

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 669.054.8

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-4-53-57

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКИ. ЧАСТЬ 1

СЕРОВ АНТОН ВЯЧЕСЛАВОВИЧ✉, канд. техн. наук, доцент¹av_serov@vk.com✉; <https://orcid.org/0000-0001-6114-7354>**ЛАТЫПОВ РАШИТ АБДУЛХАКОВИЧ**, д-р техн. наук, профессор²latipov46@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9988-2765>**БУРАК ПАВЕЛ ИВАНОВИЧ**, д-р техн. наук, доцент³

paveliburak@gmail.com

СЕРОВ НИКИТА ВЯЧЕСЛАВОВИЧ, канд. техн. наук, доцент³n.serov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7676-4344>¹ Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет); 105505, Российская Федерация, г. Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1² Московский политехнический университет; 107203, Российская Федерация, г. Москва, ул. Б. Семеновская, 38³ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. Для развития машиностроения необходимыми являются разработка новых и совершенствование существующих технологий, в том числе упрочнения и восстановления деталей, а также технологий получения функциональных покрытий. Эффективным методом получения функциональных покрытий на рабочих поверхностях деталей различного назначения является электроконтактная приварка (ЭКП). В работе рассматриваются технологические возможности, опыт применения различных материалов, твердость и износостойкость покрытий, получаемых при их электроконтактной приварке. Рассмотрено основное технологическое оборудование и рекомендации по выбору применяемого инструмента. Разработана классификация процессов получения функциональных покрытий методом электроконтактной приварки, учитывающая их физические и технологические особенности, что позволяет осуществить рациональный выбор вида и типа применяемого оборудования, схемы осуществления процесса, присадочных материалов, а также способа интенсификации процесса, исходя из потребностей и возможностей конкретного производства.

Ключевые слова: функциональные покрытия, упрочнение, восстановление, электроконтактная приварка, экологичность, экономичность.

Формат цитирования: Серов А.В., Латыпов Р.А., Бурак П.И., Серов Н.В. Технологические процессы получения функциональных покрытий методом электроконтактной приварки. Часть 1 // *Агроинженерия*. 2022. Т. 24. № 4. С. 53-57. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-53-57>.

© Серов А.В., Латыпов Р.А., Бурак П.И., Серов Н.В., 2022



ORIGINAL PAPER

TECHNOLOGICAL PROCESSES OF OBTAINING FUNCTIONAL COATINGS BY ELECTRICAL CONTACT WELDING. PART 1

ANTON V. SEROV✉, PhD (Eng), Associate Professor¹av_serov@vk.com✉; <https://orcid.org/0000-0001-6114-7354>**RASHIT A. LATYPOV**, DSc (Eng), Professor²latipov46@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9988-2765>**PAVEL I. BURAK**, DSc (Eng), Associate Professor³

paveliburak@gmail.com

NIKITA V. SEROV, PhD (Eng), Associate Professor³n.serov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7676-4344>¹ Bauman Moscow State Technical University, 105505 Russian Federation, Moscow, 2nd Baumanskaya Str., 5, p. 1² Moscow Polytechnic University, 111280, Russian Federation, Avtozavodskaya Str., 16³ Russian Timiryazev State Agrarian University; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

Abstract. Further development of mechanical engineering requires new and improved existing technologies, including hardening and restoration of parts, as well as technologies for obtaining functional coatings. Electrical contact welding is an effective method of obtaining functional coatings on the working surfaces of parts for various purposes. The article considers technological capabilities,

the experience of using various materials, hardness and wear resistance of coatings obtained during with electrocontact welding. The authors consider the main technological equipment and make recommendations on choosing the suitable tools. The article presents a classification of the processes of obtaining functional coatings by electrocontact welding, taking into account their physical and technological features. Based on this classification, one can make a rational choice of the kind and type of equipment to be used, the process algorithm, the filler materials, as well as the means of process intensification based on the needs and capabilities of a particular production process.

Key words: functional coatings, hardening, restoration, electrical contact welding, environmental friendliness, cost-effectiveness.

For citation: Serov A.V., Latypov R.A., Burak P.I., Serov N.V. Technological processes of obtaining functional coatings by electrical contact welding. Part 1. Agricultural Engineering (Moscow), 2022; 24(4): 53-57. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-53-57>.

Введение. Рациональное использование ресурсов, возрастающие требования к экологичности и экономичности производства требуют нового подхода к проектированию технологических процессов изготовления, восстановления и/или упрочнения деталей машин. Высокотехнологичным, экономичным и экологичным методом, позволяющим создавать функциональные покрытия на деталях машин в твёрдой фазе с минимальным термическим влиянием, является электроконтактная приварка. Метод имеет широкие возможности как по номенклатуре материалов, на которые производится приварка (стали, чугуны, цветные сплавы), так и по присадочным материалам [1-5].

Для выбора конкретного метода и способа получения функциональных покрытий важно знать его место в классификации существующих процессов обработки, технологические возможности, оборудование, инструменты и приспособления, применяемые при его осуществлении, а также присадочные материалы и свойства получаемых покрытий.

Цель исследований: проанализировать и упорядочить имеющийся опыт и представить полную классификацию процессов получения функциональных покрытий методом электроконтактной приварки, позволяющую осуществлять выбор оборудования, инструментов, приспособлений и способа интенсификации с учётом технических и экономических возможностей

производства, а также видов и типов применяемых материалов, исходя из твёрдости и износостойкости получаемых покрытий.

Материалы и методы. Для получения покрытий в исследованиях применялись следующие металлические присадочные материалы: стальные ленты толщиной 0,5 мм марок 12Х18Н10Т, 65Г, 50ХФА, У12; ножовочные полотна 11РЗАМЗФ2 толщиной 2 мм и Х6ВФ толщиной 0,63 мм. В качестве промежуточного слоя применялся аморфный ленточный припой марки «Стемет-1301» (16,0 Co; 5,0 Fe; 4,0 Si; 4,0 В; 0,4 Cr; Ni – ост.). Износостойкость образцов определялась на установке ИМ-01 при среднем контактном давлении в зоне трения 0,33 МПа, расходе абразивного материала (частицы кварца размером 0,16...0,32 мм) 7,0 г/мин, длительности испытаний 30 мин. Микротвёрдость измеряли методом Виккерса на микротвердомере METOLAB502. Диапазон нагрузок данного прибора варьируется от 0,049 до 1,96 Н. Твёрдость образцов измеряли по методу шкала N малых нагрузок Супер Роквелла с применением твердомера ТНЗ20 при нагрузке 147 Н (15 кгс).

Результаты и их обсуждение. Классификацию процессов электроконтактной приварки (ЭКП) (рис. 1) можно проводить по физическим и технологическим признакам, применяемому оборудованию, схеме, присадочному материалу (присадочным материалам), форме заготовки, способу интенсификации.

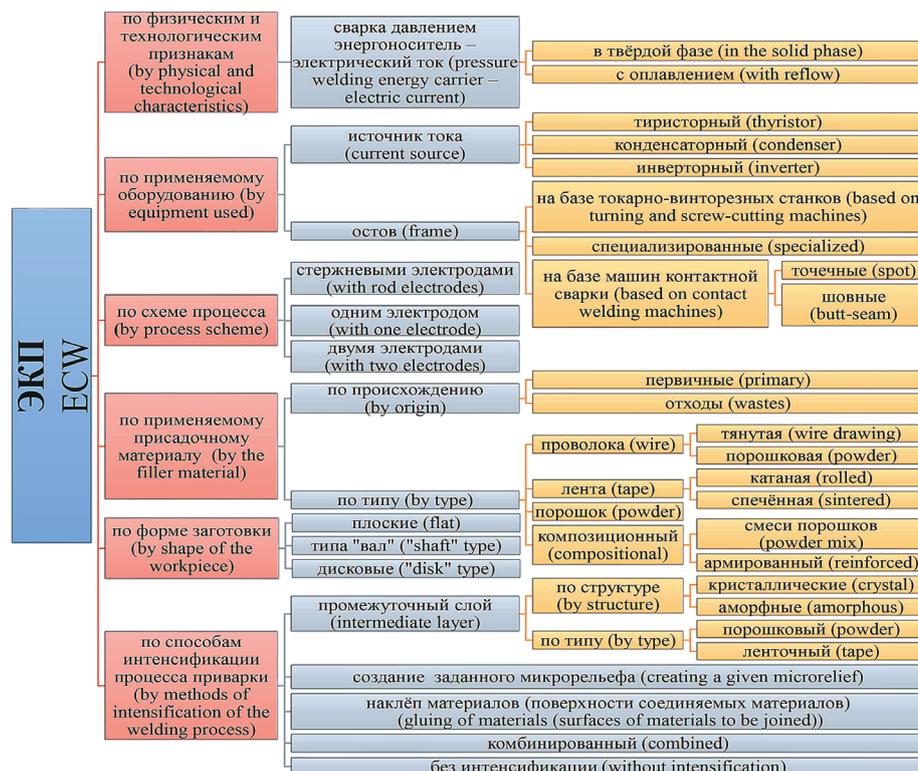


Рис. 1. Классификация процессов электроконтактной приварки
Fig. 1. Classification of electrical contact welding (ECW) processes

Процесс электроконтактной приварки в соответствии с ГОСТ Р ИСО 857-1-2009 «Сварка и родственные процессы» можно отнести к процессам сварки давлением, когда энергонесителем является электрический ток [1-5].

При ЭКП наиболее предпочтительно применять специализированное оборудование (установки), поскольку оно не требует никакой доработки. Возможно использование токарно-винторезных станков, однако требуется их значительная доработка. Также применяется оборудование для точечной и роликовой шовной контактной сварки (манипулирование заготовкой, как правило, происходит вручную) [6].

По количеству и расположению электродов при ЭКП могут использоваться несколько схем: применение стержневых электродов, одного роликового электрода (угол 360°), двух роликовых электродов (двухточечная) под углом 180 и 90° или другой [7]. Существует конструкция, совмещающая в себе роликовые и стержневые электроды, – «Универсальное устройство для шовной и точечной электроконтактной сварки», патент на изобретение № 2397051. При необходимости смещения электродов предложено «Устройство для смещения сварочного электрода при электроконтактной приварке», патент на полезную модель № 103772. Оптимальный диаметр роликовых электродов при ЭКП покрытий на детали с.-х. техники [8] – 300 мм, но чаще применяются роликовые электроды диаметром 150...180 мм [6].

Химический состав присадочных материалов выбирается в зависимости от свойств покрытий, которые необходимо получить при ЭКП в процессе нанесения функционального покрытия и восстановления детали: например, твёрдости [2] и износостойкости [9] (рис. 2, 3).

Для получения покрытий методом ЭКП можно применять различные материалы: металлические ленты и проволоки; однокомпонентные порошки; двух- или многокомпонентные порошковые смеси, состоящие из различных металлических и неметаллических порошков; пасты-лигатуры, приготовленные на связующей основе (глицерине, воде, спирте и т.п.) порошков или механической смеси порошков; совместно порошковой шихты (однокомпонентной или смеси порошков) и пасты-лигатуры; спеченные из порошков ленты; комбинированные материалы (порошковые проволоки и ленты, состоящие из металлической оболочки и порошкового наполнителя, а также ленты, на которых с помощью клея удерживается слой порошка) [6, 10-16].

Кроме того, в качестве присадочных материалов при ЭКП можно использовать отходы машиностроительного производства (или других), например: изношенные (негодные) полотна ножовочных полотен и другого металлорежущего инструмента, отходов шлифования шарикоподшипников (шлам ШХ15) в виде спрессованных лент, порошков, полученных из отходов вольфрамсодержащих твёрдых сплавов электроэрозионным диспергированием [2, 5, 9].

Методом ЭКП можно получать покрытия на плоскостях и телах вращения (цилиндрах, конусах, дисках) [17-18].

Перед приваркой компактных материалов (лент или проволоки), особенно при использовании вторичных материалов, которые могут иметь упрочняющую термическую обработку, необходимо убедиться в том, что не произойдёт их разрушение в процессе приварки на цилиндрическую (коническую) или фасонную поверхность при изгибе в соответствии со следующим условием [7, 19]:

$$\frac{h}{D+h} < \frac{\sigma_{0,05}}{E} + \frac{\delta}{100\%}, \quad (1)$$

где h – толщина (диаметр) присадочного материала, м; D – диаметр (наименьший) восстанавливаемой поверхности, м;

E – модуль упругости Юнга присадочного материала, МПа; $\sigma_{0,05}$ – условный предел упругости присадочного материала, МПа; δ – относительное удлинение присадочного материала, %.

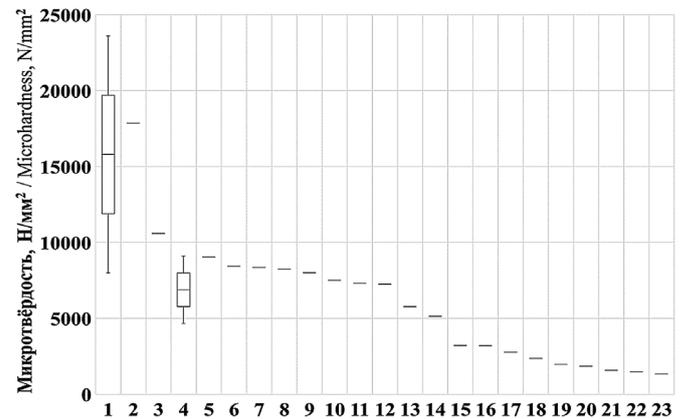


Рис. 2. Микротвёрдость некоторых покрытий, полученных ЭКП:

- 1) ФБХ-6-2 – порошок;
- 2) ПГ-10Н-01 (50%) + ВК25 (50%) – порошок;
- 3) ПГ-С27 – порошок; 4) ПГ-УС25 – порошок;
- 5) 11Р3АМ3Ф2 – полотно; 6) Р18 – проволока;
- 7) Р6М5 – проволока; 8) ШХ15 – порошок;
- 9) 50ХФА – лента; 10) 65Г – проволока; 11) Х6ВФ – полотно;
- 12) ПС-12НВК-01 – порошок; 13) 40 – проволока;
- 14) 30ХГСА – проволока; 15) ПР-НПЧ3 – порошок;
- 16) ПГ-СР2 – порошок; 17) 12Х18Н10Т – лента;
- 18) БрБ2 – проволока; 19) Св-08 – проволока;
- 20) БрКМц3-1 – проволока; 21) 08Х18Н10Т – проволока;
- 22) 08Х18Н9Т – порошок; 23) ПНЭ-1 – порошок

Fig. 2. Microhardness of some coatings obtained by ECW:

- 1) FBH-6-2 – powder; 2) PG-10N-01 (50%) + VK25 (50%) – powder;
- 3) PG-S27 – powder; 4) PG-US25 – powder;
- 5) 11R3AM3F2 – cloth; 6) R18 – wire; 7) R6M5 – wire;
- 8) SHX15 – powder; 9) 50XFA – tape; 10) 65G – wire;
- 11) H6VF – blade; 12) PS-12NVK-01 – powder; 13) 40 – wire;
- 14) 30HGSA – wire; 15) PR-NPCH3 – powder;
- 16) PG-SR2 – powder; 17) 12X18N10T – tape; 18) BrB2 – wire;
- 19) Sv-08 – wire; 20) BRKMTS3-1 – wire; 21) 08X18N10T – wire;
- 22) 08X18N9T – powder; 23) PNE-1 – powder

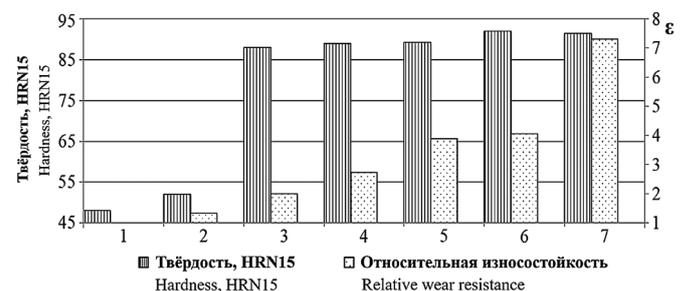


Рис. 3. Относительная износостойкость и твёрдость испытанных образцов:

- 1) Сталь 45; 2 – Сталь 65Г (исходное состояние);
- 3) Сталь 65Г (ЭКУ); 4) Сталь 65Г + покрытие из стали 50ХФА (ЭКП);
- 5) изношенное полотно из стали 11Р3АМ3Ф2;
- 6) Сталь 65Г + покрытие из стали У12 (ЭКП);
- 7) Ст3 + покрытие из изношенного полотна 11Р3АМ3Ф2 (ЭКП)

Fig. 3. Relative wear resistance and hardness of the tested samples:

- 1) 45 steel; 2) 65G steel (initial state); 3) 65G steel (ECW);
- 4) 65G steel + 50XFA steel coating (ECW);
- 5) worn 11R3AM3F2 steel blade;
- 6) 65G steel + U12 steel coating (ECW);
- 7) St3 + 11R3AM3F2 worn blade coating (ECW)

Если неравенство не выполняется, необходимо либо провести разупрочняющую термическую обработку, либо использовать присадочный материал большей толщины (диаметра).

Длину раскроя ленты при приварке определяют с помощью формулы [20]:

$$l = \pi(D + h), \text{ мм}, \quad (2)$$

где h – толщина присадочного материала, мм.

С целью интенсификации процесса применяют промежуточные слои (ленточные и порошковые в кристаллическом или аморфном состоянии) и/или газодинамическую обработку поверхности [17].

Промежуточные слои могут вноситься непосредственно в процессе приварки разными вариантами: нарезанными в размер; полученными предварительно на поверхности детали или присадочного материала гальваническим методом; газодинамическим напылением (дуговой металлацией); в составе спиртового раствора поливинилбутирала; намазываться в пластичном состоянии (технический вазелин, клей) [9].

Наилучшее качество покрытий, получаемых на стальных и чугунных заготовках и деталях, достигалось применением промежуточных слоёв на основе никеля при их холодном газодинамическом напылении на присадочный материал или материал

основы после предварительной газодинамической обработки поверхности корундом или при использовании аморфных лент [18].

Выводы

1. Классификация процессов получения функциональных покрытий методом электроконтактной приварки по основным признакам позволит технологам упростить выбор оборудования, инструментов, приспособлений, способов интенсификации процесса и присадочных материалов при проектировании технологических процессов, основываясь на требуемых свойствах рабочих поверхностей деталей, а также технологических и экономических возможностях производства.

2. Наибольшие значения микротвёрдости и износостойкости функциональных покрытий из сталей, полученных ЭКП, обеспечиваются при применении в качестве присадочного материала изношенных ножовочных полотен, изготовленных из стали марки 11P3AM3Ф2.

3. Сочетание метода холодного газодинамического напыления с пескоструйной обработкой соединяемых поверхностей и использование промежуточных слоёв на основе никеля в аморфном состоянии позволяют максимально интенсифицировать процесс электроконтактной приварки.

Библиографический список

1. Berezshnaya O.V., Gribkov E.P., Kuznestov V.D. Investigation of the thermostressed state coating formation at electric contact surfacing of shaft type parts. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016: 6597317. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/6597317>
2. Латыпов Р.А., Булычев В.В., Бурак П.И., Агеев Е.В. Электроконтактная приварка. Теория и практика. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2016. 371 с. EDN: WGAMTF
3. Berezshnaya O.V., Gribkov E.P., Kassov V.D., Borovik P.V. The finite element modulation of thermostressed state of coating formation at electric contact surfacing of “shaft” type parts. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019; 2019: 38697313. <https://doi.org/10.1155/2019/7601792>
4. Saifullin R.N. Improvement of performance of machine parts by electrocontact welding of composite materials. *Journal of Friction and Wear*, 2007; 28 (2): 206-211.
5. Латыпов Р.А., Серов А.В., Серов Н.В., Игнаткин И.Ю. Утилизация отходов машиностроения и металлургии при упрочнении и восстановлении деталей машин. Ч. 1 // *Металлург*. 2021. № 5. С. 81-87. http://dx.doi.org/10.52351/00260827_2021_05_81
6. Сайфуллин Р.Н., Фархшатов М.Н., Наталенко В.С. Оборудование для восстановления и упрочнения деталей машин // *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2013. № 12 (108). С. 40-47. EDN: RNJMN
7. Серов А.В., Серов Н.В. Назначение и оценка кинематических параметров электроконтактной приварки // *Технология машиностроения*. 2019. № 2. С. 32-37. EDN: SRRESZ
8. Нафиков М.З., Загиров И.И., Сайфуллин Р.Н. Определение размеров ролика для электроконтактной наплавки валов // *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2007. № 2. С. 21-22. EDN: HYZVZR
9. Латыпов Р.А., Серов А.В., Серов Н.В., Игнаткин И.Ю. Утилизация отходов машиностроения и металлургии при упрочнении и восстановлении деталей машин. Ч. 2 // *Металлург*. 2021. № 6. С. 87-92. http://doi.org/10.52351/00260827_2021_06_87
10. Бурак П.И. Способы нанесения промежуточного слоя для электроконтактной приварки // *Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина»*. 2009. № 3 (34). С. 69-72. EDN: KZOGRR
11. Nafikov M.Z. Formalized description of the process of formation of the welded joint in resistance welding of wires. *Welding International*, 2015; 29 (6): 466-470. <https://doi.org/10.1080/09507116.2014.941670>
12. Yunusbaev N.M., Gabitov I.I., Farkhshatov M.N., Nafikov M.Z., Saifullin R.N., Zagirov I.I., Insafuddinov S.Z. Perspective method of restoration of autotractor parts by electrocontact welding of powder materials in the magnetic field. *Tribology in Industry*, 2019; 41(1): 115-125. <https://doi.org/10.24874/ti.2019.41.01.13>

References

1. Berezshnaya O.V., Gribkov E.P., Kuznestov V.D. Investigation of thermostressed state coating formation at electric contact surfacing of shaft type parts. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016: 6597317. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/6597317>
2. Latypov R.A., Bulychev V.V., Burak P.I., Ageev E.V. Elektrokontaktnaya privarka. Teoriya i praktika [Electrocontact welding. Theory and practice]. Kursk, ZAO “Universitetskaya kniga”, 2016. 371 p. (In Rus.)
3. Berezshnaya O.V., Gribkov E.P., Kassov V.D., Borovik P.V. The Finite Element Modulation of Thermostressed State of Coating Formation at Electric Contact Surfacing of “shaft” Type Parts. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019; 2019: 38697313. <https://doi.org/10.1155/2019/7601792>
4. Saifullin R.N. Improvement of performance of machine parts by electrocontact welding of composite materials. *Journal of Friction and Wear*, 2007; 28 (2): 206-211.
5. Latypov R.A., Serov A.V., Serov N.V., Ignatkin I.Y. Utilizatsiya otkhodov mashinostroyeniya i metallurgii pri uprochnenii i vosstanovlenii detaley mashin. Ch. 1 [Disposal of machine-building and metallurgy waste during the hardening and restoration of machine parts. Part 1]. *Metallurg*, 2021; 5: 81-87. http://dx.doi.org/10.52351/00260827_2021_05_81 (In Rus.)
6. Sayfullin R.N., Farkhshatov M.N., Natalenko V.S. Oborudovanie dlya vosstanovleniya i uprochneniya detaley mashin [Equipment for restoration and hardening of machine parts]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya*, 2013; 12 (108): 40-47. (In Rus.)
7. Serov A.V., Serov N.V. Naznachenie i otsenka kinematcheskikh parametrov elektrokontaktnoy privarki [Purpose and evaluation of the kinematic parameters of electrocontact welding]. *Tekhnologiya mashinostroyeniya*, 2019; 2: 32-37. (In Rus.)
8. Nafikov M.Z., Zagirov I.I., Saifullin R.N. Opredelenie razmerov rolika dlya elektrokontaktnoy naplavki valov [Determining the dimensions of the roller for electrocontact welding of shafts]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya*, 2007; 2: 21-22. (In Rus.)
9. Latypov R.A., Serov A.V., Serov N.V., Ignatkin I.Yu. Utilizatsiya otkhodov mashinostroyeniya i metallurgii pri uprochnenii i vosstanovlenii detaley mashin. Ch. 2 [Disposal of machine-building and metallurgy waste during the hardening and restoration of machine parts. Part 2]. *Metallurg*, 2021; 6: 87-92. https://doi.org/10.52351/00260827_2021_06_87 (In Rus.)
10. Burak P.I. Sposoby naneseniya promezhutochnogo sloya dlya elektrokontaktnoy privarki [Methods for applying an intermediate layer for electrocontact welding]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2009; 3 (34): 69-72. (In Rus.)
11. Nafikov M.Z. Formalized description of the process of formation of the welded joint in resistance welding of wires. *Welding International*, 2015; 29 (6): 466-470. <https://doi.org/10.1080/09507116.2014.941670>
12. Yunusbaev N.M., Gabitov I.I., Farkhshatov M.N., Nafikov M.Z., Saifullin R.N., Zagirov I.I., Insafuddinov S.Z. Perspective method of restoration of autotractor parts by electrocontact welding of powder

13. Нафиков М.З., Сайфуллин Р.Н., Зайнуллин А.А. Свойства покрытий, полученных электроконтактной приваркой присадочного материала из стальных проволок // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. № 2(110). С. 38-43. EDN: RVBXP

14. Сайфуллин Р.Н., Фархшатов М.Н., Наталенко В.С., Абдрахманов И.А., Зарипов А.Ф. Свойства покрытий, полученных электроконтактной приваркой металлических порошков // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 113. С. 347-353. EDN: RUACAZ

15. Сайфуллин Р.Н., Фархшатов М.Н., Левин Э.Л., Нафиков М.З., Наталенко В.С., Исламов Л.Ф., Юферев К.В. Свойства покрытий, полученных электроконтактной приваркой присадочных материалов из стальных лент // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. № 3(111). С. 13-16. EDN: RXEXOD

16. Pavlov A., Saifullin R., Farkhshatov M., Fayurshin A., Gaskarov I., Islamov L., Shaymukhametova D. Study of part restoration modes using electrocontact welding with gauze filler materials. *International Journal on Engineering Applications*, 2021; 9(2): 62-70. 46063943 <https://doi.org/10.15866/irea.v9i2.19511>

17. Бурак П.И. Интенсификация электроконтактной приварки лент при восстановлении деталей: Монография. М.: Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина, 2012. 330 с. EDN: RWICPP

18. Васенов М.О. Повышение экономичности получения функциональных покрытий на деталях с.-х. машин методом электроконтактной приварки // Сборник студенческих научных работ по материалам докладов 72-й Международной студенческой научно-практической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения А.Г. Дояренко. 2019. С. 7-10. EDN: TLLEBZ

19. Латыпов Р.А., Бахмудкадиев Н.Д., Булычев В.В. Расчетно-экспериментальная оценка распределения поля температур, скоростей охлаждения и структуры при электроконтактной приварке стальной ленты к цилиндрическим деталям // Международный научный журнал. 2014. № 4. С. 82-89. EDN: SYMVQX

materials in the magnetic field. *Tribology in Industry*, 2019; 41(1): 115-125. <https://doi.org/10.24874/ti.2019.41.01.13>

13. Nafikov M.Z., Saifullin R.N., Zainullin A.A. Svoystva pokrytiy, poluchennykh elektrokontaktnoy privarkoy prisadochnogo materiala iz stal'nykh provolok [Properties of coatings obtained by electrocontact welding of filler material from steel wires]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya*, 2014; 2(110): 38-43. (In Rus.)

14. Saifullin R.N., Farkhshatov M.N., Natalenko V.S., Abdrakhmanov I.A., Zariyov A.F. Svoystva pokrytiy, poluchennykh elektrokontaktnoy privarkoy metallicheskikh poroshkov [Properties of coatings obtained by electrocontact welding of metal powders]. *Trudy GOSNITI*, 2013; 113: 347-353. (In Rus.)

15. Saifullin R.N., Farkhshatov M.N., Levin E.L., Nafikov M.Z., Natalenko V.S., Islamov L.F., Yuferev K.V. Svoystva pokrytiy, poluchennykh elektrokontaktnoy privarkoy prisadochnykh materialov iz stal'nykh lent [Properties of coatings obtained by electrocontact welding of filler materials from steel tapes]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya*, 2014; 3(111): 13-16. (In Rus.)

16. Pavlov A., Saifullin R., Farkhshatov M., Fayurshin A., Gaskarov I., Islamov L., Shaymukhametova D. Study of part restoration modes using electrocontact welding with gauze filler materials. *International Journal on Engineering Applications*, 2021; 9(2): 62-70. 46063943 <https://doi.org/10.15866/irea.v9i2.19511>

17. Burak P.I. Intensifikatsiya elektrokontaktnoy privarki lent pri vosstanovlenii detaley: Monografiya [Intensification of electrical contact welding of tapes during the restoration of parts. Monograph]. Moscow, Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin, 2012. 330 p. (In Rus.)

18. Vasenov M.O. Povyshenie ekonomichnosti polucheniya funktsional'nykh pokrytiy na detalyakh s.-kh. mashin metodom elektrokontaktnoy privarki [Increasing the efficiency of obtaining functional coatings on the parts of agricultural machines by electric contact welding]. In: *Sbornik studencheskikh nauchnykh rabot po materialam dokladov 72-y Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 145-letiyu so dnya rozhdenii A.G. Doyarenko*. 2019: 7-10. (In Rus.)

19. Latypov R.A., Bakhmudkadiyev N.D., Bulychev V.V. Raschetno-eksperimental'naya otsenka raspredeleniya polya temperatur, skorostey okhlazhdeniya i struktury pri elektrokontaktnoy privarke stal'noy lenty k tsilindricheskim detal'y [Computational and experimental evaluation of the separation of the temperature field, cooling rates and structure during electrocontact welding of a steel tape to cylindrical parts]. *Mezhdunarodniy nauchniy zhurnal*, 2014; 4: 82-89. (In Rus.)

Критерии авторства

Серов А.В., Латыпов Р.А., Бурак П.И., Серов Н.В. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Серов А.В., Латыпов Р.А., Бурак П.И., Серов Н.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 15.03.2022

Одобрена после рецензирования 03.06.2022

Принята к публикации 17.06.2022

Contribution

A.V. Serov, R.A. Latypov, P.I. Burak, N.V. Serov performed theoretical studies and, based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. A.V. Serov, R.A. Latypov, P.I. Burak, N.V. Serov 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 article was received 15.03.2022

Approved after reviewing 03.06.2022

Accepted for publication 17.06.2022