

УДК 621.791:624

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ШВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ НА ОСНОВЕ ШЛАКА СИЛИКОМАНГАНЦА

Крюков Р.Е., к.т.н., старший преподаватель кафедры «Материаловедение, литейное
и сварочное производство» (rek_nzrmk@mail.ru)

Козырев Н.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение, литейное
и сварочное производство» (kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru)

Прохоренко О.Д., к.т.н., ведущий методист (alvipr@yandex.ru)

Бащенко Л.П., к.т.н., зам. ответственного секретаря журнала (luda.baschenko@gmail.com)

Кибко Н.В., к.т.н., ведущий инженер (krivicheva_nv@mail.ru)

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

Аннотация. Приведены результаты изучения использования отходов металлургического производства в качестве составляющих сварочных флюсов. Разработаны состав и технология изготовления нового сварочного флюса с применением шлака производства силикомарганца. Представлены результаты использования этого шлака для изготовления сварочных флюсов. В целях исследования качества сварных швов проведен металлографический анализ, определены величина зерна и уровень загрязненности неметаллическими включениями. Металлографические исследования проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в диапазоне увеличений 100 – 1000 крат. Изучено влияние фракционного состава флюсов на их сварочно-технологические свойства. Подобрана оптимальная фракция, обеспечивающая низкий уровень загрязненности металла сварного шва оксидными неметаллическими включениями, в частности силикатами недеформирующимися и оксидами. Установлено, что использование мелкой фракции сварочного флюса в количестве 30 – 40 % обеспечивает уменьшение степени загрязненности металла шва оксидными неметаллическими включениями. Металлографический анализ металла шва показал, что введение мелкой фракции не оказывает влияния на его структурные составляющие. Металл шва имеет феррито-перлитную структуру, феррит присутствует в виде неравноосных зерен, вытянутых в направлении отвода тепла. Определено, что оптимальное содержание фракции менее 0,45 мм в сварочном флюсе составляет 30 – 40 %. Для повышения технико-экономических показателей предложено смешивать мелкую фракцию с жидким стеклом. Использование керамического флюса, изготовленного из пыли силикомарганцевого шлака фракцией до 0,45 мм, связанного жидким стеклом, обеспечивает снижение уровня загрязненности металла сварного шва неметаллическими включениями. При этом увеличение его количества с 15 до 40 % не оказывает значительного влияния на уровень загрязненности металла сварного шва неметаллическими включениями и на его микроструктуру. Микроструктура металла сварного шва представлена перлитом и ферритом. Установлено, что оптимальным является применение мелкой фракции для изготовления керамического флюса с использованием жидкого стекла в количестве 15 – 20 %.

Ключевые слова: сварка, флюс, металл, шлак силикомарганца, фракция, химический состав, микроструктура, величина зерна, неметаллические включения.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-7-531-537

Созданию и исследованию новых сварочных флюсов уделяется большое внимание как в РФ, так и за рубежом [1 – 18]. В настоящей работе для изготовления сварочных флюсов предложено использовать шлаки производства силикомарганца [17, 20]; эта технология защищена патентами [21, 22].

Для изготовления флюса использовали шлак производства силикомарганца следующего химического состава: 6,91 – 9,62 % Al_2O_3 , 22,85 – 31,70 % CaO, 46,46 – 48,16 % SiO_2 , 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_2O , до 0,62 % K_2O , 0,15 – 0,17 % S, 0,01 P.

В процессе исследований было проведено две серии опытов. В первой серии исследовали возможность использования шлаков с различным соотношением фракций:

Образец	Соотношение фракций, мм
	Первая серия опытов
1	100 % фракции 0,45 – 2,5
2	95 % фракции 0,45 – 2,5 + 5 % фракции < 0,45
3	90 % фракции 0,45 – 2,5 + 10 % фракции < 0,45
4	85 % фракции 0,45 – 2,5 + 15 % фракции < 0,45
5	80 % фракции 0,45 – 2,5 + 20 % фракции < 0,45
6	70 % фракции 0,45 – 2,5 + 30 % фракции < 0,45
7	60 % фракции 0,45 – 2,5 + 40 % фракции < 0,45
	Вторая серия опытов
8	60 % шлак силикомарганца + 40 % жидкое стекло
9	70 % шлак силикомарганца + 30 % жидкое стекло
10	80 % шлак силикомарганца + 20 % жидкое стекло
11	85 % шлак силикомарганца + 15 % жидкое стекло

Сварку под флюсами проводили встык без скоса кромок с двух сторон на образцах размером 500×75 мм толщиной 16 мм из листовой стали марки 09Г2С. Наплавку осуществляли проволокой Св-08ГА с использованием сварочного трактора ASAW-1250 при режимах: $I_{\text{св}} = 700 \text{ А}$; $U_{\text{д}} = 30 \text{ В}$; $V_{\text{св}} = 35 \text{ м/ч}$.

Из сваренных пластин вырезали образцы и выполняли рентгеноспектральный анализ и металлографичес-

кие исследования металла сварных швов. Химический состав шлаковой корки и металла сварных швов приведен в табл. 1, 2 соответственно.

Металлографические исследования проводили на микрошлифах без травления с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 при увеличении в 100 крат. Результаты анализа на наличие неметаллических включений в зоне сварного шва, проведенного со-

Т а б л и ц а 1

Химический состав шлаковых корок

Table 1. Chemical composition of slag crusts

Образец	Содержание, %										
	MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	K ₂ O	F	S	P
Первая серия опытов											
1	7,90	46,04	23,38	6,77	10,08	2,07	0,37	0,65	0,73	0,13	0,01
2	7,87	45,58	31,82	6,62	6,77	1,35	0,26	отс.	0,32	0,11	0,01
3	7,83	44,54	23,84	6,43	9,64	3,59	0,37	0,65	0,69	0,12	0,008
4	8,09	45,91	31,15	6,60	6,79	1,39	0,27	отс.	0,29	0,11	0,01
5	7,93	45,67	23,84	6,54	9,87	2,86	0,37	0,65	0,72	0,12	0,008
6	8,16	45,74	29,39	6,22	6,93	1,99	0,26	отс.	0,36	0,12	0,01
7	8,23	45,52	29,12	6,29	6,65	1,88	0,28	отс.	0,26	0,12	0,01
Вторая серия опытов											
8	8,19	48,79	24,42	4,82	5,14	2,45	3,64	0,35	0,09	0,01	–
9	8,29	49,92	26,12	5,37	5,60	2,64	3,25	0,37	0,10	0,01	–
10	8,16	48,25	26,32	5,22	6,02	2,17	2,12	0,33	0,12	0,01	–
11	8,18	48,09	27,24	5,67	6,36	1,97	1,64	0,34	0,12	0,01	–

Т а б л и ц а 2

Химический состав металла сварных швов

Table 2. Chemical composition of welding seams metal

Образец	Содержание, %										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V	Nb	Al	S	P
Первая серия опытов											
1	0,09	0,71	0,51	0,03	0,10	0,11	0,001	0,014	0,023	0,018	0,012
2	0,08	0,54	1,33	0,04	0,05	0,08	0,003	0,014	0,015	0,008	0,008
3	0,09	0,61	1,49	0,04	0,11	0,11	0,01	0,013	0,018	0,016	0,010
4	0,07	0,45	1,24	0,02	0,05	0,07	0,002	0,014	0,014	0,006	0,007
5	0,08	0,66	1,42	0,03	0,10	0,11	0,002	0,015	0,023	0,018	0,012
6	0,08	0,61	1,42	0,02	0,06	0,08	0,003	0,014	0,029	0,010	0,011
7	0,08	0,59	1,39	0,02	0,02	0,05	0,004	0,018	0,091	0,014	0,009
Вторая серия опытов											
8	0,05	0,52	1,25	0,02	0,04	0,05	0,003	0,017	0,020	0,005	0,007
9	0,03	0,51	1,23	0,02	0,04	0,06	0,002	0,017	0,017	0,007	0,008
10	0,06	0,53	1,31	0,02	0,04	0,06	0,004	0,016	0,018	0,012	0,009
11	0,09	0,52	1,31	0,02	0,04	0,06	0,003	0,015	0,013	0,010	0,008

гласно ГОСТ 1778 – 70, представлены на рис. 1, *а – ж* и следующими данными:

Образец	Силикаты недеформирующиеся, балл	Точечные оксиды, балл
Первая серия опытов		
1	4б; 3б; 4а	1а
2	2б; 1б; 3а; 4а	1а; 2а
3	4б; 2б	1а; 2а
4	2б; 4б	1а; 2а
5	4б; 5б; 3б	1а; 2а
6	2б; 1б; 2а; 2,5а	1а; 2а
7	2б; 2а; 2,5а	1а; 2а
Вторая серия опытов		
8	2б; 1б; 2а; 2,5а	1а
9	2б; 1б; 2а; 2,5а	1а
10	2б; 1б; 2а; 2,5а	1а; 2а
11	2б; 2,5а	1а; 2а

П р и м е ч а н и е. Силикаты хрупкие присутствовали только в образце 1 (балл 3б)

Анализ показал, что увеличение количества мелкой фракции до 30 % не приводит к значительному изменению степени загрязненности металла сварного шва неметаллическими включениями, однако при введении от 30 до 40 % мелкой фракции наблюдается уменьшение уровня загрязненности металла сварного шва силикатами недеформирующимися.

Металлографические исследования структуры металла в зоне сварных швов проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений 100 – 1000 крат после травления поверхности образцов в 4 %-ном растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639 – 82. Микроструктура металла сварных швов при 500-кратном увеличении приведена на рис. 2.

В структуре металла сварного шва проб 1 – 7 феррит присутствует в виде неравноосных зерен, вытянутых в направлении отвода тепла. Заметен переход от равномерной феррито-перлитной структуры к структуре перлита и феррита видманштеттовой направленности. При этом в образцах не наблюдалось значительного изменения величины зерна по шкале зернистости ГОСТ 5639 – 82:

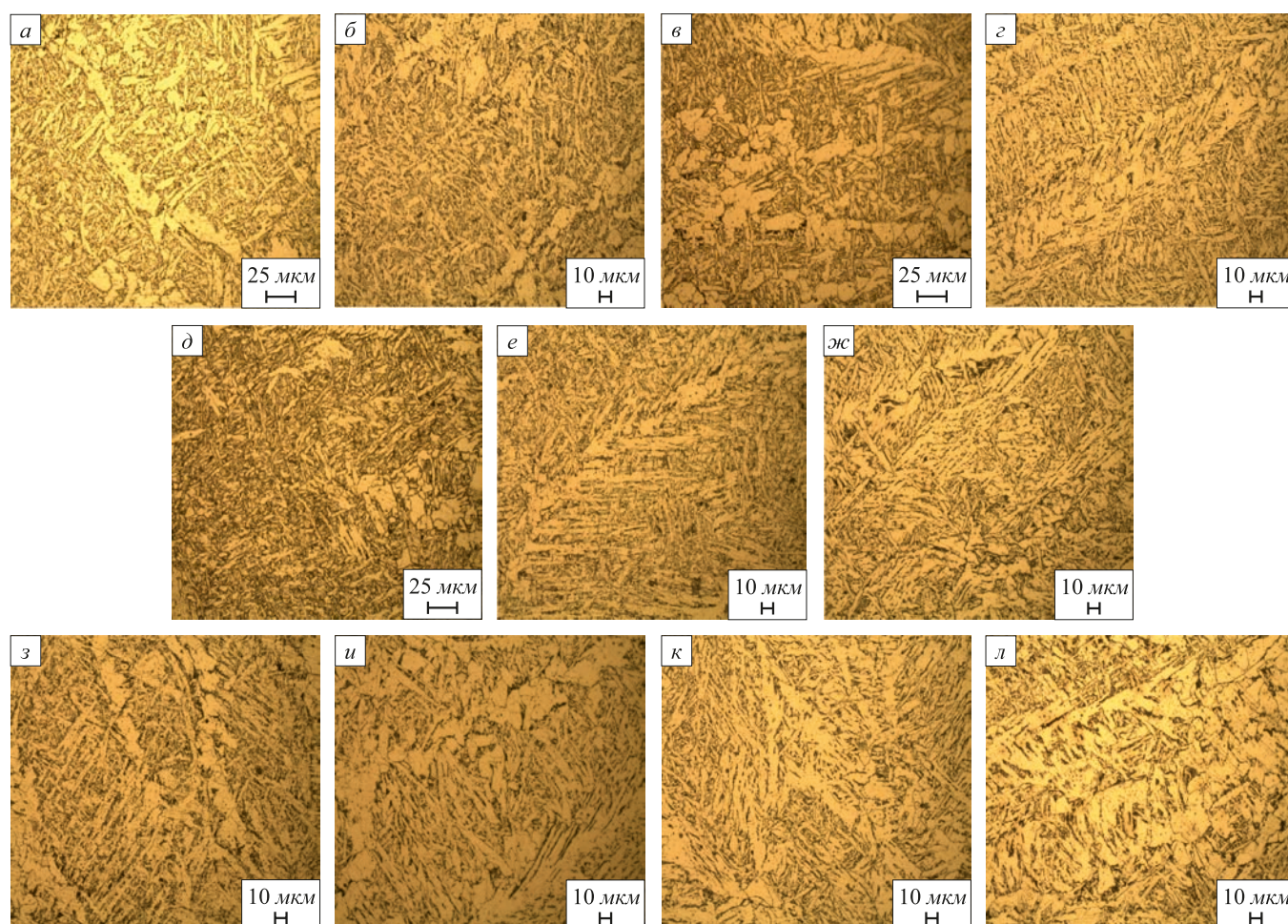


Рис. 1. Неметаллические включения в зоне сварных швов образцов 1 – 11 (*а – л* соответственно)

Fig.1. Non-metallic inclusions in weld zone of samples 1 – 11 (*а – л*, respectively)

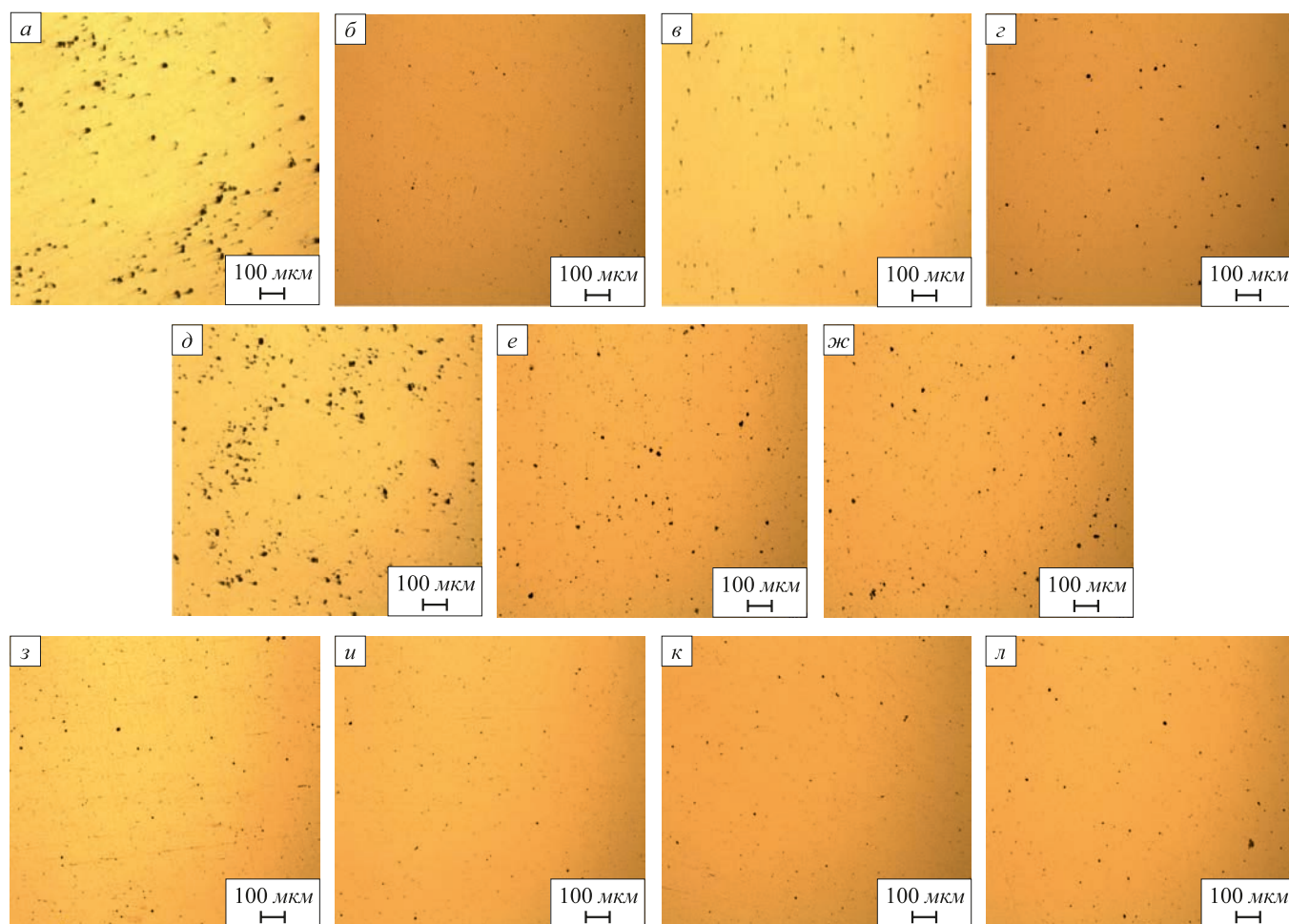


Рис. 2. Микроструктура металла сварных швов образцов 1 – 11 (а – л соответственно)

Fig. 2. Microstructure of weld seam metal of samples 1 – 11 (a – л, respectively)

Образец	Величина зерна
Первая серия опытов	
1	№4, №5
2	№5, №4
3	№4, №5, №6
4	№4
5	№5, №4
6	№4
7	№4
Вторая серия опытов	
8	№5, №4
9	№4, №5
10	№4
11	№4, №5

Во второй серии опытов изучалась возможность использования керамического флюса, изготовленного из пыли силикомарганцевого шлака фракцией до 0,45 мм, связанного жидким стеклом. Технология изготовления заключалась в смешении шлака силикомарганца с жид-

ким стеклом в различных соотношениях (см. вышеприведенные данные для образцов 8 – 11), сушке, дроблении, расसेве и получении фракции 0,45 – 2,5 мм.

Химический состав сварочных флюсов представлен в табл. 3, а шлаковых корок и металла сварных швов приведен в табл. 1, 2 (для образцов 8 – 11).

Результаты анализа на степень загрязненности неметаллическими включениями металла в зоне металла сварного шва, проведенного согласно ГОСТ 1778 – 70, представлены на рис. 1, з – л и в табл. 3 (образцы 8 – 11). Анализ показал, что введение жидкого стекла в мелкую фракцию поспособствовало снижению уровня загрязненности неметаллическими включениями металла сварного шва; однако же увеличение количества жидкого стекла в исследуемых пределах (до 40 %) не приводит к значительному изменению степени загрязненности окисными неметаллическими включениями.

Микроструктура сварного шва образцов 8 – 11 показана на рис. 2, з – л. Металл сварного шва характеризуется образованием перлита и феррита видманштеттовой направленности. При этом в структуре этих

Химический состав сварочных флюсов

Table 3. Chemical composition of welding fluxes

Образец	Содержание, %									
	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	FeO	MgO	MnO	F	Na ₂ O	S	P
8	5,29	25,84	51,75	0,55	5,02	7,39	0,36	4,66	0,12	0,01
9	5,48	26,68	51,73	0,57	5,16	7,59	0,39	4,19	0,13	0,01
10	5,88	25,53	52,53	0,56	5,07	7,75	0,31	4,07	0,13	0,01
11	6,55	26,81	51,14	0,56	5,78	8,10	0,35	2,62	0,14	0,01

образцов наблюдаются незначительные изменения величины зерна по шкале зернистости (см. вышеприведенные данные).

Выводы. Показана принципиальная возможность использования мелкой фракции шлака производства силикомарганца для изготовления сварочных флюсов. Металлографический анализ показал, что введение мелкой фракции в количестве 30 – 40 % приводит к снижению уровня загрязненности окисными неметаллическими включениями, не оказывая при этом влияния на структурные составляющие металла сварного шва. Оптимальным содержанием фракции до 0,45 мм в сварочном флюсе является 30 – 40 %. Введение жидкого стекла в мелкую фракцию сварочного флюса способствует снижению степени загрязненности металла сварного шва неметаллическими включениями, однако увеличение его количества с 15 до 40 % не приводит к значительному изменению уровня загрязненности неметаллическими включениями и микроструктуры металла сварного шва. Применение мелкой фракции для изготовления керамического флюса с использованием жидкого стекла в количестве 15 – 20 % является оптимальным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Puchol R.Q., Blanco J.R., Gonzalez L.P., Hernández G.C. & Gómez Pérez C.R. 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.
2. 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.
3. Crespo A.C., Puchol R.Q., González L.P., Gómez Pérez C.R., Castellanos G., Díaz Cedré E. & 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.
4. Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding // *Welding International*. 2011. Vol. 25. No. 11. P. 889 – 893.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Pavlov I.V., Oleinichenko K.A. Regulating generation of CO by varying the composition of ceramic fluxes // *Welding International*. 1995. Vol. 9. No. 4. P. 329 – 332.
10. Chigarev V.V., Kosenko A.A. Regulating the silicon reduction process in welding under ceramic fluxes with an active deoxidising agent // *Welding International*. 1994. Vol. 8. No. 10. P. 808 – 809.
11. Kurlanov S.A., Potapov N.N., Natapov O.B. Relationship of physical and welding technological properties of fluxes for welding low alloy steels // *Welding International*. 1993. Vol. 7. No. 1. P. 65 – 68.
12. Bublik O.V., Chamov S.V. Advantages and shortcomings of ceramic (agglomerated) fluxes in comparison with fused fluxes used for the same applications // *Welding International*. 2010. Vol. 24. No. 9. P. 730 – 733.
13. Gur'ev S.V., Pletnev Yu.M., Murav'ev I.I. Investigation of the properties of welded joints produced by welding in a gas mixture and under a flux // *Welding International*. 2012. Vol. 26. No. 8. P. 646 – 648.
14. Parshin S.G. Using ultrafine particles of activating fluxes for increasing the productivity of MIG/MAG welding of steels // *Welding International*. 2012. Vol. 26. No. 10. P. 800 – 804.
15. Cruz-Crespo A., Quintana-Puchol R., Perdomo González L., Gómez-Pérez C.R., García-Sánchez L.L., Ejiménez-Vielsa G., Cores-Sánchez A. Carbothermic reduction of pirolusite to obtain carbon-bearing ferromanganese and slag suited to the development of welding materials // *Welding International*. 2005. Vol. 19. No. 7. P. 544 – 551.
16. Barmin L.N. et al. Effect of the composition of flux and welding wire on the properties of deposited metal of 05N4MYu type // *Welding International*. 1989. Vol. 3. No. 2. P. 109 – 111.
17. Kazakov Yu.V., Koryagin K.B., Potekhin V.P. Effect of activating fluxes on penetration in welding steels thicker than 8 mm // *Welding International*. 1991. Vol. 5. No. 3. P. 202 – 205.
18. Potapov N.N., Feklistov S.I., Volobuev Yu.S., Potekhin V.P. A method of selecting fused fluxes in welding pearlitic–ferritic steels // *Welding International*. 2009. Vol. 23. No. 10. P. 800 – 803.
19. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Kozyreva O.E., Lipatova U.I., Filonov A.V. Production of Welding Fluxes Using Waste Slag Formed in Silicomanganese Smelting // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 125. P. 1 – 6.
20. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Lipatova U.I., Kozyreva O.E. On the use of slag from silicomanganese production for welding

- flux manufacturing // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 150. P. 1 – 9.
21. Пат. 2576717 РФ, МПК8 B23 K35/362 Флюс для сварки / Крюков Н.Е., Крюков Е.Н., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Козырева О.А.; ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» им. Н.Е. Крюкова. Заявл. 05.06.2014, опубл. 10.03.2016. Бюл. № 7.

22. Пат. 2579412 РФ. Флюс для механизированной сварки и наплавки сталей / Крюков Н.Е., Крюков Е.Н., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Козырева О.А.; ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» им. Н.Е. Крюкова. Заявл. 05.06.2014, опубл. 10.04.2016. Бюл. № 10.

Поступила 3 апреля 2017 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2017. Vol. 60. No. 7, pp. 531–537.

METALLOGRAPHIC INVESTIGATIONS OF QUALITY OF WELDING SEAM OBTAINED BY SILICOMANGANESE SLAG FLUX WELDING

R.E. Kryukov, N.A. Kozyrev, O.D. Prokhorenko,
L.P. Bashchenko, N.V. Kibko

Siberian State Industrial University, Russia, Novokuznetsk

Abstract. Results of the study of metallurgical wastes application as components of welding fluxes are given. Composition and production technology of a new welding flux using silicomanganese slag as a component have been developed. Results of this slag application in manufacture of welding fluxes are presented. In order to study quality of welded seams, metallographic analysis was carried out and the grain size and level of nonmetallic inclusions contamination were determined. Metallographic studies were made with the help of OLYMPUS GX-51 optical microscope in magnification range of 100 – 1000 times. Influence of fractional composition of fluxes on their welding technological properties was studied. Optimal fraction was selected, ensuring low level of contamination of metal of welding seam with non-metallic oxide inclusions, in particular non-deformable silicates and oxides. It has been established that application of welding flux fine fraction in an amount of 30 – 40 % ensures reduction in degree of welding seam metal contamination with non-metallic inclusions. The metallographic analysis of welding seam metal shows that introduction of fine fraction does not affect its structural components. Welding seam metal has a ferrite-pearlite structure; ferrite is presented in form of non-uniform grains elongated in the direction of heat extraction. It was determined that the optimum content of a fraction less than 0.45 mm in the flux is 30 – 40 %. To raise technical and economic indicators, it is suggested to mix fine fraction with liquid glass. Application of ceramic flux made of silicomanganese slag dust of 0.45 mm fraction, bonded by liquid glass, provides reduction in the welding seam metal level of contamination with nonmetallic inclusions. At the same time, increase in its volume from 15 to 40 % does not significantly affect the level of welding seam metal contamination with nonmetallic inclusions and its microstructure. Microstructure of welding seam metal is represented by perlite and ferrite. It was found that fine fraction introduction with use of liquid glass in an amount of 15 – 20 % is optimal in production of ceramic flux.

Keywords: welding, flux, metal, silicomanganese slag, fraction, chemical composition, microstructure, grain size, nonmetallic inclusions.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-7-531-537

REFERENCES

- Puchol R.Q., Blanco J.R., Gonzalez L.P., Hernández G.C., Gómez Pérez C.R. 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 $MnO - SiO_2 - CaO - Al_2O_3 - CaF_2$ system by fusion. *Welding International*. 2007, vol. 21, no. 7, pp. 502–511.
- Crespo A.C., Puchol R.Q., González L.P., Gómez Pérez C.R., Castellanos G., Díaz Cedré E., 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.
- Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding. *Welding International*. 2011, vol. 25, no. 11, pp. 889–893.
- 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 reconditioning 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.
- Pavlov I.V., Oleinichenko K.A. Regulating generation of CO by varying the composition of ceramic fluxes. *Welding International*. 1995, vol. 9, no. 4, pp. 329–332.
- Chigarev V.V., Kosenko A.A. Regulating the silicon-reduction process in welding under ceramic fluxes with an active deoxidising agent. *Welding International*. 1994, vol. 8, no. 10, pp. 808–809.
- Kurlanov S.A., Potapov N.N., Natapov O.B. Relationship of physical and welding technological properties of fluxes for welding low alloy steels. *Welding International*. 1993, vol. 7, no. 1, pp. 65–68.
- Bublik O.V., Chamov S.V. Advantages and shortcomings of ceramic (agglomerated) fluxes in comparison with fused fluxes used for the same applications. *Welding International*. 2010, vol. 24, no. 9, pp. 730–733.
- Gur'ev S.V., Pletnev Yu.M., Murav'ev I.I. Investigation of the properties of welded joints produced by welding in a gas mixture and under a flux. *Welding International*. 2012, vol. 26, no. 8, pp. 646–648.
- Parshin S.G. Using ultrafine particles of activating fluxes for increasing the productivity of MIG/MAG welding of steels. *Welding International*. 2012, vol. 26, no. 10, pp. 800–804.
- Cruz-Crespo A., Quintana-Puchol R., Perdomo González L., Gómez-Pérez C.R., García-Sánchez L.L., Ejiménez-Vielsa G., Cores-Sánchez A. Carbothermic reduction of pirolusite to obtain carbon-bearing ferromanganese and slag suited to the development of welding materials. *Welding International*. 2005, vol. 19, no. 7, pp. 544–551.
- Barmin L.N. et al. Effect of the composition of flux and welding wire on the properties of deposited metal of 05N4MYu type. *Welding International*. 1989, vol. 3, no. 2, pp. 109–111.

17. Kazakov Yu.V., Koryagin K.B., Potekhin V.P. Effect of activating fluxes on penetration in welding steels thicker than 8 mm. *Welding International*. 1991, vol. 5, no. 3, pp. 202–205.
18. Potapov N.N., Feklistov S.I., Volobuev Yu.S., Potekhin V.P. A method of selecting fused fluxes in welding pearlitic–ferritic steels. *Welding International*. 2009, vol. 23, no. 10, pp. 800–803.
19. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Kozyreva O.E., Lipatova U.I., Filonov A.V. Production of welding fluxes using waste slag formed in silicomanganese smelting. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016, vol. 125, pp. 1–6.
20. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Lipatova U.I., Kozyreva O.E. On the use of slag from silicomanganese production for welding flux manufacturing. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2016, vol. 150, pp. 1–9.
21. Kryukov N.E., Kryukov E.N., Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Kozyreva O.A. *Flyus dlya svarki* [Welding flux]. Patent no. 2576717 RF. *Byulleten' izobretenii*. 2016, no. 7. (In Russ.).
22. Kryukov N.E., Kryukov E.N., Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Kozyreva O.A. *Flyus dlya mekhanizirovannoi svarki i naplavki sta-*

lei [Flux for mechanical welding and facing of steels]. Patent no. 2579412 RF. *Byulleten' izobretenii*. 2016, no. 10. (In Russ.).

Information about the authors:

R.E. Kryukov, Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair “Materials, Foundry and Welding Production” (rek_nzrmk@mail.ru)

N.A. Kozyrev, Dr. Sci. (Eng.), Professor; Head of the Chair “Materials, Foundry and Welding Production”

(Kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru)

O.D. Prokhorenko, Cand. Sci. (Eng.), Leading Methodologist (alvipr@yandex.ru)

L.P. Bashchenko, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Executive Secretary of the journal “Izvestiya VUZov. Ferrous metallurgy”

(luda.baschenko@gmail.com)

N.V. Kibko, Cand. Sci. (Eng.), Senior Engineer

(krivicheva_nv@mail.ru)

Received 3 April, 2017