



Оригинальная статья

УДК 621.791:624

DOI 10.17073/0368-0797-2021-10-706-711



О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШЛАКА СИЛИКОМАРГАНЦА И КОВШЕВОГО ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ

Н. А. Козырев, А. Р. Михно, А. А. Усольцев,
Р. Е. Крюков, А. С. Симачев

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. Анализ существующих тенденций развития технологий производства сварочных и наплавочных флюсов показал, что одним из активно развиваемых направлений является производство флюсов с использованием техногенных отходов (в том числе металлургических) в качестве компонентов исходной шихты. Это связано с тем, что в шлаковых отходах металлургического производства содержится большое количество марганца и кремния, которые в свою очередь являются основой в сварочных флюсах. При проведении лабораторных исследований с использованием оборудования научно-производственного центра «Сварочные процессы и технологии» по наплавке стальных образцов использовали флюс-добавку, полученную путем смешивания ковшевого электросталеплавильного шлака фракции менее 0,2 мм с жидким натриевым стеклом в количестве 62 и 38 %. Полученную флюс-добавку смешивали со шлаком производства силикомарганца фракции 0,45 – 2,50 мм в различных соотношениях. Исследования химического состава наплавленного слоя металла, проведенные спектральным методом, и металлографические исследования наплавленного слоя позволили выявить тенденцию к увеличению содержания серы и повышению загрязненности неметаллическими включениями в наплавленном слое при увеличении количества флюс-добавки в шихте более 20 %. По результатам визуального контроля качества макроструктуры наплавленного слоя установлено отсутствие дефектов при содержании флюс-добавки до 30 %.

Ключевые слова: наплавка, сварочные флюсы, техногенные отходы, шлак силикомарганца, ковшевой электросталеплавильный шлак, микро-структура, неметаллические включения

Финансирование: Работа выполнена в СибГИУ с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Материаловедение».

Для цитирования: Козырев Н.А., Михно А.Р., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Симачев А.С. О возможности использования шлака силикомарганца и ковшевого электросталеплавильного шлака при изготовлении сварочных флюсов // Известия вузов. Черная металлургия. 2021. Т. 64. № 10. С. 706–711. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-10-706-711>

Original article

ON POSSIBILITY OF USING SILICOMANGANESE SLAG AND LADLE ELECTRIC STEELMAKING SLAG IN MANUFACTURE OF WELDING FLUXES

N. A. Kozyrev, A. R. Mikhno, A. A. Usol'tsev,
R. E. Kryukov, A. S. Simachev

■ Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

Abstract. Analysis of the existing trends in development of technologies for production of welding and surfacing fluxes showed that one of the actively developing areas is the production of fluxes using man-made waste (including metallurgical one) as components of the initial charge. This is due to the fact that the slag waste of metallurgical production contains a large amount of manganese and silicon, which in turn are the basis in welding fluxes. Within the framework of this direction development, the article describes principal possibility and efficiency of using materials based on ladle electric steelmaking slag from JSC “EVRAZ United West Siberian Metallurgical Combine” and slag produced by silicomanganese from LLC “West Siberian Electrometallurgical Plant” in the charge for production of fluxes used in the surfacing of rolling rolls. All the laboratory tests were made using the equipment of the scientific and production center “Welding Processes and Technologies”. For surfacing steel samples, the authors used a flux additive obtained by mixing ladle electric steelmaking slag of a fraction less than 0.2 mm with liquid sodium glass in a ratio of 62 and 38 %. The resulting

flux additive was mixed with slag from the production of silicomanganese of a fraction of 0.45 – 2.50 mm in various ratios. Studies of the chemical composition (by the spectral method) and metallographic studies of the deposited layer revealed a tendency to an increase in sulfur content and in contamination with non-metallic inclusions in it with an increase in content of the flux additive in the charge of more than 20 %. According to the results of visual quality control of the deposited layer macrostructure, the absence of defects was established with a flux additive content of up to 30 %.

Keywords: surfacing, welding fluxes, technogenic waste, silicomanganese slag, ladle electric steelmaking slag, microstructure, non-metallic inclusions

Funding: The work was performed at SibSIU using the equipment of the Center for Collective Use “Materials Science”.

For citation: Kozyrev N.A., Mikhno A.R., Usoltsev A.A., Kryukov R.E., Simachev A.S. On possibility of using silicomanganese slag and ladle electric steelmaking slag in manufacture of welding fluxes. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2021, vol. 64, no. 10, pp. 706–711. (In Russ.).

<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-10-706-711>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из активно развиваемых направлений в металлургической и смежных отраслях промышленности является производство продукции с использованием техногенных отходов в качестве компонентов исходной шихты [1 – 4]. Это, с одной стороны, обусловлено высоким содержанием в таких отходах ценных компонентов, что значительно снижает себестоимость производства готовой продукции, с другой стороны, немаловажным является и экологический аспект утилизации отходов [5 – 10].

Указанная тенденция по добавке металлургических отходов в шихту для производства готовой продукции характерна и для технологии производства сварочных флюсов, используемых для наплавки прокатных валков [11 – 12]. Для таких флюсов характерно повышенное содержание основных оксидов при низкой концентрации оксида углерода CO [13 – 15]. К текущему моменту имеются положительные результаты применения новых флюс-добавок и металлургических отходов в виде шлаков и шламов [16 – 18], в том числе шлака производства силикомарганца [19, 20] в качестве шихтовых материалов для производства флюсов, применяемых при наплавке прокатных валков.

В настоящей работе приводятся результаты использования флюс-добавки, изготовленной с применением ковшевых электросталеплавильных шлаков и шлака производства силикомарганца в качестве шихты для производства сварочных флюсов, предназначенных для наплавки прокатных валков.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изготовление флюс-добавки проводили следующим образом: ковшевой электросталеплавильный шлак фракции менее 0,2 мм смешивали с жидким стеклом в количестве 62 и 38 %, выдерживали в течение 24 ч при комнатной температуре с последующей сушкой в печи для прокаливания флюса при температуре 350 – 400 °С. Далее смесь охлаждали, дробили и просеивали с выделением фракции 0,45 – 2,50 мм. Использовали ковшевой шлак электросталеплавильного цеха АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», полученный при производстве рельсовой

стали. Химический состав ковшевого шлака следующий, % (по массе): 1,31 FeO; 0,22 MnO; 36,19 CaO; 36,26 SiO₂; 6,17 Al₂O₃; 11,30 MgO; 0,28 Na₂O; 3,34 F; менее 0,12 C; 1,26 S; 0,02 P. Химический состав полученной флюс-добавки, % (по массе): 0,84 FeO; 0,06 MnO; 35,47 CaO; 4,71 Al₂O₃; 5,01 MgO; 1,92 Na₂O; 0,11 K₂O; 0,98 S; 0,013 P; 0,04 Cr₂O₃; 0,33 TiO. Флюс-добавку смешивали со шлаком производства силикомарганца фракции 0,45 – 2,50 мм в различных соотношениях (табл. 1). Использовали шлак производства силикомарганца ООО «Западно-Сибирский электрометаллургический завод» следующего химического состава, % (по массе): 6,91 – 9,62 Al₂O₃; 22,85 – 31,70 CaO; 46,46 – 48,16 SiO₂; 0,27 – 0,81 FeO; 6,48 – 7,92 MgO; 8,01 – 8,43 MnO; 0,28 – 0,76 F; 0,26 – 0,36 Na₂O; до 0,62 K₂O; 0,15 – 0,17 S; 0,01 P.

Лабораторные эксперименты по изучению возможности использования различных составов сварочных флюсов проводили на сварочном тракторе ASAW-1250 при следующем режиме: сила тока 680 А, напряжение 28 В, скорость наплавки 28 см/мин. Наплавку под слоем флюса проводили на образцах сечением 300×150 мм толщиной 20 мм, изготовленных из листовой стали марки 09Г2С с использованием стальной омедненной проволоки марки Св-08ГА диам. 4 мм.

Химические составы флюсов, шлаковых корок и металла сварных швов определяли с использованием по-

Т а б л и ц а 1

Содержание шлака силикомарганца и флюс-добавки

Table 1. Content of silicomanganese slag and flux additives

Образец	Содержание, % (по массе)	
	шлак силикомарганца (SiMn)	флюс-добавка
1	100	0
2	95	5
3	90	10
4	80	20
5	70	30
6	50	50

следовательного рентгенофлуоресцентного волнодисперсионного спектрометра Shimadzu XRF-1800.

Исследования качества металла наплавленного слоя проводили с использованием оптического металлографического микроскопа OLYMPUS GX-51, оснащенного цифровой металлографической камерой и предназначенного для получения в отраженном свете светопольных изображений микроструктуры, а также изображений в поляризованном свете. Полуколичественный

анализ неметаллических включений проводили на микрошлифах без травления (увеличение 100) в соответствии с ГОСТ 1778 – 70.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Химический состав флюсов, шлаковых корок и металла сварных швов приведены в табл. 2 – 4. Полученные данные свидетельствуют, что ввод флюс-добавки

Т а б л и ц а 2

Химический состав флюса

Table 2. Chemical composition of the flux

Образец	Содержание, % (по массе)													
	FeO	MnO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S	P	ZnO	Cr ₂ O ₃	F	TiO ₂
1	0,50	7,97	31,34	46,09	6,61	5,74	0,40	0,010	0,33	0,011	0,004	0,050	0,45	0,07
2	0,38	7,59	32,71	45,04	6,60	4,34	1,07	0,081	0,28	0,012	0,003	0,031	0,77	0,10
3	0,42	7,28	33,12	45,10	6,33	4,52	1,40	0,082	0,32	0,011	0,003	0,029	0,87	0,11
4	0,42	6,90	32,06	46,20	6,85	4,03	1,40	0,082	0,34	0,011	0,003	0,024	0,89	0,11
5	0,57	4,62	34,03	43,80	5,09	4,58	3,28	0,140	0,54	0,012	0,004	0,036	1,63	0,17
6	0,74	2,58	35,64	43,33	5,19	4,92	3,99	0,170	0,73	0,013	0,005	0,041	1,99	0,21

Т а б л и ц а 3

Химический состав шлаковых корок

Table 3. Chemical composition of the slag crusts

Образец	Содержание, % (по массе)													
	FeO	MnO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S	P	ZnO	Cr ₂ O ₃	F	TiO ₂
1	1,69	7,78	32,35	42,50	6,59	5,55	0,30	0,010	0,21	0,011	0,012	0,040	0,37	0,070
2	1,54	7,61	32,42	44,28	7,87	4,28	0,59	0,001	0,16	0,011	0,003	0,033	0,53	0,094
3	1,62	7,04	32,47	43,39	6,63	4,24	0,89	0,081	0,20	0,011	0,004	0,033	0,68	0,110
4	1,78	6,36	33,10	43,13	7,23	4,38	1,19	0,088	0,23	0,012	0,004	0,034	0,83	0,120
5	1,69	5,34	33,28	44,55	6,05	4,64	2,05	0,110	0,33	0,011	0,005	0,032	1,24	0,150
6	1,66	3,90	34,48	44,61	5,59	4,87	2,78	0,140	0,46	0,012	0,005	0,036	1,66	0,170

Т а б л и ц а 4

Химический состав наплавленного металла

Table 4. Chemical composition of the deposited metal

Образец	Содержание, % (по массе)												
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	V	Mo	Al	Nb	S	P
1	0,07	0,43	1,16	0,05	0,11	0,14	–	0,007	0,021	–	0,003	0,019	0,012
2	0,04	0,44	1,30	0,04	0,08	0,13	0,001	0,002	0,010	0,002	0,010	0,019	0,012
3	0,04	0,42	1,30	0,04	0,09	0,13	0,001	0,003	0,010	–	0,010	0,024	0,011
4	0,04	0,41	1,22	0,04	0,09	0,13	–	0,001	0,010	–	0,110	0,031	0,010
5	0,04	0,38	1,25	0,04	0,08	0,13	–	0,002	0,010	–	0,011	0,033	0,009
6	0,04	0,35	1,22	0,04	0,09	0,12	–	–	0,010	–	0,011	0,036	0,008

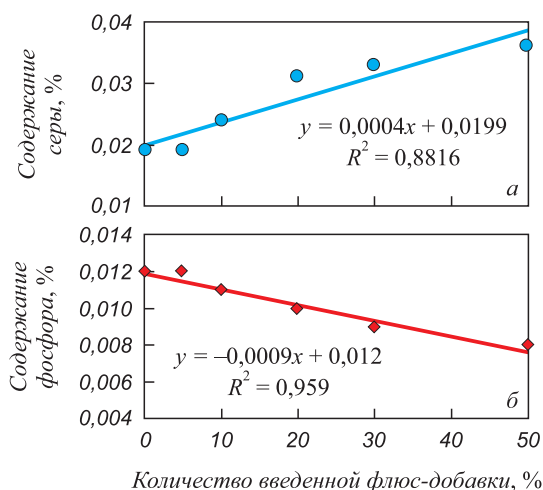


Рис. 1. Влияние количества введенной добавки в наплавленном слое на концентрацию серы (а) и фосфора (б)

Fig. 1. Effect of the introduced additive amount in the deposited layer on concentration of sulfur (a) and phosphorus (b)

увеличивает содержание серы и снижает содержание фосфора в наплавленном слое (рис. 1).

По результатам визуального контроля качества макроструктуры наплавленного слоя установлено отсутствие дефектов при содержании флюс-добавки до 30 %.

Неметаллические включения в зоне наплавленного материала показаны на рис. 2. Результаты анализа загрязненности неметаллическими включениями приведены в табл. 5. При увеличении количества флюс-добавки в шихте более 20 % имеется тенденция к росту количества неметаллических включений.

Выводы

Применение техногенных отходов в виде флюс-добавки на основе ковшевого электросталеплавильного шлака и шлака производства силикомарганца в качестве шихты для получения наплавочного флюса. Полученные данные свидетельствуют об увеличении содержания серы в наплавленном слое, повышении загрязненности неметаллическими включениями наплавленного слоя при увеличении количества флюс-добавки в шихте более 20 %.

Т а б л и ц а 5

Неметаллические включения в зоне сварных швов

Table 5. Non-metallic inclusions in the area of weld joints

Образец	Неметаллические включения, балл	
	силикаты недеформирующиеся	оксиды точечные
1	1б, 2б	1а
2	2б, 1б	2а, 1а
3	1б, 2б	1а, 2а
4	1б, редко 2б	1а
5	1б, редко 2б	1а
6	2б, 3б, редко 4б	1а, 2а

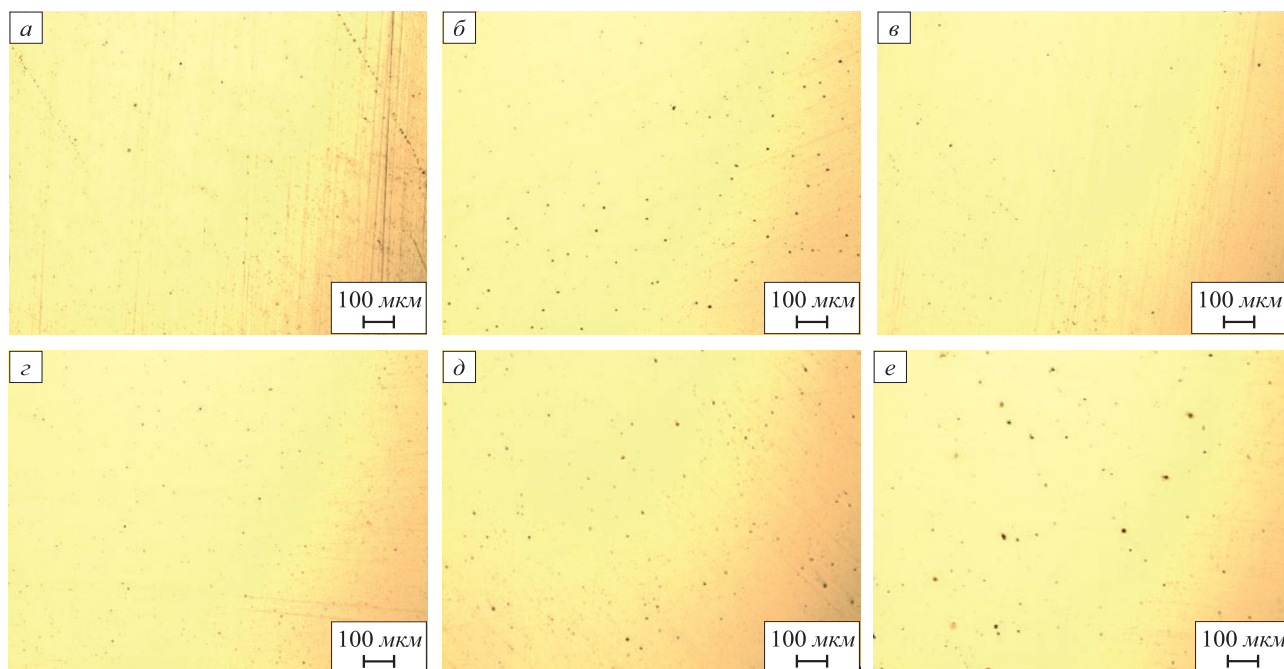


Рис. 2. Неметаллические включения в зоне наплавленных образцов 1 (а), 2 (б), 3 (в), 4 (г), 5 (д), 6 (е)

Fig. 2. Non-metallic inclusions in zone of the deposited samples 1 (a), 2 (b), 3 (в), 4 (г), 5 (д), 6 (е)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding // *Welding International*. 2011. Vol. 25. No. 11. P. 889–893. <https://doi.org/10.1080/09507116.2011.581431>
2. Игнатова А.М., Наумов С.В., Игнатов М.Н., Пушкин С.А., Суслов С.Б. Оценка пригодности и доступности базальтоидных и габброидных комплексов Западного Урала (Пермский край) для производства сварочных материалов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2010. Т. 12. № 4. С. 104–116.
3. Naumov S.V., Artemov A.O., Ignatov M.N., Belousov K.I. Special features of fused welding flux granular forming in carbon steel surfacing during plasma granulation // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 510. Article 012013. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/510/1/012013>
4. Naumov S.V., Ignatov M.N., Ignatova A.M., Artemov A.O. Development of slag base for welding fluxes from man-made mineral formations of Ural Mining and Smelting Companies // *Key Engineering Materials*. 2017. Vol. 743. P. 406–410. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.743.406>
5. Корниенко Е.Е., Игнатов М.Н., Игнатова А.М. и др. Исследование зависимости коэффициентов термического расширения металла шва и сварочных шлаков от температуры в диапазоне 100–1000 °C // *Обработка металлов*. 2012. № 3 (56). С. 116–119.
6. Crespo A.C., Puchol R.Q., González L.R., Gómez Pérez C.R., Castellanos G., Cedré E.D., Ortiz T. Study of the relationship between the composition of a fused flux and its structure and properties // *Welding International*. 2009. Vol. 23. No. 2. P. 120–131. <https://doi.org/10.1080/09507110802349668>
7. Puchol R.Q., Blanco J.R., Gonzalez L.P., Hernández G.C., Perez C.R.G. The influence of the air occluded in the deposition layer of flux during automatic welding: A technological aspect to consider in the quality of the bead // *Welding International*. 2009. Vol. 23. No. 2. P. 132–140. <https://doi.org/10.1080/09507110802349676>
8. Crespo A.C., Puchol R.Q., Gonzalez L.P., Sanchez L.G., Gomez Perez C.R., Cedre E.D., Mendez T.O., Pozol J.A. Obtaining a submerged arc welding flux of the MnO–SiO₂–CaO–Al₂O₃–CaF₂ system by fusion // *Welding International*. 2007. Vol. 21. No. 7. P. 502–511. <https://doi.org/10.1080/0950711070159746>
9. Volobuev Yu.S., Volobuev O.S., Parkhomenko A.G., Dobrozhe-la E.I., Klimenchuk O.S. Using a new general-purpose ceramic flux SFM-101 in welding of beams // *Welding International*. 2012. Vol. 26. No. 8. P. 649–653. <https://doi.org/10.1080/09507116.2011.653147>
10. Volobuev Yu.S., Surkov A.V., Volobuev O.S., Kipiani P.N., Shes-tov D.V., Pavlov N.V., Savchenko A.I. The development and properties of a new ceramic flux used for reconditioning rolling stock components // *Welding International*. 2010. Vol. 24. No. 4. P. 298–300. <https://doi.org/10.1080/09507110903320006>
11. Makienko V.M., Atenyaev A.V., Belous T.V. Development of welding fluxes for hardfacing based on mineral raw materials of the Far Eastern Region of Russia // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2021. Vol. 12. No. 2. P. 558–569. <https://doi.org/10.1134/S2075113321020350>
12. Park J.Y., Chang W.S., Sohn I. Effect of MnO to hydrogen dissolution in CaF₂–CaO–SiO₂ based welding type fluxes // *Science and Technology of Welding & Joining*. 2012. Vol. 17. No. 2. P. 134–140. <https://doi.org/10.1179/1362171811Y.0000000084>
13. Kim J.B., Sohn I. Influence of TiO₂/SiO₂ and MnO on the viscosity and structure in the TiO₂–MnO–SiO₂ welding flux system // *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2013. Vol. 379. P. 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2013.08.010>
14. Титаренко В.И., Голякевич А.А., Орлов Л.Н., Мосыпан В.В., Бабенко М.А. и др. Восстановительная наплавка валков прокатных станов порошковой проволокой // *Сварочное производство*. 2013. № 7. С. 29–32.
1. Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding. *Welding International*. 2011, vol. 25, no. 11, pp. 889–893. <https://doi.org/10.1080/09507116.2011.581431>
2. Ignatova A.M., Naumov S.V., Ignatov M.N., Pushkin S.A., Suslov S.B. Suitability and availability of basaltoid and gabbroid complexes of the Western Urals (Perm Territory) for the production of welding materials. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroyeniye, materialovedeniye*. 2010, vol. 12, no. 4, pp. 104–116. (In Russ.).
3. Naumov S.V., Artemov A.O., Ignatov M.N., Belousov K.I. Special features of fused welding flux granular forming in carbon steel surfacing during plasma granulation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019, vol. 510, article 012013. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/510/1/012013>
4. Naumov S.V., Ignatov M.N., Ignatova A.M., Artemov A.O. Development of slag base for welding fluxes from man-made mineral formations of Ural Mining and Smelting Companies. *Key Engineering Materials*. 2017, vol. 743, pp. 406–410. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.743.406>
5. Kornienko E.E., Ignatov M.N., Ignatova A.M., etc. Dependence of thermal-expansion coefficients of weld metal and welding slags on temperature of 100–1000 °C. *Obrabotka metallov*. 2012, no. 3 (56), pp. 116–119. (In Russ.).
6. Crespo A.C., Puchol R.Q., González L.R., Gómez Pérez C.R., Castellanos G., Cedré E.D., Ortiz T. Study of the relationship between the composition of a fused flux and its structure and properties. *Welding International*. 2009, vol. 23, no. 2, pp. 120–131. <https://doi.org/10.1080/09507110802349668>
7. Puchol R.Q., Blanco J.R., Gonzalez L.P., Hernández G.C., Perez C.R.G. The influence of the air occluded in the deposition layer of flux during automatic welding: A technological aspect to consider in the quality of the bead. *Welding International*. 2009, vol. 23, no. 2, pp. 132–140. <https://doi.org/10.1080/09507110802349676>
8. Crespo A.C., Puchol R.Q., Gonzalez L.P., Sanchez L.G., Gomez Perez C.R., Cedre E.D., Mendez T.O., Pozol J.A. Obtaining a submerged arc welding flux of the MnO–SiO₂–CaO–Al₂O₃–CaF₂ system by fusion. *Welding International*. 2007, vol. 21, no. 7, pp. 502–511. <https://doi.org/10.1080/0950711070159746>
9. Volobuev Yu.S., Volobuev O.S., Parkhomenko A.G., Dobrozhe-la E.I., Klimenchuk O.S. Using a new general-purpose ceramic flux SFM-101 in welding of beams. *Welding International*. 2012, vol. 26, no. 8, pp. 649–653. <https://doi.org/10.1080/09507116.2011.653147>
10. Volobuev Yu.S., Surkov A.V., Volobuev O.S., Kipiani P.N., Shes-tov D.V., Pavlov N.V., Savchenko A.I. The development and properties of a new ceramic flux used for reconditioning rolling stock components. *Welding International*. 2010, vol. 24, no. 4, pp. 298–300. <https://doi.org/10.1080/09507110903320006>
11. Makienko V.M., Atenyaev A.V., Belous T.V. Development of welding fluxes for hardfacing based on mineral raw materials of the Far Eastern Region of Russia. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2021, vol. 12, no. 2, pp. 558–569. <https://doi.org/10.1134/S2075113321020350>
12. Park J.Y., Chang W.S., Sohn I. Effect of MnO to hydrogen dissolution in CaF₂–CaO–SiO₂ based welding type fluxes. *Science and Technology of Welding & Joining*. 2012, vol. 17, no. 2, pp. 134–140. <https://doi.org/10.1179/1362171811Y.0000000084>
13. Kim J.B., Sohn I. Influence of TiO₂/SiO₂ and MnO on the viscosity and structure in the TiO₂–MnO–SiO₂ welding flux system. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2013, vol. 379, pp. 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2013.08.010>
14. Titarenko V.I., Golyakevich A.A., Orlov L.N., Mosypan V.V., Babenko M.A., etc. Restorative surfacing of rolls of rolling mills with powder wire. *Svarochnoe proizvodstvo*. 2013, no. 7, pp. 29–32. (In Russ.).

15. Глазунов С.Н., Вялков В.Г., Варламова Л.Д., Цирков П.А. Применение способа электродуговой наплавки с ферромагнитной шихтой для изготовления и восстановления роликов системы вторичного охлаждения УНПС // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 121. С. 197–205.
16. Goritskiy V.M., Gladshstein L.I., Shneyderov G.R., Dyrneva A.A. Effect of the thermal cycle of welding on impact toughness components of different zones of welded joints in 10G2SB and 10G2SFB steels // *Welding International*. 2017. Vol. 31. No. 5. P. 410–414. <https://doi.org/10.1080/09507116.2016.1268760>
17. Naumov S.V., Ignatova A.M., Ignatov M.N. Submerged arc welding using slag base of West Urals mineral raw resources with low detrimental impurities content // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 206. P. 1355–1359. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.644>
18. Канина А.В., Наумов С.В., Черняев А.И. и др. Разработка сварочных материалов и технологий повышения качества сварочных соединений магистральных трубопроводов для обеспечения эксплуатационной безопасности. В кн.: Сб. материалов Всерос. молодеж. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Инженерная мысль машиностроения будущего». Екатеринбург: УрФУ, 2012. С. 126, 127.
19. Kryukov R.E., Kozyrev N.A., Kozyreva O.A., Usoltsev A.A. Manufacturing of new welding fluxes using silicomanganese slag // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 253. No. 1. Article 012007. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/253/1/012007>
20. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Крюков Н.Е., Ковальский И.Н., Козырева О.Е. Разработка новых сварочных флюсов и флюс-добавок для сварки и наплавки стали с использованием отходов металлургического производства. Сообщение 2. Сварочные флюсы на основе шлака силикомарганца // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2017. № 5. С. 85–90.
15. Glazunov S.N., Vyalkov V.G., Varlamova L.D., Tsirkov P.A. Application of electric arc surfacing with ferromagnetic charge to manufacture and restoration of rollers of the secondary cooling system of CCM. *Trudy GOSNITI*. 2015, vol. 121, pp. 197–205. (In Russ.).
16. Goritskiy V.M., Gladshstein L.I., Shneyderov G.R., Dyrneva A.A. Effect of the thermal cycle of welding on impact toughness components of different zones of welded joints in 10G2SB and 10G2SFB steels. *Welding International*. 2017, vol. 31, no. 5, pp. 410–414. <https://doi.org/10.1080/09507116.2016.1268760>
17. Naumov S.V., Ignatova A.M., Ignatov M.N. Submerged arc welding using slag base of West Urals mineral raw resources with low detrimental impurities content. *Procedia Engineering*. 2017, vol. 206, pp. 1355–1359. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.644>
18. Kanina A.V., Naumov S.V., Chernyaev A.I., etc. Development of welding materials and technologies for improving the quality of welding joints of main pipelines to ensure operational safety. In: *Proceedings of All-Russ. Youth. Sci. and Pract. Conf. with Int. Participation "Engineering Thought of the Future Machinery"*. Yekaterinburg: UrFU, 2012, pp. 126, 127. (In Russ.).
19. Kryukov R.E., Kozyrev N.A., Kozyreva O.A., Usoltsev A.A. Manufacturing of new welding fluxes using silicomanganese slag. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017, vol. 253, no. 1, article 012007. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/253/1/012007>
20. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Kryukov N.E., Koval'skii I.N., Kozyreva O.E. Development of new welding fluxes and flux additives for welding and surfacing steel using waste from metallurgical production. Report 2. Welding fluxes based on silicomanganese slag. *Chernaya metallurgiya. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2017, no. 5, pp. 85–90. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Николай Анатольевич Козырев, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой материаловедения, литейного и сварочного производства, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0002-7391-6816

E-mail: kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru

Алексей Романович Михно, аспирант кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0002-7305-6692

E-mail: mikno-mm131@mail.ru

Александр Александрович Усольцев, к.т.н., доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0001-6220-7910

E-mail: a.us@rambler.ru

Роман Евгеньевич Крюков, к.т.н., доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства, Сибирский государственный индустриальный университет

E-mail: rek_nzrmk@mail.ru

Артем Сергеевич Симачев, к.т.н., доцент, заместитель директора Центра коллективного пользования «Материаловедение», Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0002-9712-3757

E-mail: simachev_as@mail.ru

Nikolai A. Kozyrev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production", Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0002-7391-6816

E-mail: kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru

Aleksei R. Mikhno, Postgraduate of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production", Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0002-7305-6692

E-mail: mikno-mm131@mail.ru

Aleksandr A. Usoltsev, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production", Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0001-6220-7910

E-mail: a.us@rambler.ru

Roman E. Kryukov, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production", Siberian State Industrial University

E-mail: rek_nzrmk@mail.ru

Artem S. Simachev, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof., Deputy Director of the Center for Collective Use "Materials Science", Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0002-9712-3757

E-mail: simachev_as@mail.ru

Поступила в редакцию 13.03.2018

После доработки 15.05.2019

Принята к публикации 14.05.2021

Received 13.03.2018

Revised 15.05.2019

Accepted 14.05.2021