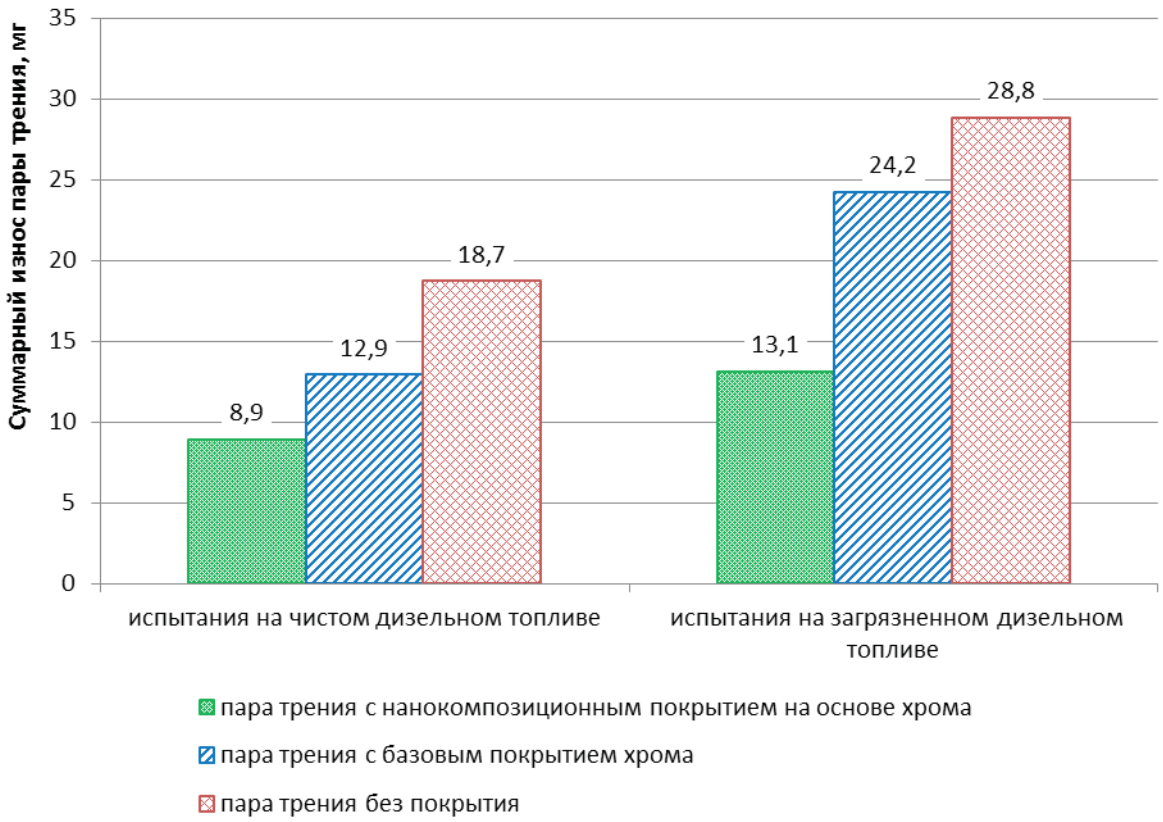

Рис. 6. Суммарный износ пар трения после проведения испытаний образцов с покрытиями на основе хрома

зовыми покрытиями без наноразмерных частиц и нанокомпозиционными гальваническими покрытиями на основе хрома представлены на рис. 6.

Из представленных данных видно, что суммарный массовый износ пары трения с нанокомпозиционным электролитическим покрытием на основе хрома при испытании на чистом дизельном топливе составляет 8,9 мг, а на загрязненном дизельном топливе 13,1 мг, что в 1,5–1,8 раза меньше, чем износ образцов с базовым покрытием хрома и в 2,1–2,2 раза меньше, чем износ пары трения без покрытия.

Высокая износостойкость нанокомпозици-

онных электролитических покрытий на основе хрома объясняется их высокой микротвердостью.

Заключение. Проведенные лабораторные исследования позволили определить наноразмерный материал – оксид алюминия, позволяющий получать покрытия с повышенными значениями микротвердости. Микротвердость нанокомпозиционных покрытий, полученных при концентрации в электролите наноразмерных частиц оксида алюминия 3 г/л, в 1,47 раза выше микротвердости базовых хромовых покрытий. В результате проведенных лабораторных испытаний на износостойкость установлено, что нанокомпозиционные электролитические покрытия на основе хрома обладают износостойкостью в 1,5–1,8 раза выше износостойкости базовых покрытий хрома и в 2,1–2,2 раза выше износостойкости стали ШХ15. Данные покрытия следует рекомендовать для восстановления и упрочнения ресурсоопределяющих деталей агрегатов сельскохозяйственной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Антропов Л.И., Лебединский Ю.Н.* Композиционные электрохимические покрытия и материалы. – Киев: Техника, 1986. – 200 с.

2. *Батищев А.Н., Голубев И.Г., Лялякин В.П.* Восстановление деталей сельскохозяйственной техники. – М. : Информагротех, 1995. – 295 с.

3. *Бородин И.Н.* Порошковая гальванотехника. – М.: Машиностроение, 1990. – 235 с.

4. *Бурак П.И., Голубев И.Г.* Реализация инновационных технологий технического сервиса. – М.: Росинформагротех, 2014. – 160 с.

5. *Бурумкулов Ф.Х., Лезин П.П.* Работоспособность и долговечность восстанавливаемых деталей и сборочных единиц. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1993. – 120 с.

6. Пат. 2238174 Российская Федерация, МПК B 22 F 9/14. Способ получения ультрадисперсного порошка и устройство для его осуществления / В.Ю. Мелешко, В.А. Карелин, Г.Я. Павловец, С.И. Малашин, Э.К. Добринский, Е.А. Красюков. – № 2003129029/02 ; заявл. 30.09.2003; опубл. 20.10.2004, Бюл. № 29.

7. Структура и физико-механические свойства композиционных гальванохимических покрытий / В.В. Сафонов [и др.] // Вестник АПК Ставрополья. – 2014. – № 3 (15). – С. 77–80.

8. Технология упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственной техники нанокомпозиционным гальваническим железнением / В. В. Сафонов [и др.] // Научная жизнь. – 2019. – № 2. – С. 33–42.

9. Физико-математическая модель механизма упрочнения гальванических покрытий наноразмерными материалами / В. В. Сафонов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 7. – С. 55–58.

10. Application of composite electroless nickel coatings on precision parts of hydraulics aggregates / V. Safonov [et al.] // Tribology in Industry, 2019, Vol. 41, No. 1, P. 14-22.

11. Effect of alumina nanoparticles on the structure and physicochemical properties of chromium coatings / V. V. Safonov [et al.] // Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2015, Vol. 51, No. 6, P. 517–522.

12. Investigation of structure and wear resistance of nanocomposite coating of chemical nickel / V. Safonov [et al.] // Tribology in Industry, 2018, Vol. 40, No. 4, P. 529–537.

Шишурин Сергей Александрович, *канд. техн. наук, доцент кафедры «Техническое обеспечение АПК», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60.

Тел.: (8452) 74-96-23.

Ключевые слова: *композиционные покрытия; наноразмерные частицы; гальваническое хромирование; микротвердость; износостойкость.*

OPERATIONAL PROPERTIES OF CHROMIUM COATINGS OBTAINED FROM SELF-REGULATING ELECTROLYTE WITH ADDITION OF NANO-DIMENSIONAL PARTICLES

Shishurin Sergey Aleksandrovich, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Technical Support of Agro-Industrial Complex", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Keywords: *composite coatings; nanoscale particles; electroplating; microhardness; wear resistance.*

The article presents the results of laboratory studies of microhardness and wear resistance of basic and nanocomposite electroplating chromium coatings. The most effective strengthening phase was chosen – nanosized alumina powder at a concentration of 3 g/l. The use of nanosized aluminum oxide powder makes it possible to increase the microhardness and wear resistance of nanocomposite coatings by 1.5-1.8 times as compared to the base ones.