









Received: 31.08.2023
Revised: 09.10.2023
Accepted: 20.10.2023
DOI: 10.17804/2410-9908.2023.5.031-038

THE TECHNOLOGY OF ARC WELDING OF DISSIMILAR STEELS

A. V. Berezovsky^{a)}, E. B. Votnova^{b),*}, and A. S. Smolentsev^{c)}

Ural Federal University, 19 Mira St., Ekaterinburg, 620002, Russia

^{a)}  <https://orcid.org/0009-0003-0739-8066>  a.v.berezovskiy@gmail.com;
^{b)}  <https://orcid.org/0000-0003-1859-7530>  votnova.ekaterina@urfu.ru
^{c)}  <https://orcid.org/0009-0002-0572-0384>  a.s.smolentsev@mail.ru

*Corresponding author. E-mail: votnovacat@rambler.ru

Address for correspondence: 19 Mira St., Ekaterinburg, 620002, Russia
 Tel.: +7 (343) 375-9569

Arc narrow gap welding of the 35L carbon cast steel (cast carbon steel J03502, grade 1) and the 110G13L high-manganese steel (austenitic manganese steel, ASTM A128) is performed using chromium-nickel-manganese wires in a shielding gas mixture (GOST R ISO 14175–2010 – M21). The welded samples are examined by different methods including optical metallography, hardness measurement, and mechanical tests. The weld metal structure along the weld height in the welded samples proves to be fairly uniform, namely austenite with ferrite inclusions. The experiment results show that the mechanical properties of the weld metal correspond to the intermediate values for the joined steels. The developed technology has made it possible to produce a welded joint with high mechanical properties and a ductile structure.

Keywords: dissimilar joint, carbon steels, high-manganese steels, microstructure, mechanical properties, narrow gap welding

References

1. Maruyama, T. Arc welding technology for dissimilar joints. *Welding International*, 2003, 17 (4), 276–281. DOI: 10.1533/wint.2003.3113.
2. Pouraliakbar, H., Hamedia, M., Kokabia, A.H., and Nazari, A. Designing of CK45 carbon steel and AISI 304 stainless steel dissimilar welds. *Materials Research*, 2014, 17 (1), 106–114. DOI: 10.1590/S1516-14392013005000170.
3. Olson, D.L., Siewert, T.A., Liu, S., and Edwards, G.R. *Welding, Brazing and Soldering: ASM Handbook*, vol. 6, ASM International, 1995.
4. Fang, Y., Jiang, X., Mo, D., Zhu, D., and Luo, Zh. A review on dissimilar metals' welding methods and mechanisms with interlayer. *The international Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2019, 102 (1), pp. 677–682. DOI: 10.1007/s00170-09-03353-6.
5. Urazbaev, T.T., Tursunov, T.M., Mamaev, Sh.I., Avdeeva, A.N., Abdurakhimov, M.M., and Valieva, D.Sh. Studying and improving the process of production of the 110G13L high-manganese steel for railway frogs. *Teoriya i Praktika Sovremennoy Nauki*, 2023, 5 (23), 211–215. (In Russian).
6. Kasatkin, O.G., Tsaryuk, A.K., Skulsky, V.Yu., Gavrik, A.R., and Moravetsky, S.I. Peculiarities of technology of welding pipelines of dissimilar steels in nuclear power engineering. *Avtomaticheskaya Svarka*, 2010, 1, 44–47. (In Russian).
7. Berezovsky, A.V. *Improvement of high-manganese steel welding technology. Reasons for the formation of defects in welded joints. Ways to prevent them: monograph*. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Deutschland, 2015, 91 p. (In Russian).



8. Serenko, A.N., Belousov, Yu.V., Shaferovskiy, V.A., Koryagin, E.I., Skzhipchik, A.F., and Maltseva, L.N. The trend in the development of narrow gap welding of thick plates (review). *Svarochnoe Proizvodstvo*, 1987, 9, 15–18. (In Russian).
9. Berezovskiy, A.V., Shalimov, M.P., and Votinova, E.B. The Repair of Defects in High-Manganese Steel Castings by Welding Technology. *Defect and Diffusion Forum*, 2021, 410, 209–214. DOI 10.4028/www.scientific.net/ddf.410.209.
10. Kah, P., Shrestha, M., and Martikainen, J. Trends in joining dissimilar metals by welding. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, 440, 269–276. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.440.269.
11. Lippold, J.C. *Welding Metallurgy and Weldability*, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 2015, 421 p.
12. Norrish, J. *Advanced Welding Processes*, Elsevier Science, 2006, 538 p.
13. Schaeffler, A.L. Constitutional diagram for stainless steel weld metal. *Metal Progress*, 1949, 56 (11), 680.
14. Kotecki, D.J., Siewert, T.A. WRC-1992 constitution diagram for stainless steel weld metals: a modification of the WRC-1988 diagram. *Welding Journal*, 1992, 71, 171–178.
15. Serenko, A.N., Shaferovsky, V.A., Patrikeev, A.I. The program control of welding of thick-plate structures. In: *Complex Automation of Industry: Proceedings of the 3rd International Polish-Soviet Scientific and Technical Conference*, October 11–14, 1988, Vroslav, Vroslavskaya Politehnika Publ., Vroslav, 1988, 167–171. (In Russian).
16. Zaks, I.A. *Electrodes for Arc Welding of Steels and Nickel Alloys: Handbook*. Welcome Publ., Saint Petersburg, 1996, 384 p. (In Russian).
17. Akulov, A.I., Belchuk, G.A., Demyantsevich, V.P. *Tekhnologiya i oborudovanie svarki plavlaniem* [Fusion Welding Technology and Equipment]. Mashinostroenie Publ., Moscow, 1977, 432 p.



Подана в журнал: 31.08.2023

УДК 621.791

DOI: 10.17804/2410-9908.2023.5.031-038

ТЕХНОЛОГИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ

А. В. Березовский^{а)}, Е. Б. Вотинова^{б), *}, А. С. Смоленцев^{в)}

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
ул. Мира, 19, г. Екатеринбург, 620002, Россия

^{а)} <https://orcid.org/0009-0003-0739-8066> a.v.berezovskiy@gmail.com;

^{б)} <https://orcid.org/0000-0003-1859-7530> votinova.ekaterina@urfu.ru

^{в)} <https://orcid.org/0009-0002-0572-0384> a.s.smolentsev@mail.ru

*Ответственный автор. Электронная почта: votinovacat@rambler.ru
Адрес для переписки: ул. Мира, 19, г. Екатеринбург, 620002, Россия
Тел.: +7 (343) 375-95-69

Дуговая сварка в узкую разделку углеродистой стали 35Л и высокомарганцовистой стали 110Г13Л выполнялась с использованием хром-никель-марганцовистой проволоки в смеси защитных газов (ГОСТ Р ИСО 14175–2010 – М21). Сварные образцы исследовались различными методами, включая оптическую металлографию, измерение твердости и механические испытания. Было замечено, что в сварных образцах структура металла шва была по высоте шва достаточно однородная: аустенит с включениями феррита. Результаты экспериментов показали, что механические свойства металла шва соответствуют промежуточным показателям соединяемых сталей. Разработанная технология позволила получить сварное соединение с высокими механическими свойствами и пластичной структурой.

Ключевые слова: разнородное соединение, углеродистые стали, высокомарганцовистые стали, микроструктура, механические свойства, узкощелевая разделка

1. Введение

При разработке технологии сварки соединений разнородных сталей необходимо учитывать металлургические особенности свариваемых сталей, различие их теплофизических свойств, возможность образования дефектов, специфичных для каждой из свариваемых сталей, развитие структурных неоднородностей (переходных зон, кристаллизационных и диффузионных прослоек), которые могут повлиять на работоспособность сварных соединений [1, 2]. Было отмечено в работах [3–5], что наиболее существенное влияние на технологические и эксплуатационные характеристики разнородных сварных соединений оказывают прослойки, возникшие при кристаллизации (мартенситные), и прослойки, возникшие в результате диффузии (карбидные), образующиеся в процессе сварки. Это отмечалось в сварных соединениях, включающих стали неаустенитного класса, свариваемых аустенитными сварочными материалами.

Особенностью сварки сталей разных структурных классов является необходимость применения сварочных материалов, обеспечивающих металл шва аустенитного класса, учет вероятности образования и развития в формирующемся сварном соединении химических и структурных неоднородностей, включая кристаллизационные и диффузионные прослойки по линии сплавления аустенитного шва с неаустенитной сталью, зависимость химического состава, структуры металла шва и свойств сварного соединения от степени проплавления углеродистой стали, учет различий коэффициентов линейного расширения свариваемых сталей [3, 6].

Целью работы было создание оптимальной технологии получения бездефектного сварного соединения толстостенных заготовок из литых сталей: углеродистой типа 35Л

и марганцовистой типа 110Г13Л. Указанные сварные соединения широко используются при создании и ремонте узлов различных горных и дорожных машин [7, 8].

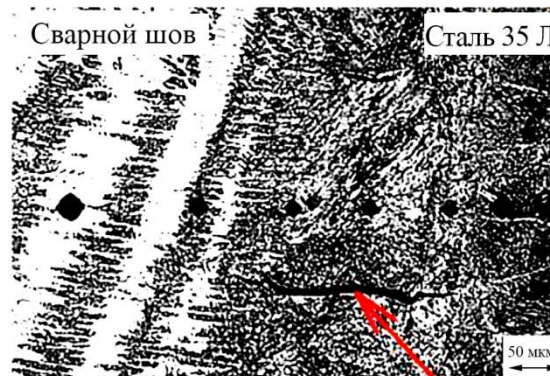


Рис. 1. Трещина рядом со сварным швом в месте соединения разнородных сталей (указано красной стрелкой)

Основными дефектами при сварке соединения разнородных сталей 110Г13Л и 35Л являются трещины из-за хрупких прослоек, возникающих в основном вблизи линии сплавления шва со стороны углеродистой стали (рис. 1). Размеры и характер этих прослоек в большой степени зависят от химического и структурно-фазового состава металла шва, а также от состояния металла зоны термического влияния.

В зоне сплавления стали 35Л с аустенитной сталью 110Г13Л создаются особо благоприятные условия для образования и развития диффузионных прослоек вследствие резкой структурной, химической и механической неоднородности, а также из-за различия теплофизических свойств указанных сталей. Влияние на охрупчивание зоны сплавления углеродистой стали с аустенитной оказывают также время пребывания околошовной зоны при высоких температурах и участие основного металла углеродистой стали в формировании состава металла шва.

Для получения бездефектного сварного соединения требуется учесть влияние следующих металлургических факторов:

- закономерности процессов легирования металла сварного шва;
- особенности формирования зоны термического влияния каждого основного металла;
- связь обоих этих процессов с процессами обработки и эксплуатационными характеристиками, т. е. со сваркой, последующей термической или механической обработкой и ожидаемыми эксплуатационными условиями.

Все это определяет выбор технологии сварки, подготовки каждого основного металла, типа используемых электродных материалов и параметров режима сварки [9–11].

При сварке разнородных металлов присадочный металл должен легко сплавляться с основными металлами для получения достаточно пластичного металла шва. В частности, присадочный металл должен выдерживать разбавление (или легирование) со стороны основных металлов без образования микроструктуры, чувствительной к растрескиванию. Микроструктура металла сварного шва должна пройти механические приемочные испытания, выдерживать последующие операции, например резку или термическую обработку, и оставаться стабильной в ожидаемых условиях эксплуатации. Прочность металла сварного шва должна быть равна или выше прочности наименее прочного основного металла [3, 11].

2. Материалы и методы

При разработке технологии сварки было решено для соединения деталей из разнородных сталей 110Г13Л и 35Л использовать сварку в узкощелевую разделку [8]. Это позволило сократить время сварки, стабилизировать долю участия каждого основного металла в фор-

мировании металла шва, ограничить тепловложение в основной металл и уменьшить протяженность зоны термического влияния как углеродистой, так и высокомарганцевой стали.

Сварка велась проволокой 1,4 Св-08Х20Н9Г7Т ГОСТ 2246-70 в смеси защитных газов М2 по ГОСТ Р ИСО 14175-2010.

Выбор состава электродной проволоки был сделан на основе известных методик [2, 12–14].

Параметры режима сварки: ток сварочный 220...230 А, напряжение на дуге 26...28 В, скорость сварки 12,0 м/ч, расход защитного газа 9...11 л/мин.

Сварку стыкового соединения деталей толщиной 55 мм проводили при зазоре 10,0 мм. Шаг валика задавался вертикальным перемещением горелки и составлял 7,5 мм. Глубина минимального проплавления вертикальных стенок для обеспечения прочности составляла не менее 1,0 мм. Сварка велась без поперечных колебаний. Подогрев основного металла перед сваркой, а также послесварочная термообработка не проводились. Это соответствует условиям ремонтной сварки в полевых условиях.

Для сравнения сварочно-технологических и механических свойств соединений были также изготовлены образцы с использованием тех же сварочных материалов и параметров режима, но с подготовкой кромок свариваемых деталей согласно С15 по ГОСТ 14771–76, т. е. с К-образной разделкой кромок.

Сварку выполняли с использованием сварочного автомата НА-3 и источника питания DC-600. Исследование микротвердости проводили с помощью микротвердомера по шкале Виккерса. Нагрузка и время выдержки были 100 г и 15 с соответственно. Расстояние между двумя углублениями сохранялось равным 0,5 мм. Поскольку толщина шва составляет 55 мм, исследование микротвердости проводилось по трем линиям (верхняя, средняя и нижняя) по сечению. Особенности микроструктуры изучали с помощью светового оптического микроскопа.

3. Результаты

Визуально-измерительный контроль качества соединений по окончании сварки деталей из разнородных сталей 110Г13Л и 35Л не выявил дефектов в виде трещин или пор. При контроле поперечных макрошлифов соединений в узкощелевую разделку дефектов также не отмечалось (рис. 2). В макрошлифах сварных соединений с К-образной разделкой обнаружены несплавления и отдельные трещины.

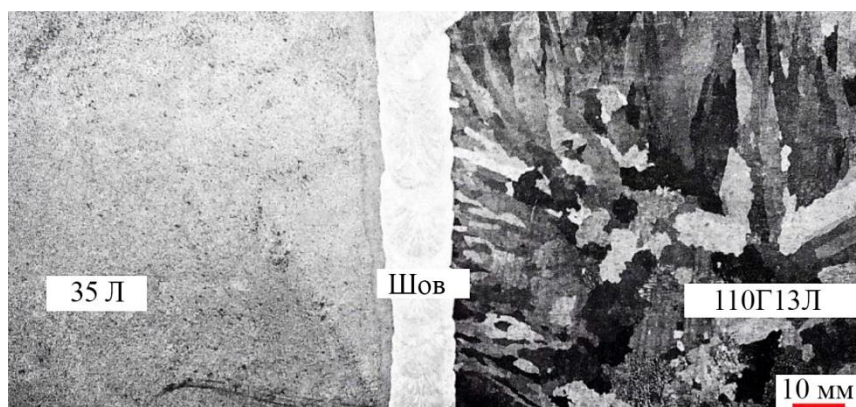


Рис. 2. Макроструктура сварного соединения разнородных сталей, выполненного с использованием узкощелевой разделки

Расчетным методом [15, 17] установлено, а анализом макрошлифов соединений в узкощелевую разделку подтверждено, что доля участия каждого из основных металлов в формировании металла шва составляет 10...12 %. Доля участия каждого из основных металлов

при сварке соединений с К-образной разделкой составляет не менее 20–25 %. [17]. Это во многом определяет свойства сравниваемых сварных соединений.

При контроле микрошлифов соединений в узкощелевую разделку (рис. 3, табл.) со стороны стали 35Л основной металл имеет феррито-перлитную структуру с твердостью 250...275 HV 0,1. Наибольшая твердость (около 295 HV 0,1) зафиксирована вблизи линии сплавления соединений с К-образной разделкой на границе шва и стали 35Л, что может быть связано с наличием обогащенной углеродом твердой зоны, образующейся при миграции углерода. Микроструктура металла по высоте шва достаточно однородная: аустенит с включениями феррита. Твердость металла шва находится в диапазоне 195...250 HV 0,1. На границе сплавления со стороны стали 110Г13Л расположена структура с твердостью 195...225 HV 0,1.

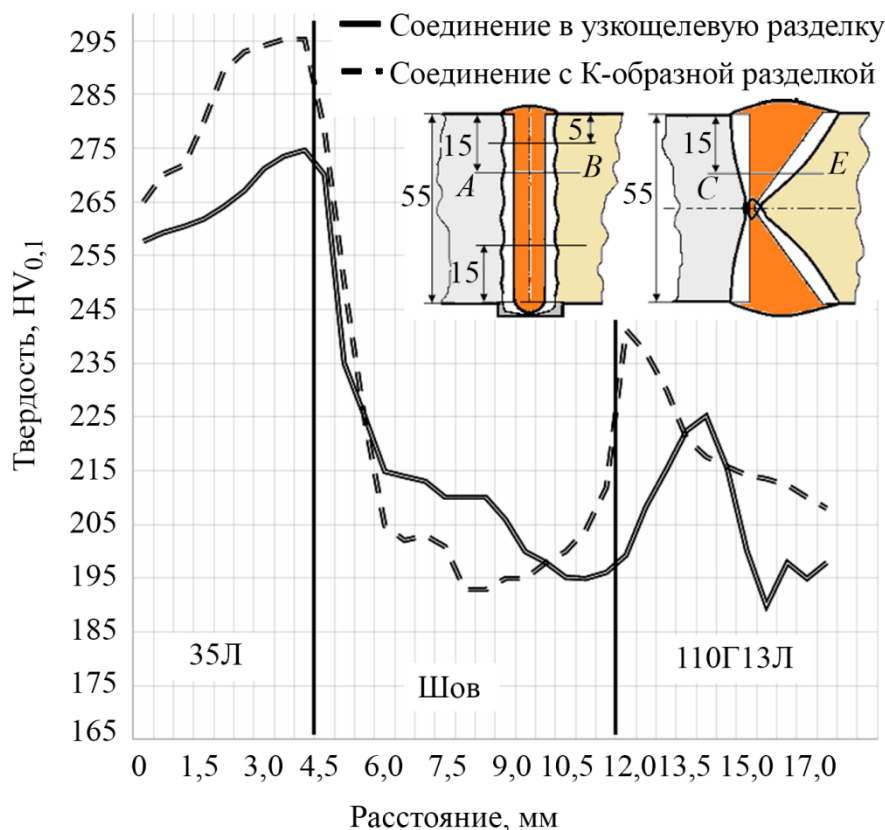


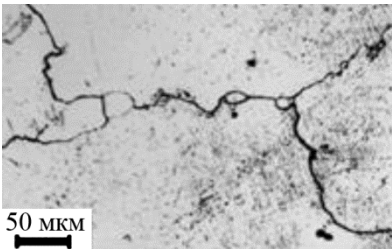
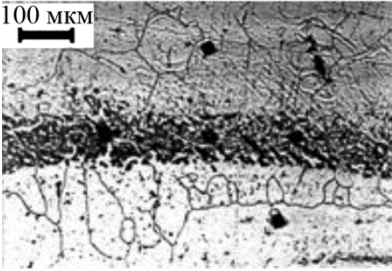
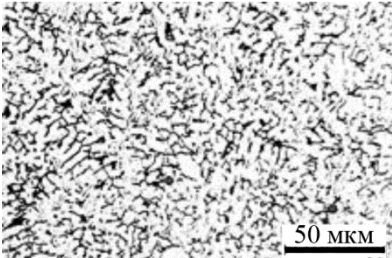
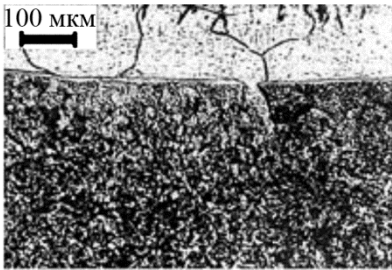
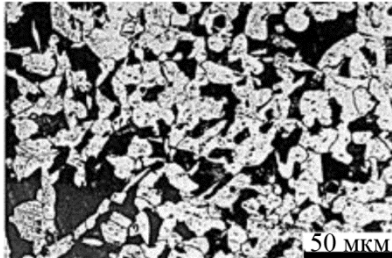
Рис. 3. Изменения микротвердости в сварном соединении и схема строения сварного соединения

Выполненные испытания механических свойств (по ГОСТ 6996) показали, что металл сварного соединения в узкощелевую разделку имел предел прочности 555...565 МПа, условный предел текучести 430...440 МПа и относительное удлинение 17...20 %. Для сравнения: соответствующие свойства стали 110Г13Л – 600/500/10, а стали 35Л – 560/250/25. Показанный для данного сварного соединения результат вполне соответствует требованиям соотношения свойств разнородных сталей и металла шва [11, 12].

Испытания соединений с К-образной разделкой показали результаты намного хуже [17], что, очевидно, связано с наличием дефектов в виде трещин вблизи линии сплавления со стороны углеродистой литой стали.

Таблица

Фотографии структуры основного металла, шва и зоны термического влияния

Изображение	Материал	Структура
	Сталь 110Г13Л (austenitic manganese steel ASTM A128)	Аустенит, зернограничные карбиды
	Линия сплавления стали 110Г13Л с металлом шва	
	Металл шва	Аустенит, включения феррита
	Линия сплавления стали 35Л с металлом шва	
	Сталь 35Л (cast carbon steel J03502 grade 1)	Феррито-перлитная смесь

4. Заключение

Разнородное соединение в узкощелевую разделку сталей 110Г13Л и 35Л успешно изготовлено без каких-либо дефектов макроуровня. Механические свойства соединения в узкощелевую разделку при поперечном растяжении не ниже, чем у наименее прочного из основных



металлов (углеродистой стали), а разрушение происходит на внешней стороне зоны термического влияния со стороны этой стали. Распределение твердости и результаты оптической микроскопии в сечении сварных соединений показали наличие сложных микроструктур, которые развиваются из-за большой разницы составов основных и присадочного металлов.

Литература

1. Maruyama T. Arc welding technology for dissimilar joints // *Welding International*. – 2003. – Vol. 17 (4). – P. 276–281. – DOI: 10.1533/wint.2003.3113.
2. Designing of CK45 carbon steel and AISI 304 stainless steel dissimilar welds / H. Pouraliakbar, M. Hamedia, A. H. Kokabia, A. Nazari // *Materials Research*. – 2014. – Vol. 17 (1). – P. 106–114. – DOI: 10.1590/S1516-14392013005000170.
3. Welding, Brazing and Soldering. Vol. 6 : ASM Handbook / D. L. Olson, T. A. Siewert, S. Liu, G. R. Edwards. – ASM International, 1995.
4. A review on dissimilar metals' welding methods and mechanisms with interlayer / Y. Fang, X. Jiang, D. Mo, D. Zhu, and Zh. Luo // *The international Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2019. – Vol. 102 (1). – P. 677–682. – DOI: 10.1007/s00170-09-03353-6.
5. Исследование и совершенствование технологии производства высокомарганцевой стали 110Г13Л для железнодорожных крестовин / Т. Т. Уразбаев, Т. М. Турсунов, Ш. И. Мамаев, А. Н. Авдеева, М. М. Абдурахимов, Д. Ш. Валиева // *Теория и практика современной науки*. – 2023. – № 5 (23). – С. 211–215.
6. Особенности технологии сварки трубопроводов из разнородных сталей в атомной энергетике / О. Г. Касаткин, А. К. Царюк, В. Ю. Скульский, А. Р. Гаврилюк, С. И. Моравский // *Автоматическая сварка*. – 2010. – № 1. – С. 44–50.
7. Березовский А. В. Совершенствование технологии сварки высокомарганцевой стали. Причины образования дефектов в сварных соединениях. Способы их предотвращения : монография. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 91 с.
8. Тенденция развития сварки толстолистового металла в узкий зазор (обзор) / А. Н. Серенко, Ю. В. Белоусов, В. А. Шаферовский, Е. И. Корягин, А. Ф. Скужипчик, Л. Н. Мальцева // *Сварочное производство*. – 1987. – № 9. – С. 15–18.
9. Berezovskiy A. V., Shalimov M. P., Votnova E. B. The repair of defects in high-manganese steel castings by welding technology // *Defect and Diffusion Forum*. – 2021. – Vol. 410. – P. 209–214. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/ddf.410.209.
10. Kah P., Shrestha M., Martikainen J. Trends in joining dissimilar metals by welding // *Applied Mechanics and Materials*. – 2014. – Vol. 440. – P. 269–276. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.440.269.
11. Lippold J. C. *Welding Metallurgy and Weldability*. – Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons Inc., 2015. – 421 p.
12. Norrish J. *Advanced Welding Processes*. – Elsevier Science, 2006. – 538 p.
13. Schaeffler A. L. Constitutional diagram for stainless steel weld metal // *Metal progress*. – 1949. – P. 680.
14. Kotecki D. J., Siewert T. A. WRC-1992 constitutional diagram for stainless steel weldmetals: a modification of the WRC-1988 diagram // *Welding Journal*. – 1992. – № 5. – P. 171–178.
15. Программное управление процессом сварки толстолистовых конструкции / А. И. Серенко, В. А. Шаферовский, А. И. Патрикеев, А. И. Савченко // *Комплексная автоматизация промышленности. Ч. III : труды III Международной польско-советской НТК, Вроцлав, 11–14 октября 1988 г.* – Вроцлав : Вроцлавская политехника. – 1988. – С. 167–171.
16. Закс И. А. Электроды для дуговой сварки сталей и никелевых сплавов : справочное пособие. – СПб : «Welcome», 1996. – 384 с.
17. Акулов А. И., Бельчук Г. А., Демянцевич В. П. *Технология и оборудование сварки плавлением*. – М. : Машиностроение, 1977. – 432 с.