

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК / TECHNICAL SERVICE IN AGRICULTURE

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

УДК 621.664:669.715

DOI: 10.34677/1728-7936-2019-4-35-41

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛИЗАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ**КОЛОМЕЙЧЕНКО АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор¹

E-mail: kolom_sasha@inbox.ru

КРАВЧЕНКО ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор²

E-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

ЛОГАЧЁВ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент¹

E-mail: logvovan@mail.ru

ИЗМАЛКОВ АЛЕКСАНДР АНДРЕЕВИЧ, аспирант¹

E-mail: izmalckow.aleks2012@yandex.ru

КАРЦЕВ СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент³

E-mail: vodra15426378@gmail.com

¹ Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина; 302019, ул. Генерала Родина, 69, Орел, Российская Федерация² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, ул. Тимирязевская, 49, Москва, Российская Федерация³ Институт машиноведения имени А.А. Благонравова РАН; 101990, Малый Харитоньевский переулок, 4, Москва, Российская Федерация

Актуальной задачей при восстановлении деталей методом электродуговой металлизации (ЭМ) является повышение адгезионной прочности напыляемых покрытий. Цель исследования заключается в обосновании факторов, позволяющих увеличить значение адгезионной прочности напыляемых ЭМ-покрытий, – предварительной подготовки поверхности, нанесения подслоя, выбора режимов ЭМ и аэрозольного флюсования (АФ). В работе представлены методики исследования скорости частиц напыляемого металла, адгезионной прочности и износостойкости электрометаллизационных покрытий (ЭМ-покрытий), а также результаты исследования скорости частиц напыляемого металла в зависимости от дистанции металлизации, влияние методов предварительной подготовки и аэрозольного флюсования на адгезионную прочность покрытий, нанесённых методом электродуговой металлизации на сталь 18ХГТ. Приведены методика и результаты исследований износостойкости ЭМ-покрытий, полученных методом ЭМ с применением АФ в ремонтном производстве. Установлено, что наибольшая скорость частиц напыляемого материала достигается при дистанции металлизации 140 мм. Показано, что для стальных покрытий с высокой твёрдостью предпочтительным методом предварительной подготовки является струйная обработка корундом. Установлено, что при напылении ЭМ-покрытий проволокой Св-08Г2С значение адгезионной прочности напыляемого покрытия возрастает. Применение АФ позволяет увеличить износостойкость пары трения с ЭМ-покрытием, полученным напылением проволоки Св-08Г2С, в 1,2 раза, в сравнении с парой трения с ЭМ-покрытием, полученным на проволоке 50ХФА, и в 1,4 раза в сравнении с эталонной парой трения. Результаты исследования позволяют рекомендовать в ремонтном производстве ЭМ-покрытия, нанесённые с применением АФ при восстановлении и упрочнении стальных деталей различного назначения.

Ключевые слова: электродуговая металлизация, адгезионная прочность, износостойкость, напыляемое покрытие, аэрозольное флюсование, электрометаллизационные покрытия, восстановление деталей.

Формат цитирования: Коломейченко А.В., Кравченко И.Н., Логачёв В.Н., Измалков А.А., Карцев С.В. Анализ факторов, влияющих на адгезионную прочность электрометаллизационных покрытий // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. N 4(92). С. 35-41. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-4-35-41.

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE ADHESIVE STRENGTH OF ELECTROMETALLIZING COATINGS**ALEKSANDR V. KOLOMEYCHENKO**, DSc (Eng), Professor¹

E-mail: kolom_sasha@inbox.ru

IGOR N. KRAVCHENKO, DSc (Eng), Professor²

E-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

VLADIMIR N. LOGACHEV, PhD (Eng), Associate Professor¹

E-mail: logvovan@mail.ru

ALEKSANDR A. IZMALKOV, postgraduate student¹

E-mail: izmalckow.aleks2012@yandex.ru

SERGEY V. KARTSEV, PhD (Eng), Associate Professor³

E-mail: vodra15426378@gmail.com

¹ Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin; 302019, Generala Rodina Str., 69, Orel, Russian Federation

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127550, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, Russian Federation

³ Institute of Machine Science named after A.A. Blagonravov at the Russian Academy of Sciences, 101990, Kharitonievskiy Pereulok Str., 4, Moscow, Russian Federation

Increasing adhesion strength of coated surfaces with the method of electric arc metallization (EM) is an important task in the restoration of machine parts. The study aims at determining the factors allowing to increase the adhesion strength of deposited EM coatings due to the preliminary surface preparation – applying an underlayer, selecting EM and the aerosol fluxing (AF) modes). The paper presents methods for studying the speed of sprayed metal particles, adhesive strength and wear resistance of EM coatings, as well as the study results of the speed of sprayed metal particles depending on the metallization distance, the effect of preliminary preparation methods and aerosol fluxing on the adhesion strength of coatings applied to steel 18 XГТ by the EM method. The paper presents methods and results of wear resistance study of EM coatings, which are of interest to determine a possibility of using coatings obtained by the EM method with the AF application in the repair industry. It has been established that the highest speed of sprayed material particles is achieved at a metallization distance of 140 mm. It has been shown that blasting with corundum is the preferred method of pretreatment for steel coatings with high hardness. It has been found that deposition of EM coatings with wire Св-08Г2С increases the sprayed coating adhesion strength. The use of AF allows to increase the wear resistance of a friction couple with an EM coating obtained by spraying the Св-08Г2С wire in 1.2 times, as compared to a friction couple with an EM coating obtained using a 50ХФА wire and in 1.4 times as compared to a reference friction couple. The research results allow to recommend the application of the EM coatings deposited using AF in the repair industry for restoring and strengthening steel parts to be used for various purposes.

Key words: electric arc metallization, adhesive strength, wear resistance, sprayed coating, aerosol fluxing, electrometallization coatings, restoration of machine parts.

For citation: Kolomeychenko A.V., Kravchenko I.N., Logachev V.N., Izmalkov A.A., Kartsev S.V. Analysis of factors influencing the adhesive strength of electrometallizing coatings. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019; 4(92): 35-41. (In Rus.). DOI: 10.34677/1728-7936-2019-4-35-41.

Введение. Электродуговая металлизация (ЭМ) является одним из доступных и часто применяемых методов восстановления деталей [1-3]. Сущность метода электродуговой металлизации заключается в нанесении покрытий струей сжатого воздуха с помощью электропроводных расходных проволок, между которыми возбуждается дуговой разряд, а струя газа переносит частицы расплавленного металла на обрабатываемую поверхность.

Технология используется для восстановления широкой номенклатуры деталей, а также для предохранения от коррозии конструкций различного назначения [4-6]. Восстановление изношенных деталей методом ЭМ обеспечивает высокую производительность при напылении покрытий. Однако ЭМ присущ такой недостаток, как относительно низкая прочность сцепления (адгезионная прочность) напыляемого покрытия с основанием [7].

Прочность сцепления покрытия с подложкой является основным свойством, лимитирующим применимость метода ЭМ для восстановления деталей. Низкую адгезионную прочность можно повысить за счёт предварительной подготовки поверхности, нанесения подслоя, выбора режимов ЭМ, аэрозольного флюсования и т.д.

Адгезионную прочность можно повысить за счёт нанесения на напыляемую поверхность подслоя из таких тугоплавких металлов, как молибден и никель [8, 9].

При попадании частиц молибдена с температурой выше 2500°С на поверхность детали происходит точечная их приварка к основному металлу. Молибден способен прочно соединиться с подложкой, а получающиеся при этом микронеровности на поверхности обеспечивают повышение прочности сцепления с последующим напыляемым слоем. Недостатком нанесения подслоя является увеличение трудоёмкости и удорожание процесса ЭМ.

Прочность сцепления ЭМ-покрытия с основанием также зависит от толщины напыленного слоя и геометрической формы напыляемой поверхности.

При напылении на замкнутые наружные цилиндрические поверхности внутренние напряжения в покрытии способствуют повышению прочности сцепления.

На прочность сцепления значительное влияние также оказывают электрические параметры работы металлизатора [10]. Чрезмерно малое напряжение и ток на дуге приводят к неустойчивой работе аппарата. Увеличение же тока или напряжения приводят к увеличению мощности и возрастанию количества тепловой энергии, выделяющейся при плавлении металла, а это приводит к возрастанию температуры дуги и частиц металла, что способствует увеличению выгорания элементов и возрастанию внутренних напряжений в покрытии. Прочность сцепления покрытия с основанием снижается [11, 12, 13]. Всё это

свидетельствует о необходимости подбора для каждого материала оптимальных электрических режимов работы металлизатора.

Прочность сцепления покрытия с основанием зависит и от параметров газового потока, используемого для распыления металла. Вид газа, в основном, влияет на окисляемость металла; расход газа влияет на качество распыла и скорость охлаждения покрытия [14, 15].

Еще одним фактором, влияющим на адгезионную прочность напыляемых покрытий, является степень окисления диспергированного металла. Из-за высокой степени окисления металла в напыляемом покрытии образуется большое количество окислов, вследствие чего покрытие получается менее плотным, с высокой пористостью и низкой прочностью сцепления покрытия с основанием.

Для решения данной проблемы можно использовать аэрозольное флюсование при ЭМ. Его сущность заключается в том, что в факел диспергированного металла вводится аэрозоль, представляющий собой водный раствор неорганических веществ [16]. Жидкая фаза аэрозоля, при высокой температуре электрической дуги, диссоциирует с образованием газообразных составляющих и оказывает защитное или раскисляющее действие. Для определения влияния АФ на адгезионную прочность и износостойкость электрометаллизационных покрытий, а также установления дистанции металлзации с наибольшей скоростью частиц напыляемого металла были проведены исследования, результаты которых представлены в данной статье.

Цель исследования – разработка и применение эффективных методов нанесения электрометаллизационных покрытий для повышения ресурса изношенных деталей различного функционального назначения.

Материалы и методы. Нанесение ЭМ-покрытий проводилось электродуговым металлизатором ЭДМ-9ШД на поверхность из стали 18ХГТ (ГОСТ 4543). Для формирования покрытий методом ЭМ с АФ применялся гидродиспергатор. В качестве материалов для напыления использовалась проволока Св-08ГС (ГОСТ 2246), 50ХФА (ГОСТ 14959), флюс, содержащий кальцинированную соду Na_2CO_3 (42 г/л), криолит Na_3AlF_6 (6 г/л) и тетраборат натрия $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (12 г/л) [5, 6, 17]. Покрытия наносились при следующих режимах ЭМ: диаметр проволоки – 2,0 мм, сила тока – 180 А, напряжение – 25...27 В, скорость

подачи проволоки – 12...13 м/мин, давление воздуха – 0,60...0,65 МПа, расход раствора для АФ – 10 мл/мин.

Определение скорости частиц проводилось с помощью измерителя скорости светящихся объектов ИССО-1. Действие прибора основано на принципе вращающегося зеркала. Ось вращения зеркала устанавливается параллельно оси металлизационной струи. В этом случае на проекцию скорости частиц накладывается перпендикулярная к ней компонента, пропорциональная частоте вращения зеркала. В случае движения частиц с постоянной скоростью её трек представляет прямую линию.

Значение скорости частиц определялось из выражения:

$$W = V_p \cdot ctga,$$

где V – линейная скорость вращения зеркального цилиндра, м/с; a – угол между осью струи и треком частицы.

Изменение скорости вращения зеркального цилиндра в приборе обуславливало формирование параллельности треков светящихся частиц и контрольных линий с фиксированными углами, видимых в окуляр прибора. Величина скорости отсчитывалась по стрелочному индикатору.

Для исследования адгезионной прочности были выбраны наиболее распространенные методы подготовки поверхности под ЭМ [8, 18]: пескоструйная обработка кварцевым песком, струйная обработка корундом, нарезание «рваной» резьбы, электроподготовка поверхности. Адгезионная прочность ЭМ-покрытий определялась штифтовым способом на универсальной разрывной машине Р-1,5. Сущность данного метода заключается в установлении величины разрушающего усилия при вытягивании штифта в направлении по нормали к его торцевой поверхности, на которую нанесено ЭМ-покрытие. Образец (рис. 1) представляет собой штифт и шайбу с захватным устройством в виде отверстия.

Сравнительные испытания пар трения на износостойкость проводились на машине трения 2070 СМТ-1 по известной методике по типу «ролик-колодка». Сам ролик (образец) (рис. 2б) Ø50 мм был изготовлен из стали 18ХГТ по ГОСТ 4543 (материал шестерни шестерённого насоса НШ-32А), на который наносили ЭМ-покрытие без АФ или ЭМ-покрытие с АФ, а колодка (контробразец) (рис. 2а) высотой 10 мм – из алюминиевого сплава, использующегося для изготовления поджимной и подшипниковой обойм шестерённого насоса НШ-32А.

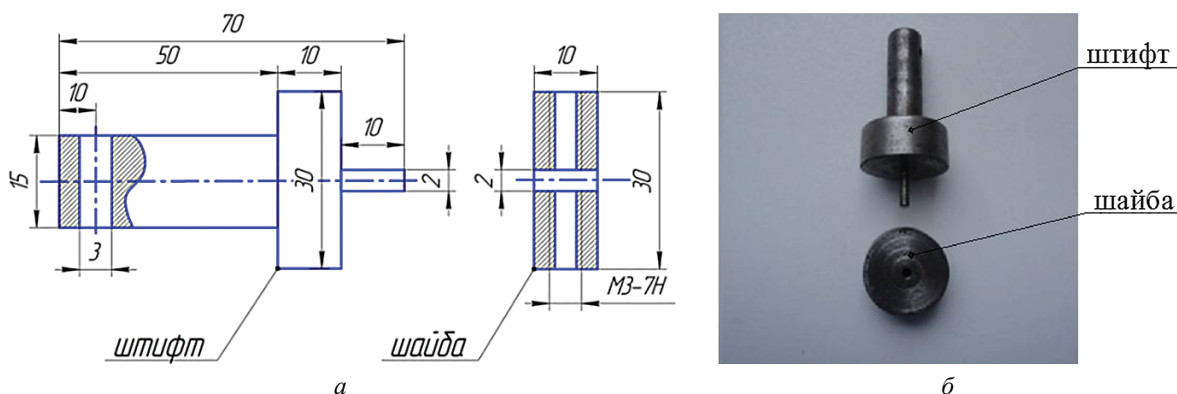


Рис. 1. Образец для исследования адгезионной прочности ЭМ-покрытий:
а – схема; б – общий вид

Fig. 1. A sample for the study of the adhesion strength of EM coatings:
а – a scheme; б – general view

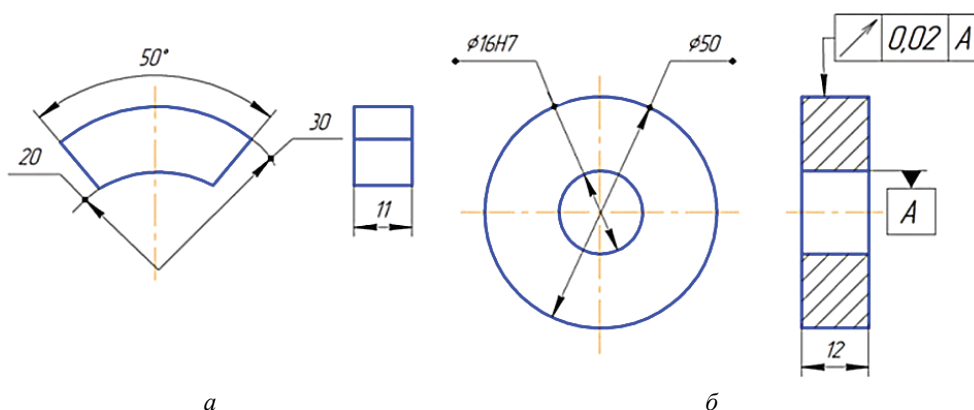


Рис. 2. Общий вид образцов для испытаний на изнашивание:
а – контрообразец; б – образец

Fig. 2. General view of the samples for wear tests:
a – a counter-sample; b – a sample

Скорость вращения ролика при испытаниях составляла 380 мин⁻¹, что обеспечивало скорость скольжения пары трения 0,8 м/с. Нагрузка на колодку составляла 2 МПа. В качестве смазочного материала использовалось масло Shell HF-E ISO 15; подача смазки – разовая в картер.

Результаты и обсуждение. Прочность сцепления покрытия с основанием зависит от дистанции напыления и скорости движения частиц перед ударом [19]. Увеличение скорости полёта частиц способствует более глубокому проникновению их в микронеровности на поверхности, разрушению окисной пленки и более тесному контакту молекул материалов покрытия и основания, что усиливает адгезионную и химическую связи.

На рисунке 3 представлены результаты измерения скорости частиц напыляемого металла (материал Св-08Г2С) от дистанции металлизации.

Результаты анализа графика (рис. 3) показывают, что для получения максимальной адгезионной прочности ЭМ-покрытий оптимальная дистанция для напыления должна быть 140 мм, так как в этих условиях достигается наибольшая скорость напыляемых частиц. В связи с этим при проведении дальнейших исследований покрытия на образцы наносились с дистанции 140 мм.

Адгезионная прочность является одной из основных характеристик, определяющей эксплуатационные свойства различных покрытий и в значительной мере влияющих на долговечность рабочих поверхностей

деталей. Основным условием, необходимым для прочностного сцепления покрытия с основанием, является поверхностная активность, которая в значительной степени зависит от характера шероховатости поверхности и способа его получения [9, 16]. Установленные диапазоны значений прочности сцепления при напылении покрытий на подготовленные различными способами поверхности из стали 18ХГТ (ГОСТ 4543) приведены в таблице.

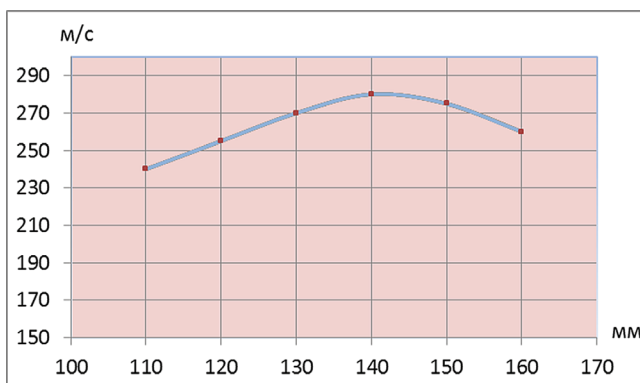


Рис. 3. Изменение скорости напыляемого металла от дистанции металлизации

Fig. 3. Changing the speed of the sprayed metal depending on the metallization distance

Прочность сцепления покрытий с основанием из стали 18ХГТ (ГОСТ 4543) при различных способах подготовки поверхности

Adhesion strength of coatings with a base of steel 18 ХГТ (GOST 4543) with various surface preparation methods

Напыляемый металл	Прочность сцепления, МПа при подготовке поверхности			
	пескоструйная обработка кварцевым песком	струйная обработка корундом	нарезание «рваной» резьбы	электро-обработка
Проволока сварочная Св-08Г2С	19,8...22,9	27,1...29,6	28,3...30,5	19,4...22,5
Проволока наплавочная 50ХФА	24,7...28,4	37,1...41,3	48,3...51,7	17,5...20,5
Проволока сварочная Св-08ГС + АФ	28,7...31,3	48,6...52,2	58,3...60,4	30,6...33,1

Из данных таблицы следует, что наилучшие показатели адгезионной прочности были получены после струйной обработки корундом и нарезании «рваной» резьбы. Необходимо также отметить, что аэрозольное флюсование позволяет улучшить адгезионную прочность электрометаллизационных покрытий.

В качестве метода предварительной подготовки поверхности образцов для испытаний на износостойкость

применялась струйная обработка корундом, так как материал (сталь 18ХГТ по ГОСТ 4543) имеет высокую твердость и нарезание «рваной» резьбы на данном материале является достаточно трудоёмким и затратным процессом.

Для применения ЭМ-покрытий с АФ в ремонтном производстве наибольший интерес представляют результаты испытаний на изнашивание подвижных соединений с покрытиями данного типа (рис. 4).

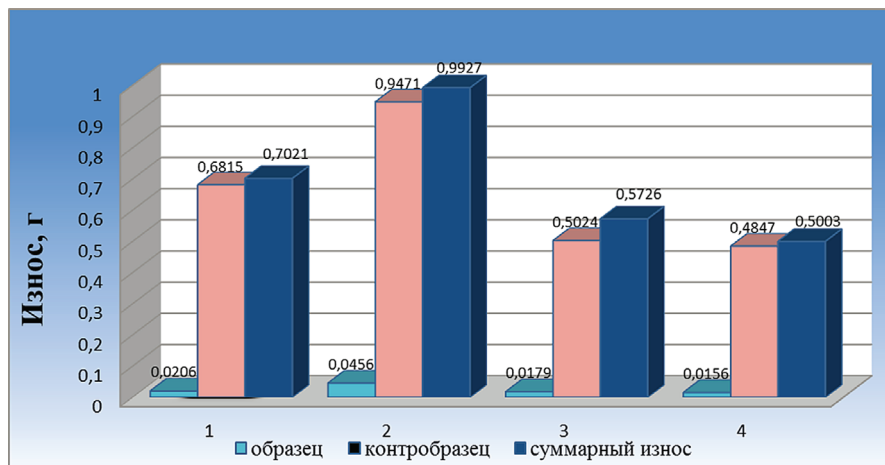


Рис. 4. Общий износ испытываемых пар трения при продолжительности испытаний 50 ч:
1 – сталь 18ХФА (эталон); 2 – Св-08Г2С (ГОСТ 4543); 3 – 50ХФА (ГОСТ 14959);
4 – Св-08Г2С (ГОСТ 2246) + флюс Na_2CO_3 , Na_3AlF_6 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$; контрольобразцы – алюминиевый сплав

Fig. 4. Total wear of the tested friction couples with a test duration of 50 hours:
1-18ХФА steel (reference); 2 – Св-08Г2С (GOST 4543); 3 – 50ХФА (GOST 14959);
4 – Св-08Г2С (GOST 2246) + flux Na_2CO_3 , Na_3AlF_6 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$; counter-samples – aluminum alloy

Анализ результатов исследований показывает (рис. 4), что пара трения с покрытием, полученным из проволоки Св-08Г2С (ГОСТ 2246) с применением аэрозольного флюсования, имеет износ в 1,4 раза меньше, в сравнении с парой трения, принятой за эталон, и в 1,2 раза меньше, чем покрытия, полученные с использованием проволоки 50ХФА (ГОСТ 14959).

Покрытия, полученные методом аэрозольного флюсования с применением флюса Na_2CO_3 , Na_3AlF_6 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, обладают не только высокой адгезионной прочностью и хорошей износостойкостью, но и позволяют снизить потребность в дорогих высоколегированных и специальных порошковых проволочных материалах для электродуговой металлизации за счёт применения недорогих материалов.

Выводы

1. Максимальная адгезионная прочность достигается при подготовке стальных поверхностей нанесением «рваной» резьбы, однако для стальных деталей с высокой твердостью оптимальным методом предварительной подготовки является струйная обработка корундом.

2. Исследования по определению максимальной скорости полёта частиц напыляемого металла от дистанции напыления показали, что оптимальной является дистанция 140 мм.

3. Для увеличения адгезионной прочности целесообразно применять метод аэрозольного флюсования

с использованием флюса, содержащего Na_2CO_3 (42 г/л), Na_3AlF_6 (6 г/л), $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (12 г/л), так как его использование обеспечивает высокую адгезионную прочность электрометаллизационных покрытий и износостойкость у пар трения.

4. Полученные электрометаллизационные покрытия могут применяться для восстановления изношенных деталей или устранения производственного брака, в частности, при ремонте или производстве насосов типа НШ.

Библиографический список

- Литовченко Н.Н., Денисов В.И., Воробьев П.А. [и др.]. Восстановление деталей электродуговой металлизацией // Техника в сельском хозяйстве. 2008. № 2. С. 28-32.
- Колomeйченко А.В., Кравченко И.Н., Логачев В.Н. [и др.]. Улучшение физико-механических свойств покрытий, полученных электродуговой металлизацией // Строительные и дорожные машины. 2015. № 7. С. 25-29.
- Толкачев А.А., Денисов В.И., Матюшкин Б.А. Применение электродуговой металлизации для восстановления гильз цилиндров дизельных двигателей сельскохозяйственной техники // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 126. С. 179-182.
- Матюшкин Б.А., Денисов В.И., Толкачев А.А. Технологические особенности электродуговой металлизации в отрасли АПК // Технология машиностроения. 2016. № 10. С. 32-37.

5. Кравченко И.Н., Пузряков А.Ф., Коломейченко А.В. [и др.]. Технологические процессы в техническом сервисе машин и оборудования. М.: ИНФРА-М, 2017. 346 с.
6. Корнеев В.М., Новиков В.С., Кравченко И.Н. [и др.]. Технология ремонта машин / Под ред. В.М. Корнеева. М.: ИНФРА-М, 2018. 314 с.
7. Литовченко Н.Н., Петряков Б.И., Толкачев А.А. [и др.]. Влияние скорости истечения гетерофазного потока на физико-механические свойства электрометаллизационного потока // Сварочное производство. 2013. № 6. С. 43-47.
8. Пузряков А.Ф., Кравченко И.Н., Соколов И.К. [и др.]. Технологии нанесения защитных и износостойких покрытий повышенной прочности: Монография. М.: Изд-во «Эко-Пресс», 2013. 300 с.
9. Logachev V.N., Kolomeichenko A.V., Kuznetsov Yu.A. [et al.]. Aerosol fluxing in electro arc metallization // В сб.: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Ser. «International Scientific-Technical Conference on Innovative Engineering Technologies, Equipment and Materials 2016, ISTC-IETEM 2016». 2017. p. 012049.
10. Борисов Ю.С., Вигилянская Н.В., Демьянов И.А. [и др.]. Исследование влияния режимов электродугового напыления на структуру и свойства псевдосплавных покрытий // Автоматическая сварка. 2013. № 12 (727). С. 11-17.
11. Кравченко И.Н., Пузряков А.Ф., Зубрилина Е.М. [и др.]. Исследования механизмов формирования остаточных напряжений в системе «деталь-покрытие» // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2013. № 4. С. 22-41.
12. Кравченко И.Н., Гладков В.Ю., Москаль О.Я. Оценка влияния температурных условий в процессе напыления на уровень остаточных напряжений и прочность покрытий // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2013. № 8. С. 59-64.
13. Кравченко И.Н., Катаев Ю.В., Коломейченко А.А. Оценка остаточных напряжений и прочности покрытий повышенной толщины при послойном их формировании // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 127. С. 171-175.
14. Соловьев Р.Ю., Воробьев П.А., Литовченко Н.Н. Металлокарбо-термические методы снижения окисления диспергированного металла при электродуговой металлзации // Сварочное производство. 2012. № 3. С. 43-47.
15. Борисов Ю.С., Вигилянская Н.В., Демьянов И.А. [и др.]. Исследование диспергирования разнородных проволоочных материалов в процессе электродугового напыления // Автоматическая сварка. 2013. № 2 (718). С. 25-31.
16. Воробьев П.А., Юсим М.Ю., Литовченко Н.Н. [и др.]. Метод аэрозольного флюсования при электродуговой металлзации // Труды ГОСНИТИ. 2008. Т. 101. С. 201-204.
17. Коломейченко А.В., Логачёв В.Н., Измалков А.А. Целесообразность использования аэрозольного флюсования при электродуговой металлзации // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. № 3(47). С. 62-68.
18. Кузнецов Ю.А., Кравченко И.Н., Сиротов А.В. [и др.]. Исследование адгезии и износостойкости покрытий, сформированных с использованием комбинированной технологии // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2018. № 7. С. 28-33. DOI: 10.31044/1684-2561-2018-0-7-28-33.
19. Гусев В.М., Буклаков А.Г. Влияние воздушного потока на качество электродугового напыления // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2010. Т. 3. С. 34-38.

References

- Litovchenko N.N., Denisov V.I., Vorob'yev P.A. [et al.]. Vosstanovleniye detaley elektrodugovoy metallizatsiyey [Restoration of parts with arc metallization]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*, 2008; 2: 28-32. (In Rus.).
- Kolomeychenko A.V., Kravchenko I.N., Logachev V.N. [et al.]. Uluchsheniye fiziko-mekhanicheskikh svoystv pokrytiy, poluchennykh elektrodugovoy metallizatsiyey [Improving the physical-and-mechanical properties of coatings produced with arc metallization]. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny*, 2015; 7: 25-29. (In Rus.).
- Tolkachev A.A., Denisov V.I., Matyushkin B.A. Primeniye elektrodugovoy metallizatsii dlya vosstanovleniya gil'z tsilindrov dizel'nykh dvigateley sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Use of arc metallization to restore the cylinder liners of diesel engines used in agricultural machinery]. *Trudy GOSNITI*, 2017; 126: 179-182. (In Rus.).
- Matyushkin B.A., Denisov V.I., Tolkachev A.A. Tekhnologicheskiye osobennosti elektrodugovoy metallizatsii v otrasli APK [Technological features of arc metallization in the agricultural sector]. *Tekhnologiya mashinostroyeniya*, 2016; 10: 32-37. (In Rus.).
- Kravchenko I.N., Puzryakov A.F., Kolomeychenko A.V. [et al.]. Tekhnologicheskiye protsessy v tekhnicheskoy servise mashin i oborudovaniya [Technological processes in the technical service of machinery and equipment]. Moscow, INFRA-M, 2017: 346. (In Rus.).
- Korneyev V.M., Novikov V.S., Kravchenko I.N. [et al.]. Tekhnologiya remonta mashin [Machine repair technology]. Pod red. V.M. Korneyeva, Moscow, INFRA-M, 2018: 314. (In Rus.).
- Litovchenko N.N., Petryakov B.I., Tolkachev A.A. [et al.]. Vliyaniye skorosti istecheniya geterofaznogo potoka na fiziko-mekhanicheskiye svoystva elektrometallizatsionnogo potoka [Influence of the outflow velocity of a heterophase flow on the physical-and-mechanical properties of an electro-metallization flow]. *Svarochnoye proizvodstvo*, 2013; 6: 43-47. (In Rus.).
- Puzryakov A.F., Kravchenko I.N., Sokolov I.K. [et al.]. Tekhnologii naneseniya zashchitnykh i iznosostoykikh pokrytiy povyshennoy prochnosti [Technologies of applying protective and wear-resistant coatings of increased strength]. Monografiya, Moscow, Izd-vo "Eko-Press", 2013: 300. (In Rus.).
- Logachev V.N., Kolomeychenko A.V., Kuznetsov Yu.A. [et al.]. Aerosol fluxing in electric arc metallization. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Ser. "International Scientific-Technical Conference on Innovative Engineering Technologies, Equipment and Materials 2016, ISTC-IETEM 2016", 2017; Pp. 012049. (In English)
- Borisov Yu.S., Vigiylanskaya N.V., Dem'yanov I.A. [et al.]. Issledovaniye vliyaniya rezhimov elektrodugovogo napyleniya na strukturu i svoystva psevdospлавnykh pokrytiy [Study of the influence of electric arc spraying on the structure and properties of pseudo-alloy coatings]. *Avtomaticheskaya svarka*, 2013; 12 (727): 11-17. (In Rus.).

11. Kravchenko I.N., Puzryakov A.F., Zubrilina Ye.M. [et. al.]. Issledovaniya mekhanizmov formirovaniya ostatochnykh napryazheniy v sisteme "detal'-pokrytiye" [Studies of the mechanisms of formation of residual stresses in the "part-coating" system]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2013; 4: 22-41. (In Rus.).

12. Kravchenko I.N., Gladkov V.Yu., Moskal' O.Ya. Otsenka vliyaniya temperaturnykh usloviy v protsesse napyleniya na uroven' ostatochnykh napryazheniy i prochnost' pokrytiy [Evaluation of the influence of temperature conditions in the deposition process on the level of residual stresses and the strength of coatings]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2013; 8: 59-64. (In Rus.).

13. Kravchenko I.N., Katayev Yu.V., Kolomeychenko A.A. Otsenka ostatochnykh napryazheniy i prochnosti pokrytiy povyshennoy tolshchiny pri posloynnom ikh formirovanii [Evaluation of residual stresses and the strength of coatings of increased thickness during their layer-by-layer formation]. *Trudy GOSNITI*, 2017; 127: 171-175. (In Rus.).

14. Solov'yev R. Yu., Vorob'yev P.A., Litovchenko N.N. Metallokarbo-termicheskiye metody snizheniya okisleniya dispergirovannogo metalla pri elektrodugovoy metallizatsii [Metal-carbothermic methods for reducing the oxidation of dispersed metal during electric arc metallization]. *Svarochnoye proizvodstvo*, 2012; 3: 43-47. (In Rus.).

15. Borisov Yu.S., Vigilyanskaya N.V., Dem'yanov I.A. [et. al.]. Issledovaniye dispergirovaniya raznorodnykh provolochnykh materialov v protsesse elektrodugovogo napyleniya [Study of the dispersion of dissimilar wire materials in the process of electric arc spraying]. *Avtomaticheskaya svarka*, 2013; 2 (718): 25-31. (In Rus.).

16. Vorob'yev P.A., Yusim M.Yu., Litovchenko N.N. [et. al.]. Metod aerazol'nogo flyusovaniya pri elektrodugovoy metallizatsii [Aerosol fluxing method for arc metallization]. *Trudy GOSNITI*, 2008; 101: 201-204. (In Rus.).

17. Kolomeychenko A.V., Logachov V.N., Izmalkov A.A. Tselesoobraznost' ispol'zovaniya aerazol'nogo flyusovaniya pri elektrodugovoy metallizatsii [Feasibility of using aerosol fluxing during arc metallization]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018; 3 (47): 62-68. (In Rus.).

18. Kuznetsov Yu.A., Kravchenko I.N., Sirotov A.V. [et. al.]. Issledovaniye adgezii i iznosostoykosti pokrytiy, sformirovannykh s ispol'zovaniyem kombinirovannoy tekhnologii [The study of adhesion and wear resistance of coatings formed using the combined technology]. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya*, 2018; 7: 28-33. DOI: 10.31044/1684-2561-2018-0-7-28-33. (In Rus.).

19. Gusev V.M., Buklakov A.G. Vliyaniye vozdušnogo potoka na kachestvo elektrodugovogo napyleniya [Influence of the air flow on the quality of electric arc spraying]. *Upravleniye kachestvom v neftegazovom komplekse*, 2010; 3: 34-38. (In Rus.).

Критерии авторства

Коломейченко А.В., Кравченко И.Н., Логачев В.Н., Измалков А.А., Карцев С.В. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Коломейченко А.В., Кравченко И.Н., Логачев В.Н., Измалков А.А., Карцев С.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 11.03.2019

Опубликована 22.08.2019

Contribution

Kolomeychenko A.V., Kravchenko I.N., Logachev V.N., Izmalkov A.A., Kartsev S.V. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Kolomeychenko A.V., Kravchenko I.N., Logachev V.N., Izmalkov A.A., Kartsev S.V. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on March 11, 2019

Published 22.08.2019