

УДК 621.791:624

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАРИЙ-СТРОНЦИЕВОГО КАРБОНАТИТА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ НА ОСНОВЕ ШЛАКА ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКОМАНГАНЦА\*

**Крюков Р.Е.**, к.т.н., доцент кафедры материаловедения, литейного  
и сварочного производства (rek\_nzrmk@mail.ru)

**Козырев Н.А.**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой материаловедения,  
литейного и сварочного производства (kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru)

**Бащенко Л.П.**, к.т.н., старший преподаватель кафедры теплоэнергетики  
и экологии (luda.baschenko@gmail.com)

**Козырева О.Е.**, инженер, соискатель степени к.т.н. кафедры материаловедения,  
литейного и сварочного производства (kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru)

**Михно А.Р.**, бакалавр кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства

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

**Аннотация.** Приведены результаты исследования введения барий-стронциевого карбоната различного фракционного состава во флюс на основе шлака производства силикомарганца. Показана принципиальная возможность использования их смеси для наплавки и сварки низколегированных сталей, при этом применение барий-стронциевого карбоната позволяет снизить загрязненность металла сварного шва неметаллическими включениями. В серии опытов в лабораторных условиях изготавливали и исследовали различные составы сварочных флюсов. В качестве компонентов использовали барий-стронциевый модификатор БСК по ТУ 1717-001-75073896 – 2005 производства ООО «НПК Металлотехнопром», содержащий 13,0 – 19,0 % BaO; 3,5 – 7,5 % SrO; 17,5 – 25,5 % CaO; 19,8 – 29,8 % SiO<sub>2</sub>; 0,7 – 1,1 % MgO; 2,5 – 3,5 % K<sub>2</sub>O; 1,0 – 2,0 % Na<sub>2</sub>O; 1,5 – 6,5 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0 – 0,4 % MnO; 1,9 – 3,9 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,7 – 1,1 % TiO<sub>2</sub>; 16,0 – 20,0 % CO<sub>2</sub> (по массе), и шлак силикомарганца производства АО «ЕВРАЗ – Западно-Сибирский металлургический комбинат», содержащий 6,91 – 9,62 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 22,85 – 31,70 % CaO; 46,46 – 48,16 % SiO<sub>2</sub>; 0,27 – 0,81 % FeO; 6,48 – 7,92 % MgO; 8,01 – 8,43 % MnO; 0,28 – 0,76 % F; 0,26 – 0,36 % Na<sub>2</sub>O; до 0,62 % K<sub>2</sub>O; 0,15 – 0,17 % S; 0,01 % P (по массе). Основа флюса – шлак производства силикомарганца, в который вводили флюс-добавку. Флюс-добавку изготавливали по двум вариантам. Первый вариант: путем смешения барий-стронциевого модификатора с жидким стеклом в соотношении 75 и 35 % соответственно. Второй вариант: использовали в качестве флюс-добавки пыль стронций-бариевого модификатора фракции менее 0,2 мм. Приведена технология изготовления флюс-добавки. Наплавку валиков проводили с использованием сварочного трактора ASAW-1250. Отработаны режимы наплавки. Определены химические составы флюсов, шлаковых корок и наплавленного металла. Выполнены металлографические исследования металла. Анализ на наличие неметаллических включений в зоне шва проведен согласно ГОСТ 1778 – 70. Исследования указывают на снижение загрязненности металла сварного шва силикатами недеформирующимися и отсутствие силикатов хрупких.

**Ключевые слова:** сварка, флюсы, технология, сварной шов, барий-стронциевый карбонатит, образцы, неметаллические включения, микроструктура, механические свойства.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-8-596-600

Утилизация техногенных отходов металлургического производства в качестве компонентов для изготовления сварочных флюсов широко используется в РФ и за рубежом [1 – 8]. Одним из таких компонентов является шлак производства силикомарганца [9, 10]. В настоящей работе рассмотрена возможность использования барий-стронциевого карбоната в качестве добавки в сварочные флюсы на основе шлака производства силикомарганца.

В серии опытов в лабораторных условиях изготавливали и исследовали различные составы сварочных флюсов. Химический состав барий-стронциевого модификатора БСК по ТУ 1717-001-75073896 – 2005 произ-

водства ООО «НПК Металлотехнопром» следующий: 13,0 – 19,0 % BaO; 3,5 – 7,5 % SrO; 17,5 – 25,5 % CaO; 19,8 – 29,8 % SiO<sub>2</sub>; 0,7 – 1,1 % MgO; 2,5 – 3,5 % K<sub>2</sub>O; 1,0 – 2,0 % Na<sub>2</sub>O; 1,5 – 6,5 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0 – 0,4 % MnO; 1,9 – 3,9 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,7 – 1,1 % TiO<sub>2</sub>; 16,0 – 20,0 % CO<sub>2</sub>.

Применяли шлак силикомарганца производства АО «ЕВРАЗ – Западно-Сибирский металлургический комбинат», химический состав которого следующий: 6,91 – 9,62 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 22,85 – 31,70 % CaO; 46,46 – 48,16 % SiO<sub>2</sub>; 0,27 – 0,81 % FeO; 6,48 – 7,92 % MgO; 8,01 – 8,43 % MnO; 0,28 – 0,76 % F; 0,26 – 0,36 % Na<sub>2</sub>O; до 0,62 % K<sub>2</sub>O; 0,15 – 0,17 % S; 0,01 % P.

Флюс-добавку изготавливали по двум вариантам. Первый вариант: путем смешения барий-стронциево-

\* Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых м/с-835.2017.8.

го модификатора с жидким стеклом в соотношении 75 и 35 % соответственно. После чего осуществляли выдержку при комнатной температуре в течение 24 ч, последующую сушку в печи при температуре 300 °С, охлаждение, дробление и просев с выделением фракции 0,45 – 2,5 мм. Второй вариант: использовали в качестве флюс-добавки пыль барий-стронциевого модификатора фракции менее 0,2 мм.

Основа флюса – шлак производства силикомарганца, в который вводили флюс-добавку.

Применяли шлак производства силикомарганца фракции 0,45 – 2,5 мм в смеси с флюс-добавкой (барий-стронциевым модификатором с жидким стеклом в соотношении 75 и 25 %) в количестве 2, 4 и 6 % (М2, М4, М6) и пылью барий-стронциевого карбоната в количестве 2 и 6 % (М21, М61) в сравнении с флюсом, изготовленном из 100 % шлака производства силикомарганца без добавок (М).

Процентное соотношение барий-стронциевого модификатора с жидким стеклом, барий-стронциевого модификатора пылеобразного и шлака производства силикомарганца представлено в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

## Соотношение количеств флюса и флюс-добавки

Table 1. Ratio of flux and flux additives

Маркировка флюса	Количество барий-стронциевого модификатора, %		Количество шлака производства силикомарганца, %
	с жидким стеклом	пылеобразного	
М	–	–	100
М2	2	–	98
М4	4	–	96
М6	6	–	94
М21	–	2	98
М61	–	6	94

Наплавку валиков производили на образцах размером 300×150 мм толщиной 20 мм из листовой стали марки 09Г2С. Процесс проводили проволокой Св-08ГА diam. 4 мм с использованием сварочного трактора АСАW-1250. Режимы наплавки (сила тока  $I$ , напряжение  $U$ , скорость сварки  $V$ ), обеспечивающие высокое качество поверхности наплавленного валика, приведены в табл. 2.

Химические составы флюсов, шлаковых корок, флюса и металла сварных швов приведены в табл. 3 – 5 соответственно.

Из сваренных пластин были вырезаны образцы, выполнены рентгеноспектральный анализ состава металла швов (табл. 5), металлографические исследования металла сварных швов.

Металлографическое исследование проводили на микрошлифах без травления с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 при увеличении 100. Результаты анализа на наличие неметаллических включений в зоне сварного шва, проведенного согласно ГОСТ 1778 – 70, приведены на рисунке.

Исследования указывают на снижение загрязненности металла сварного шва силикатами недеформирующимися и отсутствие силикатов хрупких.

Т а б л и ц а 2

## Режимы наплавки

Table 2. Modes of surfacing

Марка флюса	Режим наплавки		
	$I$ , А	$U$ , В	$V$ , м/ч
М	700	30	30
М2	700	30	30
М4	700	30	35
М6	680	28	28
М21	700	30	35
М61	680	28	28

Т а б л и ц а 3

## Химический состав флюса

Table 3. Chemical composition of flux

Флюс	Содержание элементов, %															
	FeO	MnO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	S	P	ZnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	BaO	SrO	TiO <sub>2</sub>
М	0,50	7,97	31,34	46,09	60,61	5,74	0,40	0,01	0,33	0,011	0,0040	0,05	0,45	0,12	0,072	0,07
М2	1,39	7,68	31,27	46,31	6,48	5,40	10,52	0,04	0,20	0,022	0,0080	0,03	0,48	0,35	0,180	0,09
М4	0,77	7,69	30,56	46,11	6,42	5,42	0,49	0,03	0,38	0,022	0,0014	0,04	0,36	0,35	0,210	0,08
М6	1,11	7,12	29,27	45,52	6,87	4,75	0,75	0,20	0,17	0,037	0,0012	0,04	0,45	0,79	0,410	0,14
М21	1,32	7,94	32,09	45,19	6,20	5,35	0,36	0,01	0,43	0,014	0,0090	0,05	0,40	0,15	0,087	0,07
М61	0,33	8,02	30,97	46,38	6,71	6,01	0,29	0,01	0,18	0,013	0,0090	0,03	0,42	0,16	0,092	0,07

**Химический состав шлаковых корок**

Table 4. Chemical composition of slag crusts

Флюс	Содержание элементов, %															
	FeO	MnO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	S	P	ZnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	BaO	SrO	TiO <sub>2</sub>
М	1,69	7,78	32,35	42,50	6,59	5,55	0,30	0,01	0,21	0,011	0,012	0,04	0,37	0,11	0,057	0,07
М2	2,07	7,54	31,91	43,63	6,52	5,92	0,31	0,01	0,16	0,012	0,006	0,10	0,45	0,19	0,098	0,08
М4	2,11	7,15	31,45	45,31	6,38	5,42	0,43	0,03	0,18	0,017	0,008	0,07	0,41	0,38	0,200	0,09
М6	1,93	7,20	31,37	44,30	7,46	5,26	0,39	0,02	0,23	0,017	0,008	0,05	0,46	0,34	0,190	0,09
М21	2,34	7,42	31,97	43,30	6,59	5,56	0,31	0,03	0,02	0,014	0,004	0,07	0,38	0,34	0,200	0,07
М61	2,21	6,95	30,26	45,55	7,06	4,99	0,33	0,13	0,17	0,017	0,011	0,04	0,38	0,64	0,390	0,11

**Химический состав наплавленного металла**

Table 5. Chemical composition of surfaced metal

Проба	Содержание элементов, %															
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	W	V	Mo	Al	Nb	S	P	Ba	Sr
М	0,07	0,43	1,16	0,05	0,11	0,14	отс.	0,018	0,007	0,021	отс.	0,003	0,019	0,012	отс.	отс.
М2	0,08	0,26	0,83	0,05	0,13	0,15	отс.	0,012	0,003	0,020	0,002	0,004	0,016	0,009	0,0041	отс.
М4	0,07	0,29	0,84	0,05	0,13	0,15	отс.	0,006	0,005	0,020	отс.	0,003	0,025	0,014	отс.	отс.
М6	0,09	0,26	0,77	0,04	0,10	0,15	отс.	0,013	0,004	0,020	0,002	0,003	0,021	0,011	0,0065	отс.
М21	0,09	0,31	0,76	0,05	0,13	0,15	отс.	0,011	0,004	0,019	отс.	0,002	0,030	0,013	0,0119	отс.
М61	0,08	0,23	0,77	0,05	0,13	0,14	0,001	0,011	0,004	0,017	0,001	0,003	0,021	0,014	отс.	0,0001

**Неметаллические включения в зоне сварных швов**

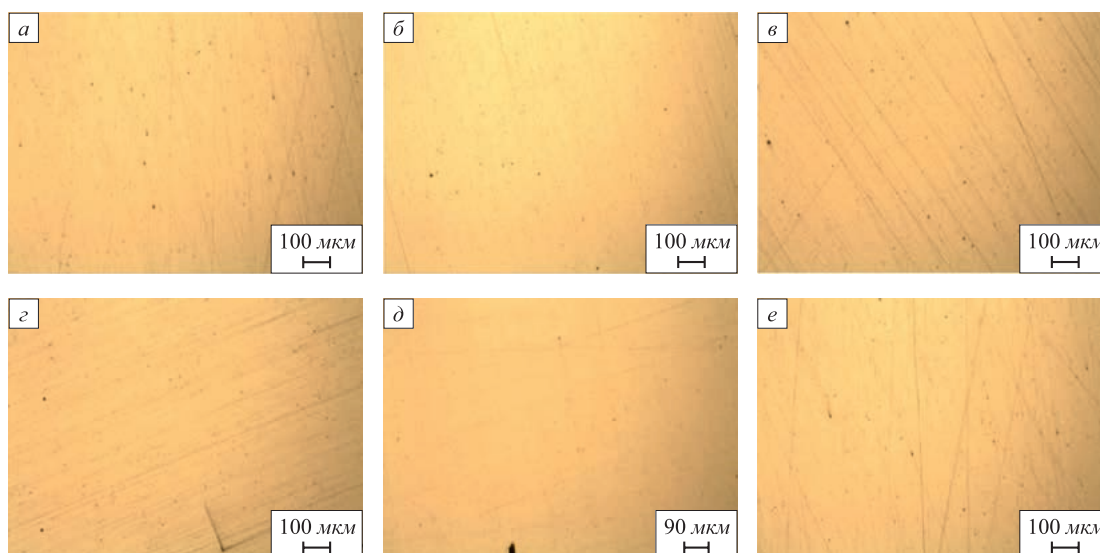
Table 6. Non-metallic inclusions in zone of weld seams

Образец	Неметаллические включения, балл		
	силикаты недеформирующиеся	силикаты хрупкие	оксиды точечные
М	1а; 2а; 4б	отс.	2а
М2	3б; 2б;	отс.	1а
М4	3б; 1а	отс.	1а
М6	1а	отс.	1а
М21	3а; 4б	отс.	3а; 2а
М61	2а; 1б	отс.	1а

**Выводы.** Показана принципиальная возможность использования барий-стронциевого карбонатита в качестве добавки в сварочные флюсы на основе шлака производства силикомарганца. Использование барий-стронциевого карбонатита позволяет снизить загрязненность сварного шва неметаллическими включениями: силикатами недеформирующимися, оксидами точечными и силикатами хрупкими.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

- Amado Cruz Crespo, Rafael Quintana Puchol, Lorenzo Perdomo González, Carlos R. Gómez Pérez, Gilma Castellanos, Eduardo Díaz Cedrea, Tamara Ortiz. 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.
- Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding // *Welding International*. 2011. Vol. 25. No. 11. P. 889 – 893.
- Rafael Quintana Puchol, Jeily Rodríguez Blanco, Lorenzo Perdomo Gonzalez, Gilma Castellanos Hernández, Carlos Rene Gómez Pérez. 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.
- 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–SiO<sub>2</sub>–CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – CaF<sub>2</sub> system by fusion // *Welding International*. 2007. Vol. 21. No. 7. P. 502 – 511.
- 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.
- Volobuev Yu.S., Surkov A.V., Volobuev O.S., Kipiani P.N., Shestov 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.



Неметаллические включения в зоне сварных швов образцов M2 (а), M4 (б), M61 (в), M21 (з), M6 (д), M (е)

Non-metallic inclusions in the welded joints zone of the samples M2 (a), M4 (б), M61 (в), M21 (з), M6 (д), M (e)

- Potapov N.N., Kurlanov S.A. A criterion for evaluating the activity of fused welding fluxes // *Welding International*. 1987. Vol. 1. No. 10. P. 951 – 954.
- Babushkin P.L., Persits V.Yu. Determination of hydrogen in the form of moisture in basic electrode coatings and fluxing materials in metallurgical production // *Welding International*. 1991. Vol. 5. No. 9. P. 741 – 742.
- Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Козырева О.Е., Липатова У.И. Изготовление сварочных флюсов с использованием отвальных шлаков производства силикомарганца. – В кн.: *Обработка материалов: современные проблемы и пути решения. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов / Юргинский технологический институт*. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. С. 90 – 95.
- Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Липатова У.И., Козырева О.Е. О возможности использования шлака производства силикомарганца для изготовления сварочных флюсов. – В кн.: *Металлургия: технологии, инновации, качество. Труды XIX научно-практической конференции*. В 2 ч. Ч. 2 / Под общ. ред. Е.В. Протопопова. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2015. С. 188 – 191.
- Липатова У.И., Матинин И.В., Проводова А.А., Кузьменко Д.И. Влияние добавки барийстронциевого карбонатита во флюс на качество сварного шва. – В кн.: *Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Сборник трудов Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Вып. 20. Ч. III. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2016. С. 266 – 271.
- Поволоцкий Д.Я., Рошин В.Е., Мальков Н.В. *Электрометаллургия стали и ферросплавов*. – М.: *Металлургия*, 1995. – 592 с.
- Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И. *Теория и технология производства ферросплавов*. – М.: *Металлургия*, 1988. – 784 с.
- Электрометаллургия стали и ферросплавов / Д.Я. Поволоцкий, В.Е. Рошин, М.А. Рысс, А.И. Строганов, М.А. Ярцев. – М.: *Металлургия*, 1984. – 586 с.
- Гасик М.И., Лякишев Н.П. *Теория и технология электрометаллургии ферросплавов*. – М.: *СП Интермет инжиниринг*, 1999. – 764 с.
- Рысс М.А. *Производство ферросплавов*. – М.: *Металлургия*, 1985. – 344 с.
- Сварочные материалы для дуговой сварки: справочник*. В 2 т. Т. 1. *Защитные газы и сварочные флюсы: справочное пособие / Н.Н. Потапов, Б.П. Конищев, С.А. Курланов и др.; ред. Н.Н. Потапов*. – М.: *Машиностроение*, 1989. – 544 с.
- Подгаецкий В.В., Рабкин Д.М. *Флюсы для автоматической и полуавтоматической сварки*. – Киев: *Изд-во АН УССР*, 1954. – 56 с.
- Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Дмитриенко В.И., Платонов М.А. Модифицирование стали барием и стронцием // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2015. Т. 58. № 12. С. 871 – 875.
- Григорьев Ю.В., Рябчиков И.В., Рошин В.Е. Термодинамический анализ совместного восстановления кремния и бария углеродом // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2005. № 7. С. 3 – 5.

Поступила 14 декабря 2017 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2018. VOL. 61. NO. 8, pp. 596–600.

## APPLICATION OF BARIUM-STRONTIUM CARBONATITE FOR PRODUCTION OF WELDING FLUXES BASED ON SILICOMANGANAZE PRODUCTION SLAG

R.E. Kryukov, N.A. Kozyrev, L.P. Bashchenko, O.E. Kozyreva, A.R. Mikhno

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Kemerovo Region, Russia

**Abstract.** The study results of introduction of barium-strontium carbonatite of various fractional composition into flux based on silicomanganese

production slag are presented. The principal possibility of using their mixtures for depositing and welding of low-alloy steels is shown, while the use of barium-strontium carbonatite makes it possible to reduce contamination of weld metal with nonmetallic inclusions. In series of experiments in laboratory conditions, various compositions of welding fluxes were made and investigated. As components, barium-strontium modifier BSC produced by “NPK Metallotechnoprom” LC under TU 1717-001-75073896-2005 was used, wt. %: 13.0 – 19.0 % BaO;



3,5–7,5 % SrO; 17,5–25,5 % CaO; 19,8–29,8 % SiO<sub>2</sub>; 0,7–1,1 % MgO; 2,5–3,5 % K<sub>2</sub>O; 1,0–2,0 % Na<sub>2</sub>O; 1,5–6,5 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0 to 0,4 % MnO; 1,9–3,9 % of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,7–1,1 % TiO<sub>2</sub>; 16,0–20,0 % CO<sub>2</sub> as well as silicomanganese slag produced by JSC “EVRAZ – West-Siberian Metallurgical Combine”, wt. %: 6,91–9,62 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 22,85–31,70 % CaO; 46,46–48,16 % SiO<sub>2</sub>; 0,27–0,81 % FeO; 6,48–7,92 % MgO; 8,01–8,43 % MnO; 0,28–0,76 % F; 0,26–0,36 % Na<sub>2</sub>O; up to 0,62 % K<sub>2</sub>O; 0,15–0,17 % S; 0,01 % P. Basis of the flux is silicomanganese production slag, into which a flux additive was introduced. Flux additive was produced in two ways. The first one: by mixing barium-strontium modifier with liquid glass in a ratio of 75 and 35 %, respectively. The second variant is as follows: dust of strontium-barium modifier of fraction less than 0,2 mm was used as a flux additive. The technology of flux-additive manufacturing is described. Welding of rollers was carried out using ASAW-1250 welding tractor. Regimes of surfacing were worked out. The chemical compositions of fluxes, slag crusts, flux and weld metal were determined. Metallographic studies of metal were performed. The results of analysis for presence of nonmetallic inclusions in weld zone were carried out in accordance with GOST 1778–70. Studies indicate a decrease in contamination of weld metal by silicates that are not deformed and absence of brittle silicates.

**Keywords:** welding, flux, technology, welded seam, barium-strontium carbonate, sample, non-metallic inclusions, microstructure, mechanical properties.

**DOI:** 10.17073/0368-0797-2018-8-596-600

## REFERENCES

- Amado Cruz Crespo, Rafael Quintana Puchol, Lorenzo Perdomo González, Carlos R. Gómez Pérez, Gilma Castellanos, Eduardo Díaz Cedréa, Tamara Ortiz. 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.
- Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding. *Welding International*. 2011, vol. 25, no. 11, pp. 889–893.
- Rafael Quintana Puchol, Jeily Rodríguez Blanco, Lorenzo Perdomo Gonzalez, Gilma Castellanos Hernández, Carlos Rene Gómez Pérez. 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.
- 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–SiO<sub>2</sub>–CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–CaF<sub>2</sub> system by fusion. *Welding International*. 2007, vol. 21, no. 7, pp. 502–511.
- 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.
- 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 recoditoning rolling stock components. *Welding International*. 2010, vol. 24, no. 4, pp. 298–300.
- Potapov N.N., Kurlanov S.A. A criterion for evaluating the activity of fused welding fluxes. *Welding International*. 1987, vol. 1, no. 10, pp. 951–954.
- Babushkin P.L., Persits V.Yu. Determination of hydrogen in the form of moisture in basic electrode coatings and fluxing materials in metallurgical production. *Welding International*. 1991, vol. 5, no. 9, pp. 741–742.
- Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Kozyreva O.E., Lipatova U.I. Production of welding fluxes using silicomanganese waste slag. In: *Ob-rabotka materialov: sovremennye problemy i puti resheniya. Sbornik trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov* [Processing of materials: modern problems and solutions. Coll. of Proc. of the All-Russian Sci. and Pract. Conf. of Young Scientists, Post-Graduates and Students]. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2015, pp. 90–95. (In Russ.).
- Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Lipatova U.I., Kozyreva O.E. On possibility of silicium manganese slag application for welding fluxes production. In: *Metallurgiya: tekhnologii, innovatsii, kachestvo. Trudy XIX nauchno-prakticheskoi konferentsii. V 2 ch. Ch. 2* [Metallurgy: technologies, innovations, quality. Proc. of the 19th Sci.-Prac. Conf. In 2 Vol. Part 2]. Protopopov E.V. ed. Novokuznetsk: izd. Sib-GIU, 2015, pp. 188–191. (In Russ.).
- Lipatova U.I., Matinin I.V., Provodova A.A., Kuz'menko D.I. Influence of addition of barium-strontium carbonate in flux on weld seam quality. In: *Nauka i molodezh': problemy, poiski, resheniya. Sbornik trudov Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. Vyp. 20. Ch. III* [Science and youth: problems, searches, solutions. Coll. of Works of the All-Russian Sci. Conf. of Students, Graduate Students and Young Scientists. Issue 20. Part III]. Novokuznetsk: izd. SibGIU, 2016, pp. 266–271. (In Russ.).
- Povolotskii D.Ya., Roshchin V.E., Mal'kov N.V. *Elektrometallurgiya stali i ferrosplavov* [Electrometallurgy of steel and ferroalloys]. Moscow: Metallurgiya, 1995, 592 p. (In Russ.).
- Gasik M.I., Lyakishev N.P., Emlin B.I. *Teoriya i tekhnologiya proizvodstva ferrosplavov* [Theory and technology of ferroalloys production]. Moscow: Metallurgiya, 1988, 784 p. (In Russ.).
- Povolotskii D.Ya., Roshchin V.E., Ryss M.A., Stroganov A.I., Yartsev M.A. *Elektrometallurgiya stali i ferrosplavov* [Electrometallurgy of steel and ferroalloys]. Moscow: Metallurgiya, 1984, 586 p. (In Russ.).
- Gasik M.I., Lyakishev N.P. *Teoriya i tekhnologiya elektrometallurgii ferrosplavov* [Theory and technology of ferroalloys electrometallurgy]. Moscow: Internet inzhiniring, 1999, 764 p. (In Russ.).
- Ryss M.A. *Proizvodstvo ferrosplavov* [Production of ferroalloys]. Moscow: Metallurgiya, 1985, 344 p. (In Russ.).
- Potapov N.N., Konishchev B.P., Kurlanov S.A., etc. *Svarochnyye materialy dlya dugovoi svarki: spravochnik. V 2 t. T. 1. Zashchitnyye gazy i svarochnyye flyusy: spravochnoe posobie* [Welding materials for arc welding: Reference book. In 2 vols. Vol. 1. Protective gases and welding fluxes]. Potapov N.N. ed. Moscow: Mashinostroenie, 1989, 544 p. (In Russ.).
- Podgaetskii V.V., Rabkin D.M. *Flyusy dlya avtomaticheskoi i poluavtomaticheskoi svarki* [Fluxes for automatic and semi-automatic welding]. Kiev: Izd-vo AN USSR, 1954, 56 p. (In Russ.).
- Rozhikhina I.D., Nokhrina O.I., Dmitrienko V.I., Platonov M.A. Modification of steel by barium and strontium. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2015, vol. 58, no. 12, pp. 871–875. (In Russ.).
- Grigor'ev Yu.V., Ryabchikov I.V., Roshchin V.E. Thermodynamic analysis of joint reduction of silicon and barium by carbon. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2005, no. 7, pp. 3–5. (In Russ.).

**Acknowledgements.** The work was performed within the framework of the grant of the President of Russian Federation for state support of young Russian scientists м/с-835.2017.8

## Information about the authors:

**R.E. Kryukov**, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair “Materials, Foundry and Welding Production” (rek\_nzrmk@mail.ru)  
**N.A. Kozyrev**, Dr Sci (Eng), Professor, Head the of Chair “Materials, Foundry and Welding Production” (kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru)  
**L.P. Bashchenko**, Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair “Thermal Power and Ecology” (luda.baschenko@gmail.com)  
**O.E. Kozyreva**, Engineer, Candidate for a degree of Cand. Sci. (Eng.) of the Chair “Materials, Foundry and Welding Production” (kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru)  
**A.R. Mikhno**, Bachelor of the Chair “Materials, Foundry and Welding Production”

Received December 14, 2017