

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК / TECHNICAL SERVICE IN AGRICULTURE

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

УДК 621.791: 621.791.9

DOI: 10.34677/1728-7936-2019-6-35-39

МЕТОДИКА НАЗНАЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКИ

СЕРОВ АНТОН ВЯЧЕСЛАВОВИЧ, канд. техн. наук, доцент

E-mail: serov@rgau-msha.ru

СЕРОВ НИКИТА ВЯЧЕСЛАВОВИЧ, канд. техн. наук, доцент

E-mail: spreiz2@inbox.ru

БУРАК ПАВЕЛ ИВАНОВИЧ, докт. техн. наук, профессор

E-mail: pburak@rambler.ru

СОКОЛОВА ВЕРА МИХАЙЛОВНА, ст. преподаватель

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Разработана методика назначения рациональных параметров электроконтактной приварки (ЭКП) для обеспечения качества покрытий на деталях сельскохозяйственных машин при их восстановлении и/или упрочнении. Установлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на качество и свойства покрытий – параметры режима ЭКП: усилие сжатия сварочных электродов, величина сварочного тока, длительность сварочного импульса и длительность паузы, скорость сварки, подача или скорость подачи, расход охлаждающей жидкости. С использованием предлагаемой методики было произведено упрочнение лемеха плуга из стали 65Г ГОСТ 1133-71 нанесением покрытия из стали марки У12А ГОСТ 2283-79. Получены следующие параметры режима ЭКП: величина сварочного тока 6,9 кА, время импульса 0,06 с, продолжительность паузы 0,08 с и расход охлаждающей жидкости 1,8 л/мин, коэффициент перекрытия сварочных точек в ряду 0,635, коэффициент перекрытия сварочных точек между рядами 0,76, площадь покрытия привариваемого за импульс 6,49 мм², скорость сварки 0,986 м/мин и максимальная производительность процесса ЭКП 22,48 см²/мин. При этом твёрдость полученных покрытий составила 60...62 НRC₃, а относительная износостойкость более чем в 4 раза выше, чем у стали 45 (180 НВ). Экспериментально подтверждена целесообразность применения разработанной методики назначения рациональных параметров ЭКП для обеспечения качества покрытий на деталях сельскохозяйственных машин при их восстановлении и/или упрочнении.

Ключевые слова: восстановление, упрочнение, ремонт, электроконтактная приварка, металлическая лента, оптимизация режимов, производительность, коэффициенты перекрытия.

Формат цитирования: Серов А.В., Серов Н.В., Бурак П.И., Соколова В.М. Методика назначения оптимальных режимов электроконтактной приварки // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. № 6(94). С. 35-39. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-6-35-39.

TECHNIQUE OF SELECTING THE OPTIMUM MODES OF ELECTROCONTACT WELDING

ANTON V. SEROV, PhD (Eng), Associate Professor

E-mail: rezonans_demo@mail.ru

NIKITA V. SEROV, PhD (Eng), Associate Professor

E-mail: spreiz2@inbox.ru

PAVEL I. BURAK, DSc (Eng), Professor

E-mail: pburak@rambler.ru

VERA M. SOKOLOVA, Senior Lecturer

Russian Timiryazev State Agrarian University; 127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

The authors developed a technique of selecting rational parameters of electrical contact welding (ECW) to ensure the quality of coatings produced on the parts of agricultural machines during their restoration and/or hardening. They determined factors that have the greatest influence on the quality and properties of coatings – the ECW mode parameters: compression force of welding electrodes, welding current, welding pulse and pause duration, welding speed, material feed, or feed rate, and coolant flow rate. By means of the proposed method, the ploughshare from 65Г steel of GOST 1133-71 was strengthened with coating from Y12A steel of GOST 2283-79. The following parameters of the EPW mode were obtained: a welding current value of 6.9 kA, a pulse time of 0.06 s, a pause duration of 0.08 s, and a coolant flow rate of 1.8 l/min, the overlap coefficient of weld spots in a row of 0.635, the overlap coefficient of weld spots between rows of 0.76, the coating area welded per pulse of 6.49 mm², a welding speed of 0.986 m/min and the maximum performance of the ECW process of 22.48 cm²/min. The hardness of the obtained coatings was 60...62 HRC₃, and the relative wear resistance was more than 4 times higher than that of steel 45 (180 HB). The study has experimentally confirmed the feasibility of using the developed technique for selecting rational EPW parameters to ensure the quality of coatings produced on the parts of agricultural machines during their restoration and/or hardening.

Key words: restoration, hardening, repair, electrical contact welding, metal strip, optimization of modes, performance, overlap coefficients.

For citation: Serov A.V., Serov N.V., Burak P.I., Sokolova V.M. Technique of selecting the optimum modes of electrocontact welding. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019; 6(94): 35-39. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-6-35-39 (In Rus.).

Введение. Электроконтактная приварка (ЭКП) является перспективным и универсальным способом восстановления и упрочнения, а также получения функциональных покрытий на деталях сельскохозяйственных машин [1].

На процесс электроконтактной приварки, а следовательно, на качество и свойства получаемых покрытий влияет множество различных факторов [2-7].

Начальными условиями при нанесении функционального покрытия методом ЭКП на заготовки и детали, подлежащие восстановлению и/или упрочнению, являются материал основы и его геометрические параметры.

Химический состав присадочного материала зависит от свойств покрытий, которые необходимо получить при ЭКП в процессе нанесения функционального покрытия и/или восстановления детали [8-11]. Промежуточный слой может применяться для снижения химической неоднородности в зоне соединения и остаточных напряжений, компенсации различия в значениях коэффициентов линейного теплового расширения соединяемых материалов, снижения степени пластической деформации соединяемых материалов и основных параметров режима ЭКП при одновременном обеспечении высокой прочности соединений. Выбор промежуточного слоя и его толщины осуществляется в зависимости от материала основы и выбранного присадочного материала [5-6].

Факторами, оказывающими наибольшее влияние на качество и свойства покрытий, являются параметры режима ЭКП [2-6]: усилие сжатия сварочных электродов P , величину сварочного тока $J_{св}$, длительность сварочного импульса $t_{и}$ и длительность паузы $t_{п}$, скорость сварки $v_{св}$ (при этом в случае ЭКП тел вращения, под скоростью сварки следует понимать окружную скорость, которая задаётся частотой вращения детали n , а для плоских деталей скорость продольной подачи детали относительно электрода (или наоборот)), подача или скорость подачи S , расход охлаждающей жидкости G . Одним из показателей, отражающим экономическую эффективность ЭКП, является производительность процесса [12].

Цель исследования – разработка методики назначения рациональных параметров ЭКП, для обеспечения качества покрытий на деталях сельскохозяйственных машин при их восстановлении и/или упрочнении.

Материал и методы. Для достижения поставленной цели был проведён анализ литературных источников. Применён метод математического моделирования.

Результаты и обсуждение. Поскольку за время прохождения импульса тока $t_{и}$ происходит взаимное перемещение электродов и детали $l_{и}$, площадь зоны контакта, через который ток проходит в течение всего времени протекания импульса тока, равна удвоенной площади сегмента отсекаемого общей хордой пересекающихся сварочных точек в начале протекания импульса тока и в его конце (рис 1).

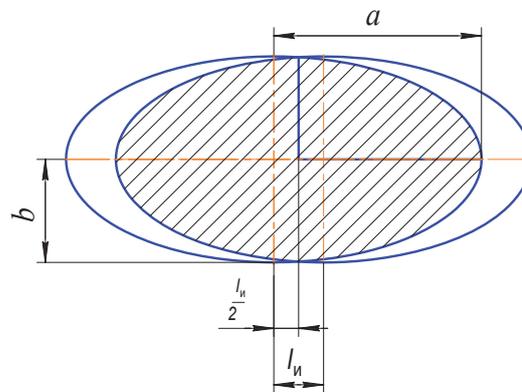


Рис. 1. Геометрические параметры сварочной точки эллиптической формы

Fig. 1. Geometrical parameters of an elliptical weld spot

Для нахождения этой площади, привариваемой за время протекания импульса тока для точки эллиптической формы, необходимо взять определённый интеграл уравнения эллипса от половины расстояния, проходимого электродом $l_{и}$ за время протекания импульса сварочного тока $t_{и}$ до главной полуоси эллипса a .

Запишем уравнение эллипса:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \tag{1}$$

где a и b большая и малая полуоси эллипса, образованного сварочной точкой, мм.

Выразим из уравнения у:

$$y = \sqrt{b^2 \frac{a^2 - x^2}{a^2}} = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2}. \quad (2)$$

Найдём определённый интеграл полученного уравнения:

$$S_{\text{н}} = 4 \frac{b}{a} \left(\frac{a}{2} \sqrt{a^2 - a^2} + \frac{a^2}{2} \sin^{-1} \frac{a}{a} - \frac{l_{\text{н}}}{2} \sqrt{a^2 - \left(\frac{l_{\text{н}}}{2}\right)^2} - \frac{a^2}{2} \sin^{-1} \frac{l_{\text{н}}}{2a} \right). \quad (3)$$

Площадь ленты, через которую ток проходит в течение всего времени протекания сварочного импульса $t_{\text{н}}$, следовательно, площадь с гарантированной прочностью соединения при оптимальных режимах электроконтактной приварки можно найти как:

$$S_{\text{н}} = 4 \frac{b}{a} \left(\frac{\pi a^2}{4} - \frac{l_{\text{н}}}{4} \sqrt{a^2 - \frac{l_{\text{н}}^2}{4}} - \frac{a^2}{2} \sin^{-1} \frac{l_{\text{н}}}{2a} \right). \quad (4)$$

Так на основе вышеприведённого была выведена формула максимальной производительности процесса электроконтактной приварки Q_s с учётом взаимного перемещения электродов и детали за время протекания импульса сварочного тока, и как следствие уменьшения площади привариваемой за это время [12]:

$$Q_s = \frac{k_{\text{пн}} d_{\text{т}} k_{\text{пнс}} d_{\text{т}}}{t_{\text{н}} + t_{\text{н}} k_{\text{пн}}} = \frac{k_{\text{пн}} k_{\text{пнс}} d_{\text{т}}^2}{t_{\text{н}} + t_{\text{н}} k_{\text{пн}}} \quad (5)$$

где $d_{\text{т}}$ – диаметр приваренной единичной точки при её круглой форме, или ширина валика приварки ($2b$), мм; $k_{\text{пнс}}$ – коэффициента перекрытия сварочных площадок между рядами приварки; $k_{\text{пн}}$ – коэффициента перекрытия сварочных площадок между соседними точками ряда; $t_{\text{н}}$ – время паузы, с; $t_{\text{н}}$ – время импульса, с.

Для обеспечения полного перекрытия сварочных точек при различных коэффициентах $k_{\text{пн}} \neq k_{\text{пнс}}$, необходимо воспользоваться следующим выражением [12]:

$$1 = \sqrt{k_{\text{пнс}}^2 + k_{\text{пн}}^2}. \quad (6)$$

Для определения значений коэффициентов перекрытия, при которых будет достигнута наибольшая производительность процесса электроконтактной приварки (рис. 2) (при условии обеспечения полного перекрытия сварочных площадок с учётом взаимного перемещения электродов-ролик и детали за период времени импульса), выразим из выражения (6) $k_{\text{пнс}}$ и подставим в выражение (5):

$$Q_s = d_{\text{т}}^2 \frac{k_{\text{пн}} \sqrt{1 - k_{\text{пн}}^2}}{t_{\text{н}} + t_{\text{н}} k_{\text{пн}}}. \quad (7)$$

Для решения поставленной задачи необходимо найти экстремум функции, а следовательно, взять производную полученного выражения по $k_{\text{пн}}$:

$$Q_s' = \left(d_{\text{т}}^2 \frac{k_{\text{пн}} \sqrt{1 - k_{\text{пн}}^2}}{t_{\text{н}} + t_{\text{н}} k_{\text{пн}}} \right)'. \quad (8)$$

После дифференцирования и математических преобразований получим:

$$Q_s' = d_{\text{т}}^2 \frac{(t_{\text{н}} k_{\text{пн}}^3 + 2t_{\text{н}} k_{\text{пн}}^2 - t_{\text{н}})}{(t_{\text{н}} + t_{\text{н}} k_{\text{пн}})^2}. \quad (9)$$

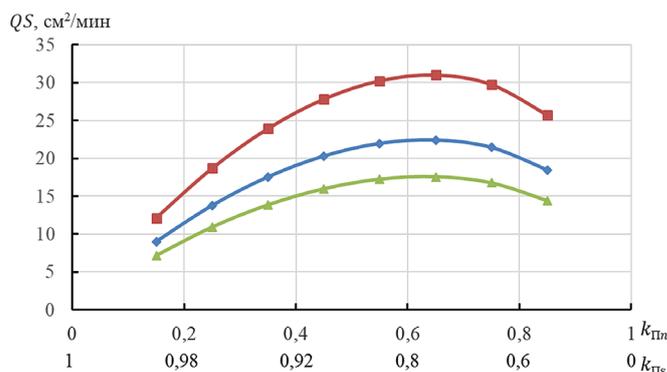


Рис. 2. Зависимость производительности процесса электроконтактной приварки от коэффициентов перекрытия при диаметре сварочной точки 3 мм:

■ – $t_{\text{н}} = 0,04$ и $t_{\text{н}} = 0,06$; ◆ – $t_{\text{н}} = 0,06$ и $t_{\text{н}} = 0,08$;
▲ – $t_{\text{н}} = 0,08$ и $t_{\text{н}} = 0,1$

Fig. 2. Relationship between the performance of electrical welding and the overlap coefficients at a weld spot diameter of 3 mm:

■ – $t_{\text{н}} = 0,04$ и $t_{\text{н}} = 0,06$; ◆ – $t_{\text{н}} = 0,06$ и $t_{\text{н}} = 0,08$;
▲ – $t_{\text{н}} = 0,08$ и $t_{\text{н}} = 0,1$

Производительность процесса электроконтактной приварки будет максимальна при таком значении $k_{\text{пн}}$, при котором производная Q_s' будет равна нулю.

Выражение (9) может быть равно 0, только если числитель дроби равен нулю:

$$t_{\text{н}} k_{\text{пн}}^3 + 2t_{\text{н}} k_{\text{пн}}^2 - t_{\text{н}} = 0. \quad (10)$$

Для решения уравнения (10) воспользуемся программой «Mathcad»:

$$k_{\text{пн}} = \frac{2\sqrt[3]{2}(1 - t_{\text{н}}\sqrt{3})t_{\text{н}}^2}{3\sqrt[3]{-16t_{\text{н}}t_{\text{н}}^3 + 3\sqrt{3}\sqrt{-32t_{\text{н}}^4 - 27t_{\text{н}}^2 - 27t_{\text{н}}t_{\text{н}}}} - \frac{(1 + t_{\text{н}}\sqrt{3})\sqrt[3]{-16t_{\text{н}}t_{\text{н}}^3 + 3\sqrt{3}\sqrt{-32t_{\text{н}}^4 - 27t_{\text{н}}^2 - 27t_{\text{н}}t_{\text{н}}}}}{6\sqrt[3]{2}} + \frac{2t_{\text{н}}t_{\text{н}}}{3}. \quad (11)$$

Продолжительность паузы, необходимая для перекрытия сварочных точек, находится по формуле:

$$t_{\text{н}} = \frac{k_{\text{пн}} d_{\text{т}}}{v_{\text{св}}} - t_{\text{н}} k_{\text{пн}}, \quad (12)$$

где $v_{\text{св}}$ – скорость сварки, м/мин (табл.).

Наиболее рационально усилие сжатия сварочных электродов P при восстановлении детали и/или заготовки диаметров до 50 мм составляет 1,30...1,4 кН, от 50 мм и более – 1,4...1,6 кН [2].

Силу сварочного тока $J_{\text{св}}$ ориентировочно можно найти по формуле [6]:

$$J_{\text{св}} = d_{\text{с}} \sqrt{\frac{T_{\text{к}} \lambda}{\eta_{\text{т}} \rho_{\text{с}}}}, \quad (14)$$

где $d_{\text{с}}$ – диаметр сварочной точки, м; λ – теплопроводность вещества, Вт/(м·К); $T_{\text{к}}$ – температура приварки, К; $\eta_{\text{т}}$ – термический коэффициент полезного действия; $\rho_{\text{с}}$ – удельное электрическое сопротивление, Ом·м.

Скорость сварки

Weld spot

Диаметр детали, мм <i>Diameter of the part, mm</i>	15	20	30	40	50	60	70	80	100	130
Скорость сварки, м/мин <i>Welding speed, m/min</i>	1,22	1,25	1,25	1,32	1,33	1,25	1,33	0,94	0,75	0,71

Время продолжительности импульса t_n сварочного тока находится по формуле [6]:

$$t_n = \frac{F_o \rho c h^2}{\lambda}, \quad (15)$$

где F_o – число Фурье; h – толщина упрочняемой детали, м; t_n – время продолжительности импульса тока, с; c – удельная теплоёмкость вещества, Дж/(кг·К); ρ – плотность вещества, кг/м³.

Расход охлаждающей жидкости влияет на скорость охлаждения материалов, соединяемых ЭКП, соответственно и на процессы фазовых превращений в деталях. Недостаточный расход охлаждающей жидкости приведёт к перегреву детали и электрода. При избыточном расходе охлаждающей жидкости, повышается потребление тепла, необходимого для образования соединения.

Расход охлаждающей жидкости можно найти из уравнения теплового баланса [6]:

$$G = \frac{\alpha F (t_c - t_n)}{ac(t_c - t_n) + (1-a)r} = \frac{\overline{Nu}_{жд} \lambda (t_c - t_n) \pi l}{ac(t_c - t_n) + (1-a)r}, \quad (16)$$

где $\overline{Nu}_{жд}$ – число Нуссельта для плоской детали $\overline{Nu}_{жд} = 0,664 Re_{жд}^{0,5} Pr_{ж}^{0,333} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c}\right)^{0,25}$, а для детали цилиндрической формы $\overline{Nu}_{жд} = 0,5 Re_{жд}^{0,5} Pr_{ж}^{0,38} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c}\right)^{0,25}$; $Pr_{ж}$ и Pr_c – число

Прандтля для жидкости $Pr_{ж} = 9,97$ (при $t_{ж} = 11^\circ\text{C}$) и стенки, $Pr_c = 4,31$ (при $t_c = 40^\circ\text{C}$); $Re_{жд}$ – число Рейнольдса ($Re_{жд}^{0,5} = 500$); α – коэффициент теплоотдачи; F – площадь поверхности теплопередачи, м²; t_c – температура стенки детали, °C; t_n – температура жидкости, °C; a – доля не испарившейся охлаждающей жидкости; t_k – температура охлаждающей жидкости, °C; t_n – температура охлаждающей жидкости начальная, °C; r – теплота парообразования при t_c , Дж/кг.

При упрочнении лемеха плуга из стали 65Г ГОСТ 1133-71 (рис. 3) нанесением покрытия из стали марки У12А ГОСТ 2283-79 с использованием предлагаемой методики были получены следующие параметры режима ЭКП: величина сварочного тока ($J = 6,9$ кА), время импульса ($t_n = 0,06$ с), продолжительность паузы ($t_n = 0,08$ с) и расход охлаждающей жидкости ($G = 1,8$ л/мин), коэффициент перекрытия сварочных точек в ряде ($k_{лн} = 0,635$), коэффициентов перекрытия сварочных точек между рядами ($k_{лс} = 0,76$), площадь покрытия привариваемого за импульс ($S_n = 6,49$ мм²), скорость сварки ($v_{св} = 0,986$ м/мин) и максимальная производительность процесса ЭКП ($Q_S = 22,48$ см²/мин).

При этом твёрдость полученных покрытий составила 60...62 HRC, а относительная износостойкость более чем в 4 раза выше, чем у стали 45 (180 HB).



Рис. 3. Лемехи плуга с приваренной лентой У12А
Fig. 3. Plowshares of a plow with a welded strip U12A

Вывод

Экспериментально подтверждена целесообразность и эффективность применения разработанной методики назначения рациональных параметров ЭКП для обеспечения качества покрытий на деталях сельскохозяйственных машин при их восстановлении и/или упрочнении.

Библиографический список

1. Загиров И.И., Тархова Л.М., Шакиров И.Р. Варианты электроконтактной приварки // Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК: материалы Международной научно-практической конференции в рамках XXVIII Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2018». Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. 2018. С. 52-57.
2. Латыпов Р.А. Электроконтактная приварка. Теория и практика: монография / Р.А. Латыпов, В.В. Булычев, П.И. Бурак, Е.В. Агеев. М.: Университетская книга, 2016. 391 с.
3. Гаскаров И.Р. Исследование свойств покрытий, получаемых электроконтактной приваркой стальной ленты / И.Р. Гаскаров, И.Р. Максютов, В.В. Арсланов, А.В. Арсланов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (48). С. 123-128. DOI: 10.31563/1684-7628-2018-48-4-123-128.
4. Нафиков М.З. Рациональные режимы формирования металлопокрытия контактной приваркой двух присадочных проволок / М.З. Нафиков, Р.Г. Ахмаров, И.Р. Ахметьянов, И.И. Загиров, А.Ю. Коннов, Л.М. Тархова, Р.Ф. Масягутов // Электротехнология. 2019. № 7. С. 25-32. DOI: 10.31044/1684-5781-2019-0-7-25-32.
5. Burak P.I., Serov A.V., Latypov R.A. Optimization of the process of electric resistance welding of metallic strips through an amorphous solder // Welding international.

Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2012. № 10 (26). С. 814-818. DOI: 10.1080/09507116.2011.653168.

6. Бурак П.И., Серов А.В. Методика определения параметров электроконтактной приварки компактных материалов через аморфную ленту // Международный научный журнал. 2011. Вып. 2. С. 81-86.

7. Серов Н.В., Бурак П.И., Серов А.В. Технология упрочнения лемехов плуга электроконтактной приваркой // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 121. С. 287-290.

8. Фомин А.И. Влияние параметров режима электроконтактной приварки ленты на предел выносливости коленчатых валов // Сельский механизатор. 2018. № 11. С. 46-47.

9. Бурак П.И., Серов А.В. Материалы, рекомендованные для электроконтактной приварки // Труды ГОСНИТИ. М.: ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии, 2010. Т. 105. С. 176-180.

10. Серов А.В., Бурак П.И., Латыпов Р.А., Серов Н.В. Функциональные покрытия в сельскохозяйственном машиностроении // Международный научный журнал. 2014. Вып. 6. С. 71-77.

11. Оськин В.А., Серов А.В., Соколова В.М. Электроконтактная приварка как метод получения функциональных покрытий в сельском хозяйстве // Доклады ТСХА: сборник статей. 2016. Вып. 288. С. 252-255.

12. Серов Н.В., Бурак П.И., Серов А.В. Определение технологических параметров электроконтактной приварки при восстановлении и упрочнении плоских поверхностей // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2017. № 1 (77). С. 35-40.

References

1. Zagirov I.I., Tarkhova L.M., Shakirov I.R. Varianty elektrokontaktной приварки [Variants of electrocontact welding]. *Sovremennoye sostoyaniye, traditsii i innovatsionnyye tekhnologii v razvitiy APK: mater. Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf. v ramkakh XXVIII Mezhdunarodnoy spetsializirovannoy vystavki "Agrokompleks-2018"*. Ufa: Bashkirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2018: 52-57. (In Russian)

2. Latypov R.A. Elektrokontaktная приварка. Teoriya i praktika: monografiya [Electrocontact welding. Theory and practice: Monograph] / R.A. Latypov, V.V. Bulychev, P.I. Burak, Ye.V. Ageyev. Moscow, Universitetskaya kniga, 2016: 391. (In Russian)

3. Gaskarov I.R., Maksyutov I.R., Arslanov V.V., Arslanov A.V. Issledovaniye svoystv pokrytiy, poluchayemykh elektrokontaktной приваркой stal'noy lenty [Study of the properties of coatings obtained by electrocontact welding of a steel strip]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarst-*

vennogo agrarnogo universiteta. 2018; 4 (48): 123-128. DOI: 10.31563/1684-7628-2018-48-4-123-128. (In Russian)

4. Nafikov M.Z., Akhmarov R.G., Akhmet'yanov I.R., Zagirov I.I., Konnov A.Yu., Tarkhova L.M., Masyagutov R.F. Ratsional'nyye rezhimy formirovaniya metallopokrytiya kontaktной приваркой dvukh prisadochnykh provolok [Rational modes of metal coating formation by contact welding using two filler wires]. *Elektrometallurgiya*. 2019; 7: 25-32. DOI: 10.31044/1684-5781-2019-0-7-25-32. (In Russian)

5. Burak P.I., Serov A.V., Latypov R.A. Optimization of the process of electric resistance welding of metallic strips through an amorphous solder. *Welding international*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2012; 10 (26): 814-818. DOI: 10.1080/09507116.2011.653168. (In English)

6. Burak P.I., Serov A.V. Metodika opredeleniya parametrov elektrokontaktной приварки kompaktnykh materialov cherez amorfnyuyu lentu [Method of determining the parameters of electrocontact welding of compact materials using an amorphous strip]. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal*. 2011; 2: 81-86. (In Russian)

7. Serov N.V., Burak P.I., Serov A.V. Tekhnologiya uprochneniya lemekhov pluga elektrokontaktной приваркой [Technique of hardening plough shares with electrocontact welding]. *Trudy GOSNITI*. 2015; 121: 287-290. (In Russian)

8. Fomin A.I. Vliyaniye parametrov rezhima elektrokontaktной приварки lenty na predel vynoslivosti kolenchatykh valov [Influence of the electrical contact welding parameters of a strip on the endurance of crankshafts]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2018; 11: 46-47. (In Russian)

9. Burak P.I., Serov A.V. Materialy, rekomendovannyye dlya elektrokontaktной приварки [Materials recommended for electrocontact welding]. *Trudy GOSNITI*. 2010; 105: 176-180. (In Russian)

10. Serov A.V., Burak P.I., Latypov R.A., Serov N.V. Funktsional'nyye pokrytiya v sel'skokhozyaystvennom mashinostroyenii [Functional coatings in agricultural machinery building]. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal*. 2014; 6: 71-77. (In Russian)

11. Os'kin V.A., Serov A.V., Sokolova V.M. Elektrokontaktная приварка kak metod polucheniya funktsional'nykh pokrytiy v sel'skom khozyaystve [Electrocontact welding as a method of producing functional coatings in the farm industry]. *Doklady TSKHA: sbornik statey*. 2016; 288: 252-255. (In Russian)

12. Serov N.V., Burak P.I., Serov A.V. Opredeleniye tekhnologicheskikh parametrov elektrokontaktной приварки pri vosstanovlenii i uprochnenii ploskikh poverkhnostey [Estimating the technological parameters of electrocontact welding used for the recovery and hardening of flat surfaces]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2017; 1 (77): 35-40. (In Russian)

Критерии авторства

Серов А.В., Серов Н.В., Бурак П.И., Соколова В.М. выполнили теоретические исследования, на их основании проведен эксперимент. Серов А.В., Серов Н.В., Бурак П.И., Соколова В.М. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 10.10.2019

Опубликована 20.12.2019

Contribution

Serov A.V., Serov N.V., Burak P.I., Sokolova V.M. performed theoretical studies, and based on them conducted an experiment. Serov A.V., Serov N.V., Burak P.I., Sokolova V.M. have equal author's rights and bearequal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

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

The paper was received on October 10, 2019

Published 20.12.2019