

СВАРКА, РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-3-26-33

УДК 621.791.05:620.179

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНТАКТНОЙ
ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ АРМАТУРНОЙ СЕТКИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ
В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕМЕНТА АНКЕРНОЙ КРЕПИ****IMPROVEMENT OF CONTACT SPOT WELDING TECHNOLOGY OF
REINFORCED NET USED AS ANCHORING ELEMENT****Абабков Николай Викторович,**

кандидат техн. наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»

e-mail: n.ababkov@rambler.ru

Nikolay V. Ababkov,

C.Sc. (Engineering), Associate Professor of Mechanical Engineering Department

Пимонов Максим Владимирович,

старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения»

e-mail: maks130685@yandex.ru

Maksim V. Pimonov,

Senior lecturer of Mechanical Engineering Department

Левашова Елена Евгеньевна,

старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения»

e-mail: petrova.lena-petrova2010@yandex.ru

Elena E. Levashova,

Senior lecturer of Mechanical Engineering Department

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian
Federation**Аннотация:**

Элементы крепления кровли в условиях горнорудных предприятий, а именно арматурные сетки, изготовленные полуавтоматической сваркой в среде защитных газов, имеют высокую себестоимость, поэтому для повышения конкурентоспособности продукции целесообразно применять иные способы сварки. Арматурная сетка, применяемая на рудниках России в качестве элемента анкерной крепи, работает в условиях буровзрывных проходческих работ и испытывает нагрузки, требующие высокого качества сварного соединения. Низкое качество рассматриваемой конструкции может привести к авариям на рудниках и к человеческим жертвам. Применение контактной точечной сварки является предпочтительным как по себестоимости, так и по качеству сварных соединений при усовершенствовании технологического процесса сварки арматурных стержней. При сварке изделий выявлена проблема, которая заключается в снижении механических характеристик стали А500С в зоне термического влияния вследствие недостаточного термического цикла сварки. Для решения данной проблемы предложено применение иных режимов контактной сварки, которые обеспечивают предварительный разогрев электродов. Выполнены испытания сварных соединений, полученных по разным режимам контактной точечной сварки на статическое растяжение, макрографию и твердость. Получены результаты испытаний сварных соединений, полученных по разным режимам контактной точечной сварки на статическое растяжение, макрографию и твердость, свидетельствуют о необходимых прочностных характеристиках сварных соединений.

Ключевые слова: контактная точечная сварка, арматурная сетка, элементы крепления кровли, анкерная крепь, макрография, механические испытания, твердость, крестовое соединение, прочность

Информация о статье: поступило в редакцию 18.04.2021

Abstract:

Roof-fastening elements in mining enterprises, namely, reinforcing mesh made by semi-automatic welding in a shielded gas environment, have a high cost, therefore, to increase the competitiveness of products, it is advisable to use other welding methods. Reinforcing mesh, used in mines in Russia as an element of roof bolting, operates under conditions of drilling and blasting tunneling operations and experiences loads that require high quality welded joints. The poor quality of the design under consideration can lead to accidents at mines and to human casualties. The article analyzes the methods of manufacturing roof-fastening elements for mining enterprises - reinforcing mesh. It is shown that the use of resistance spot welding is preferable. Variants of improving the technological process of welding reinforcing bars are proposed. When welding products, a problem was revealed, which consists in a decrease in the mechanical characteristics of steel A500C in the heat-affected zone due to an insufficient thermal cycle of welding. To solve this problem, it is proposed to use other modes of resistance welding, which provide preliminary heating of the electrodes. The tests of welded joints obtained by different modes of resistance spot welding for static tension, macrography and hardness were carried out. The results of tests of welded joints obtained in different modes of resistance spot welding for static tension, macrography and hardness indicate the necessary strength characteristics of welded joints.

Keywords: contact spot welding, reinforcing mesh, roof fastening elements, roof bolting, macrography, mechanical tests, hardness, cross connection, strength.

Article info: received April 18, 2021

Введение

Арматурные сетки, изготовленные полуавтоматической сваркой в среде защитных газов, имеют высокую себестоимость, поэтому для повышения конкурентоспособности продукции целесообразно применять контактную сварку. Арматурная сетка, применяемая на рудниках России в качестве элемента анкерной крепи, работает в условиях буровзрывных проходческих работ и испытывает нагрузки, требующие высокого качества сварного соединения (рис. 1). Низкое качество рассматриваемой конструкции может привести к авариям на рудниках и к человеческим жертвам [1-4].



Рис. 1. Внешний вид арматурной сетки, изготавливаемой контактной точечной сваркой:
а – 3D модель; б – в процессе эксплуатации

Fig. 1. Appearance of the reinforcing mesh made by resistance spot welding:
a – 3D model; b – during operation

В настоящее время существует проблема выполнения качественного сварного соединения арматурной сетки и испытания его механических свойств для условий буровзрывных проходческих работ рудников России. При этом высокое качество сварного соединения при контактной сварке арматурных сеток достигается прежде всего правильным выбором технологических режимов сварки [5-10]. Таким образом, цель работы заключается в повышении эффективности технологии изготовления арматурной сетки, используемой в качестве элемента анкерной крепи, за счет оптимизации параметров режима контактной точечной сварки.

Образцы и методики исследований

Сварные соединения, полученные по стандартному технологическому процессу ($I_{св} = 16$ кА, $t_{св} = 0,5$ сек, $F_{св} = 1000$ Н, циклограмма – рис. 2.), не отвечали необходимым требованиям по качеству, а именно не выдерживали необходимой нагрузки.

Для контактной точечной сварки использовалась контактная машина МТ-1618. Материал свариваемой арматуры – сталь А500С. В рассматриваемой сварной конструкции арматурной сетки применяется крестовое соединение стержней (ГОСТ 14098-2014). Предел прочности (σ_b) стали А500С составляет 600 МПа, для крестообразных сварных соединений арматуры прочность по ГОСТ 10922-2012 должна быть не менее $0,3\sigma_b$.

Образец, сваренный по стандартному режиму (рис. 3), имеет литое ядро неправильной эллипсообразной формы, так же, как и температурное поле, появившееся вследствие нагрева. Толщина линии сплавления составляет менее 1 мм.

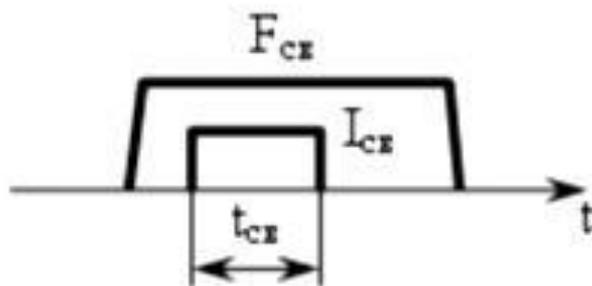


Рис. 2. Циклограмма стандартного технологического процесса контактной точечной сварки арматурных стержней

Fig. 2. Cyclogram of the standard technological process of resistance spot welding of reinforcing bars



Рис. 3. Макрошлиф сварного соединения арматурных стержней по стандартному технологическому процессу

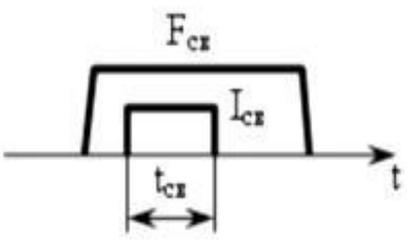
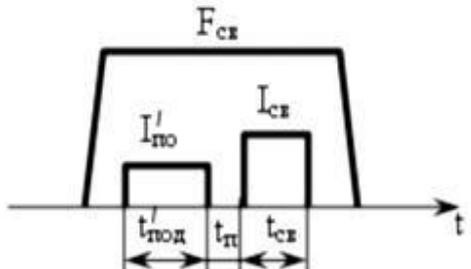
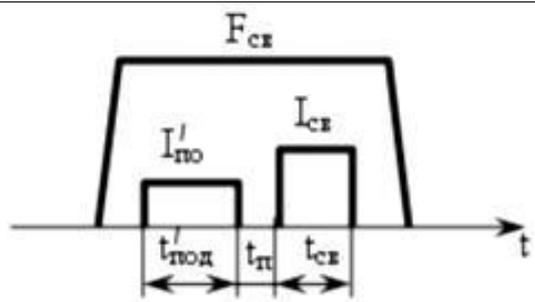
Fig. 3. Macrosection of the welded joint of reinforcing bars according to the standard technological process

В связи с этим было предложено несколько вариантов улучшения стандартного технологического процесса сварки (табл. 1) [11-19].

Первый вариант технологического процесса заключался в использовании отшлифованных электродов, тогда как основные параметры режима ($I_{св}$ – сварочный ток, $t_{св}$ – время сварки и $F_{св}$ – усилие сжатия), в том числе и циклограмма, оставались неизменными по сравнению со стандартным технологическим процессом сварки.

Второй и третий вариант заключались в использовании иного типа циклограммы контактной сварки, а именно в введении в процесс дополнительного импульса тока для разогрева электродов ($I'_{под}$ – ток подогрева электродов; $t'_{под}$ – время импульса подогрева электродов). При этом в связи с особенностями применяемого оборудования пауза между дополнительным и основным импульсом ($t_{п}$) отсутствовала.

Таблица 1. Варианты усовершенствования технологического процесса сварки
 Table 1. Welding process improvement options

№ п/п	Параметры режима	Тип используемой циклограммы
1.	Стандартный режим, который используется в настоящее время, но с отшлифованными электродами $I_{св} = 16 \text{ кА}$, $t_{св} = 0,5 \text{ сек}$, $F_{св} = 1000 \text{ Н}$	
2.	$I'_{по} = 6 \text{ кА}$, $t'_{под} = 0,5 \text{ сек}$, $I_{св} = 14 \text{ кА}$, $t_{п} = 0 \text{ сек}$, $t_{св} = 1 \text{ сек}$, $F_{св} = 1000 \text{ Н}$	
3.	$I'_{по} = 6 \text{ кА}$, $t'_{под} = 0,5 \text{ сек}$, $I_{св} = 14 \text{ кА}$, $t_{п} = 0 \text{ сек}$, $t_{св} = 1 \text{ сек}$, $F_{св} = 4000 \text{ Н}$	

Для макрографии полученные образцы подвергались травлению в 32,5 %-ном водном растворе HNO_3 в течение 20 минут. Испытания на растяжение проводили на универсальной испытательной машине РМ-50М с применением специально разработанной оснастки. Твердость металла измеряли при помощи универсального твердомера DuraVision-30 [20, 21].

Результаты исследований и их обсуждение

На рис. 4 представлены изображения макрошлифов сварных соединений арматурных стержней по предложенным технологическим процессам (табл. 1).

Образец, сваренный по варианту №1 (рис. 4, а), имеет литое ядро более правильной эллипсообразной формы, так же, как и температурное поле, появившееся вследствие нагрева, по сравнению с образцом, сваренному по стандартному режиму. При этом имеется центральная зона сплавления (перекрытия) двух литых ядер, длина которой составляет 5-6 мм. Толщина линии сплавления по краям литых ядер составляет также менее 1 мм, как и для образца, сваренного по стандартному режиму.

Образец, сваренный по режиму №2 (рис. 4, б), также не имеет ярко выраженных литых ядер, а температурное поле, появившееся вследствие нагрева, охватывает до 100% сечения стержней сваренной арматуры. Однако имеется линия сплавления, толщина которой составляет около 1 мм. Для данного образца также характерен практически полный нагрев всего объема свариваемых стержней, но недостаточное усилие сжатия не позволило получить глубокое взаимное проплавление арматуры.

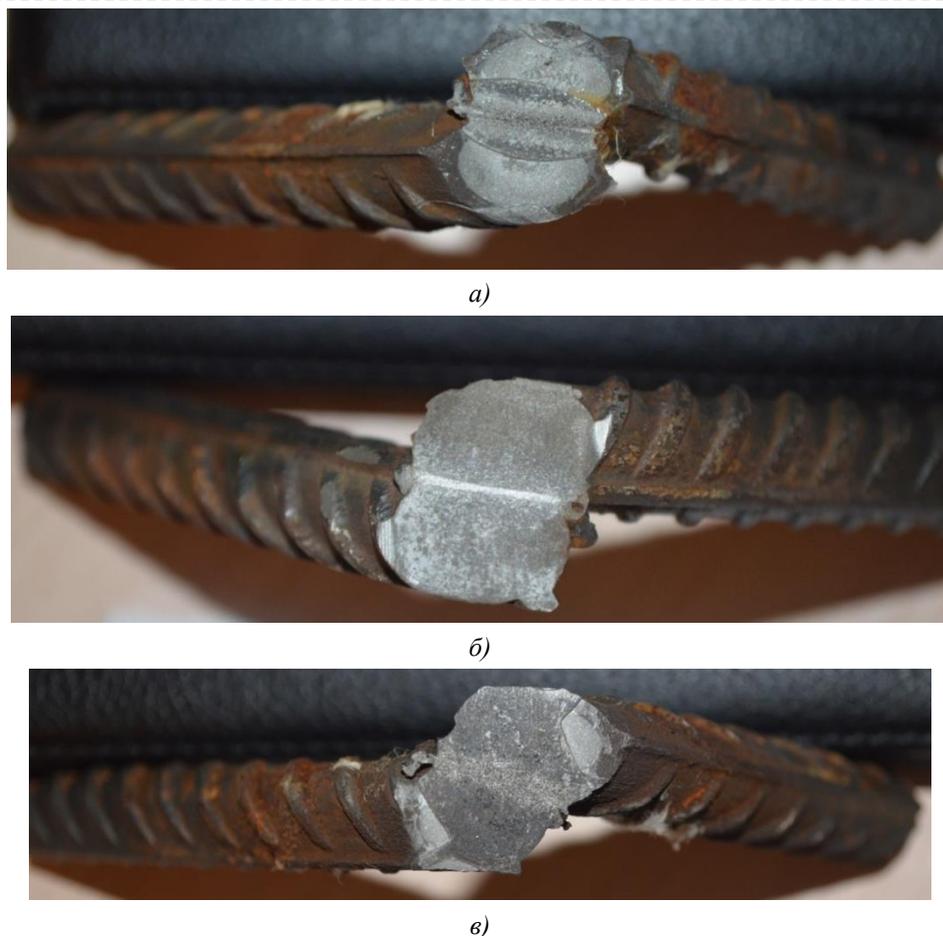


Рис. 4. Макрошлифы сварных соединений арматурных стержней по предложенным технологическим процессам (см. табл. 1):

a – №1; б – №2; в – №3.

Fig. 4. Macrosections of welded joints of reinforcing bars according to the proposed technological processes (see Table 1):

a – No. 1; b – No. 2; c – No. 3.

Образец, сваренный по режиму №3 (рис. 4, в), не имеет ярко выраженных литых ядер, а температурное поле, появившееся вследствие нагрева, охватывает до 80% сечения стержня сваренной арматуры. Вместо линии сплавления и литых ядер имеется зона взаимного расплавления, ширина которой равна ширине сечения стержней, а толщина составляет 3-4 мм. Это свидетельствует о практически полном нагреве всего объема свариваемых стержней, что позволило получить глубокое взаимное проплавление арматуры.

На рис. 5 и 6 показаны результаты сравнения значений временного сопротивления и твердости для сварных соединений, полученных разными режимами сварки, а также приведены значения в соответствии с требованиями нормативной документации (ГОСТ 10922-2012).

Представленные результаты свидетельствуют о необходимых прочностных характеристиках соединений, полученных с применением контактной точечной сварки.

Таким образом, при изготовлении ответственных конструкций арматурной сетки с применением сварки рекомендуется использовать способ контактной точечной сварки (параметры режима: $I_{\text{по}} = 6$ кА, $t'_{\text{под}} = 0,5$ сек, $I_{\text{св}} = 14$ кА, $t_{\text{п}} = 0$ сек, $t_{\text{св}} = 1$ сек, $F_{\text{св}} = 4000$ Н), который обеспечивает необходимое качество сварного соединения, а также обеспечивает высокую производительность процесса.

Выводы

1. Выполнен анализ современных методов и средств сварки арматурных стержней. Применение контактной точечной сварки является предпочтительным. По результатам

исследования макроструктуры образцов и механических свойств, полученных разными режимами контактной точечной сварки, предпочтительнее использовать режим, которому соответствуют $I'_{\text{по}} = 6 \text{ кА}$, $t'_{\text{под}} = 0,5 \text{ сек}$, $I_{\text{св}} = 14 \text{ кА}$, $t_{\text{п}} = 0 \text{ сек}$, $t_{\text{св}} = 1 \text{ сек}$, $F_{\text{св}} = 4000 \text{ Н}$.

2. Даны рекомендации по совершенствованию технологии контактной сварки арматурной сетки. При изготовлении ответственных конструкций крепления кровли горнорудных предприятий, а именно арматурной сетки с применением сварки рекомендуется использовать способ контактной точечной сварки, который обеспечивает необходимое качество сварного соединения, а также обеспечивает высокую производительность процесса.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Петрову Ивану Юрьевичу за предоставленные образцы для экспериментальных исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для поддержки молодых кандидатов наук МК-1084.2020.8.

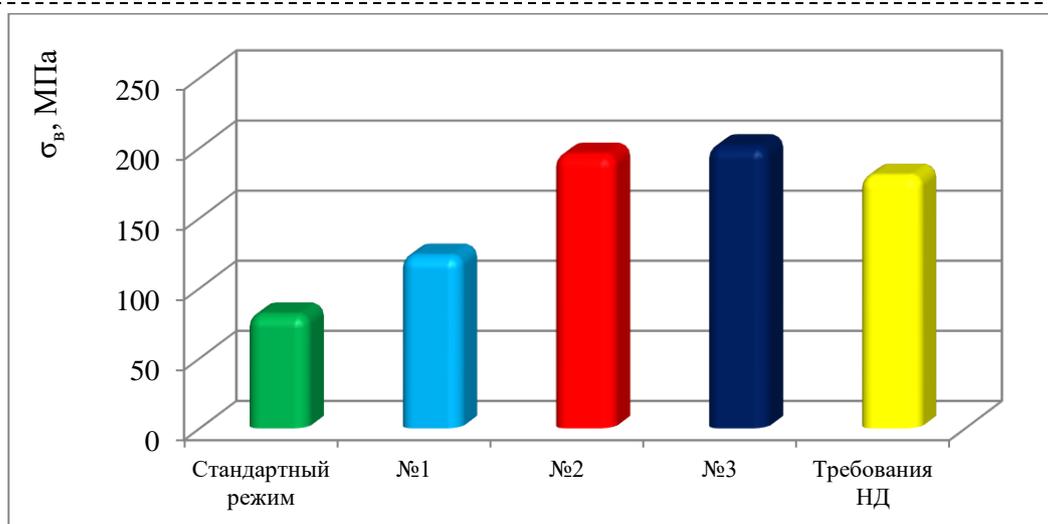


Рис. 5. Значения предела прочности для сварных соединений, полученных разными режимами контактной точечной сварки, а также значения в соответствии с требованиями нормативной документации

Fig. 5. Values of the tensile strength for welded joints obtained by different modes of resistance spot welding, as well as values in accordance with the requirements of regulatory documents

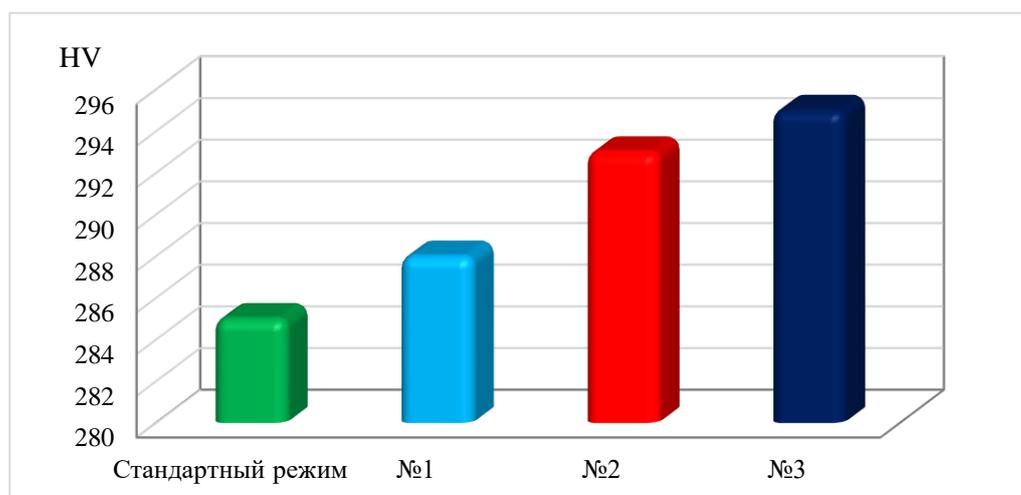


Рис. 6. Значения твердости для сварных соединений, полученных разными режимами контактной точечной сварки

Fig. 6. Hardness values for welded joints obtained by different modes of resistance spot welding

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов, А.Н. Экспертиза промышленной безопасности и ресурс оборудования ТЭЖ Кузбасса / А.Н. Смирнов, Н.В. Абабков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. – № 5 (111). – С. 70-78.
2. Смирнов, А.Н. Влияние степени деформации сварных соединений углеродистых сталей на структурно-фазовое состояние и поля внутренних напряжений / А.Н. Смирнов, Э.В. Козлов, Е.А. Ожиганов и др. // Сварка и диагностика. 2016. – № 3. – С. 25-28.
3. Абабков Н.В., Пимонов М.В. Технологии и оборудование контактной сварки. – Кемерово: КузГТУ, 2017. – 263 с.
4. Никитенко, М.С. Разработка комплекса средств технической диагностики, восстановления и упрочнения элементов горнодобывающего оборудования / М.С. Никитенко, К.В. Князьков, Н.В. Абабков и др. // Институт угля СО РАН: Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). – М.: Издательство «Горная книга». 2013, №ОБ6. – С. 447-458.
5. Поляков, А. Ю. Снижение энергоемкости процессов контактной рельефной сварки. .Белорусско-Российский университет: Могилев, 2019.
6. Поляков, А.Ю. Разработка энергосберегающего способа контактной рельефной сварки многослойных сварных конструкций / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов, Т.И. Бендик и др. // Сварочное производство. 2017. – № 1. – С. 14-20.
7. Поляков, А.Ю. Энергоэффективность процесса управления сварочной машиной в режиме реального времени при контактной рельефной сварке / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов, Б.В. Федотов // Сварка и диагностика. 2017. – № 3. – С. 51-55.
8. Беляев, А.В. Анализ физико-химических процессов при сварке / А. В. Беляев, Э.Р. Галимов, Л.В. Сироткина // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы-2016 (МНТК "ИМТОМ-2016"). Материалы Международной научно-технической конференции. – 2016. – С. 191-195.
9. Поляков, А.Ю. Разработка уравнения теплового баланса для расчета требуемой величины сварочного тока при контактной рельефной сварке / А.Ю. Поляков, В.П. Куликов, Б.В. Федотов // Сварка и диагностика. – 2018. – № 3. – С. 48-52.
10. Федяев, В.Л. Аналитические оценки теплопереноса при электроконтактной сварке / В.Л. Федяев, П.П. Осипов, А.В. Беляев и др. // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2017. – Т. 73. № 2. – С. 97-101.
11. Справочник сварщика. Под ред. В.В. Степанова. М.: Машиностроение, 1982.
12. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров С.Л. Сварные конструкции. Технология изготовления, автоматизация производства и проектирование сварных конструкций. – М: Высш. школа, 1983.
13. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. – М.: Машиностроение, Т. 1, 1978.
14. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. – М.: Машиностроение, Т. 3, 1978.
15. Рыбаков В.М. Сварка и резка металлов. – М.: Высш. школа, 1977.
16. Алешин, Н.П. Новые цифровые технологии сварки ответственных изделий / Н.П. Алешин, Э.А. Гладков // Сварка и диагностика. 2008. – № 4. – С. 8-10.
17. Гуляев, А.И. Технология и оборудование контактной сварки / А.И. Гуляев. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
18. Орлов, Б.Д. Технология и оборудование контактной сварки: учебник для машиностр. вузов / Б.Д. Орлов. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
19. Теория сварочных процессов. Под ред. В.В. Фролова. М.: Высш. школа, 1988.
20. Мак Лин, Д. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия, 1965. – 431 с.
21. Абабков, Н.В. Исследование структуры и свойств металла корпуса ступиц редуктор-мотор колеса БелАЗа 7555 после ремонта / Н.В. Абабков, А.А. Баканов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. – № 1 (113). – С. 129-136.

REFERENCES

1. Smirnov, A.N. Ekspertiza promyshlennoy bezopasnosti i resurs oborudovaniya TEK Kuzbassa / A.N. Smirnov, N.V. Ababkov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2015. – № 5 (111). – S. 70-78.
2. Smirnov, A.N. Vliyaniye stepeni deformatsii svarnykh soyedineniy uglerodistykh staley na strukturno-fazovoye sostoyaniye i polya vnutrennikh napryazheniy / A.N. Smirnov, E.V. Kozlov, Ye.A. Ozhiganov i dr. // Svarka i diagnostika. 2016. – № 3. – S. 25-28.
3. Ababkov N.V., Pimonov M.V. Tekhnologii i oborudovaniye kontaktnoy svarki. –Kemerovo: KuzGTU, 2017. – 263 s.

4. Nikitenko, M.S. Razrabotka kompleksa sredstv tekhnicheskoy diagnostiki, vos-stanovleniya i uprochneniya elementov gornodobyvayushchego oborudovaniya / M.S. Nikitenko, K.V. Knyaz'kov, N.V. Ababkov i dr. // Institut uglya SO RAN: Otdel'nyy vypusk Gornogo informatsionno-analiticheskogo byulletenya (nauchno-tekhnicheskogo zhurnala). – M.: Izdatel'stvo «Gornaya kniga». 2013, №OV6. – S. 447-458.
5. Polyakov, A.Yu. Snizheniye energoyemkosti protsessov kontaktnoy rel'yefnoy svarki. .Belorussko-Rossiyskiy universitet: Mogilev, 2019.
6. [6] Polyakov, A.Yu. Razrabotka energosberegayushchego sposoba kontaktnoy rel'yefnoy svarki mnogoslounnykh svarnykh konstruksiy / A.Yu. Polyakov, S.M. Furmanov, T.I. Bendik i dr. // Svarochnoye proizvodstvo. 2017. – № 1. – S. 1-20.
7. Polyakov, A.Yu. Energoeffektivnost' protsessov upravleniya svarochnoy mashinoy v rezhime real'nogo vremeni pri kontaktnoy rel'yefnoy svarke / A.Yu. Polyakov, S.M. Furmanov, B.V. Fedotov // Svarka i diagnostika. 2017. – № 3. – S. 51-55.
8. Belyayev, A.V. Analiz fiziko-khimicheskikh protsessov pri svarke / A.V. Belyayev, E.R. Galimov, L.V. Sirotkina // Innovatsionnyye mashinostroitel'nyye tekhnologii, oborudovaniye i materialy-2016 (MNTK "IMTOM-2016"). Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. – 2016. – S. 191-195.
9. Polyakov, A.Yu. Razrabotka uravneniya teplovogo balansa dlya rascheta trebuyemoy velichiny svarochnogo toka pri kontaktnoy rel'yefnoy svarke / A.Yu. Polyakov, V.P. Kulikov, B.V. Fedotov // Svarka i diagnostika. – 2018. – № 3. – S. 48-52.
10. Fedyayev, V.L. Analiticheskiye otsenki teploperenosa pri elektrokontaktnoy svarke / V.L. Fedyayev, P.P. Osipov, A.V. Belyayev i dr. // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva. – 2017. – T. 73. № 2. – S. 97-101.
11. Spravochnik svarshchika. Pod red. V.V. Stepanova. M.: Mashinostroyeniye, 1982.
12. Nikolayev G.A., Kurkin S.A., Vinokurov S.L. Svarnyye konstruksii. Tekhnologiya izgotovleniya, avtomatizatsiya proizvodstva i proyektirovaniye svarnykh konstruksiy. – M.: Vyssh. shkola, 1983.
13. Svarka v mashinostroyenii: Spravochnik v 4-kh t. – M.: Mashinostroyeniye, T. 1, 1978.
14. Svarka v mashinostroyenii: Spravochnik v 4-kh t. – M.: Mashinostroyeniye, T. 3, 1978.
15. Rybakov V.M. Svarka i rezka metallov. – M.: Vyssh. shkola, 1977.
16. Aleshin, N.P. Novyye tsifrovyye tekhnologii svarki otvetstvennykh izdeliy / N.P. Aleshin, E.A. Gladkov // Svarka i diagnostika. 2008. – № 4. – S. 8-10.
17. Gulyayev, A.I. Tekhnologiya i oborudovaniye kontaktnoy svarki / A.I. Gulyayev. – M.: Mashinostroyeniye, 1985. – 256 s.
18. Orlov, B.D. Tekhnologiya i oborudovaniye kontaktnoy svarki: uchebnik dlya mashinostr. vuzov / B.D. Orlov. – M.: Mashinostroyeniye, 1986. – 352 s.
19. Teoriya svarochnykh protsessov. Pod red. V.V. Frolova. M.: Vyssh. shkola, 1988.
20. Mak Lin, D. Mekhanicheskiye svoystva metallov. – M.: Metallurgiya, 1965. – 431 s.
21. Ababkov, N.V. Issledovaniye struktury i svoystv metalla korpusa stupits reduktor-motor koleasa BelAZa 7555 posle remonta / N.V. Ababkov, A.A. Bakanov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2016. – № 1 (113). – S. 129-136.

Библиографическое описание статьи

Абабков Н.В., Пимонов М.В., Левашова Е.Е. Совершенствование технологии контактной точечной сварки арматурной сетки, используемой в качестве элемента анкерной крепи // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 3 (145). – С. 26-33.

Reference to article

Ababkov N.V., Pimonov M.V., Levashova E.E. Improvement of contact spot welding technology of reinforced net used as anchoring element. Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2021, no.3 (145), pp. 26-33.