

УДК 621.791:624

ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ ДОБАВОК ВО ФЛЮСЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ ИЗ КОВШЕВОГО ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА

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

*Михно А.Р., магистрант кафедры материаловедения, литейного
и сварочного производства (mikno-mm131@mail.ru)*

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

*Калиногорский А.Н., к.т.н., и.о. заведующего кафедрой металлургии
черных металлов (mchmsis@mail.ru)*

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

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

Аннотация. Проведены исследования сварочного и наплавочного флюсов, содержащего ковшевой шлак электросталеплавильного производства рельсовой стали АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Сварку под флюсами проводили на образцах из листовой стали марки 09Г2С проволокой Св-08ГА с использованием сварочного трактора ASAW1250 при отработанных режимах. Определены химические составы сварочных флюсов, шлаковых корок, сварных образцов. Химический состав исследуемых сварных образцов определяли по ГОСТ 10543 – 98 рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомноэмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Проведены металлографические исследования с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51. С помощью анализатора LECO TC-600 исследовано содержание общего кислорода и поверхностного. Показана возможность использования техногенных отходов металлургического производства для изготовления сварочных флюсов. Для изготовления сварочного флюса использовали: ковшевой шлак электросталеплавильного производства рельсовой стали АО «ЕВРАЗ ЗСМК»; барийстронциевый модификатор БСК по ТУ 1717-001-75073896 – 2005 производства ООО «НПК Металлотехнопром»; шлак силикомарганца производства Западно-Сибирского электрометаллургического завода; пыль электрофильтров алюминиевого производства ОК «РУСАЛ» (углеродфторсодержащая добавка). Проведенные исследования показали пригодность использования ковшевого электросталеплавильного шлака для сварки и наплавки легированного металла. Введение различных флюс-добавок снижает концентрацию общего кислорода в металле сварных швов, что, в свою очередь, повышает ударную вязкость. С точки зрения концентрации кислорода в металле сварного шва и ударной вязкости наилучшим является использование в качестве флюс-добавок шлака силикомарганца и углеродфторсодержащей добавки.

Ключевые слова: сварка, наплавка, сварочные флюсы, техногенные отходы, ковшевой электросталеплавильный шлак, ударная вязкость, общий кислород.

DOI: 10.17073/0368-0797-2019-8-606-612

ВВЕДЕНИЕ

Загрязненность сварных швов и наплавленного металла неметаллическими включениями предопределена при прочих равных условиях вязкостью и окисленностью шлаковой системы. Причем механические свойства сварного шва предопределены наличием неметаллических включений как эндогенного, так и экзогенного типа [1, 2].

Для удешевления производства и изготовления сварочных и наплавочных материалов, а также снижения уровня загрязненности по неметаллическим включениям в последнее время используются более легкоплавкие шлаковые системы, в том числе с применением техногенных отходов металлургического производства [3 – 18].

Ранее в работах [19 – 21] были изучены различные составы сварочных флюсов с использованием ковшевого электросталеплавильного шлака: исследован химический состав образцов, проведены испытания на износостойкость, изучен количественный состав неметаллических включений.

Целью настоящей работы является проведение исследований зависимости механических свойств сварного шва от концентрации кислорода.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Химический состав исследуемых сварных образцов определяли по ГОСТ 10543 – 98 рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атом-

ноэмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Металлографические исследования проводили по ГОСТ 1778 – 70 на микрошлифах без травления с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 при увеличении 100. Фракционный газовый анализ проводили с помощью анализатора LECO TC-600. Исследование сварных образцов на ударную вязкость (KCV) при положительных и отрицательных температурах проводили с помощью маятникового копра по ГОСТ 9454 – 78.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВСЕСТОРОННЕЕ РАССМОТРЕНИЕ ВОПРОСА

В настоящей работе проведены дальнейшие исследования сварочного и наплавочного флюсов, содержащего ковшевой шлак электросталеплавильного производства рельсовой стали АО «ЕВРАЗ – Западно-Сибирский металлургический комбтнат» (АО «ЕВРАЗ ЗСМК»). По результатам ранее проведенных исследований [19 – 21] для изучения ударной вязкости и общего содержания кислорода в металле сварных швов были выбраны лучшие образцы сварочного флюса.

Для изготовления сварочного флюса использовали компоненты следующего химического состава:

– ковшевой шлак электросталеплавильного производства рельсовой стали АО «ЕВРАЗ ЗСМК», % (по массе): 1,31 FeO, 0,22 MnO, 36,19 CaO, 36,26 SiO₂, 6,17 Al₂O₃, 11,30 MgO, 0,28 Na₂O, 0 K₂O, 3,34 F, <0,12 C, 1,26 S, 0,02 P;

– барий-стронциевый модификатор БСК по ТУ 1717-001-75073896 – 2005 производства ООО «НПК Металлотехнопром», % (по массе): 13,0 – 19,0 BaO, 3,5 – 7,5 SrO, 17,5 – 25,5 CaO, 19,8 – 29,8 SiO₂, 0,7 – 1,1 MgO, 2,5 – 3,5 K₂O, 1,0 – 2,0 Na₂O, 1,5 – 6,5 Fe₂O₃, 0 – 0,4 MnO, 1,9 – 3,9 Al₂O₃, 0,7 – 1,1 TiO₂, 16,0 – 20,0 CO₂;

– шлак силикомарганца производства Западно-Сибирского электрометаллургического завода, % (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;

– пыль электрофильтров алюминиевого производства ОК «РУСАЛ» (углеродфторсодержащая добавка), % (по массе): 21,00 – 46,23 Al₂O₃, 18 – 27 F, 8 – 15 Na₂O, 0,4 – 6,0 K₂O, 0,7 – 2,3 CaO, 0,50 – 2,48 SiO₂, 2,10 – 3,27 Fe₂O₃, 12,5 – 30,2 C_{общ}, 0,07 – 0,90 MnO, 0,06 – 0,90 MgO, 0,09 – 0,19 S, 0,10 – 0,18 P.

Состав сварочных флюсов представлен в табл. 1.

Схема изготовления сварочного флюса и флюс-добавок описана в ранее проведенных работах [19 – 21]. 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. Процесс проводили проволокой Св-08ГА диам. 4 мм с использованием сварочного трактора ASAW1250. Режим сварки: сила тока (*I_{св}*) 680 А, напряжение (*U_д*) 28 В, скорость сварки (*V_{св}*) 28 м/ч.

После сварки образцов были определены химические составы сварочных флюсов (табл. 2), шлаковых корок (табл. 3), сварных образцов (табл. 4).

Из сваренных образцов были вырезаны образцы для исследования неметаллических включений, определения содержания кислорода в металле сварных швов

Т а б л и ц а 1

Состав сварочных флюсов

Table 1. Composition of welding fluxes

Образец	Содержание в сварочном флюсе, %			
	Ковшевой шлак	Шлак силико-марганца	Барий-стронциевый модификатор	Углеродфторсодержащая добавка
1	100	–	–	–
2	94	–	6	–
3	20	80	–	–
4	44	50	–	6
5	94	–	–	6

Т а б л и ц а 2

Химический состав исследуемых флюсов

Table 2. Chemical composition of the studied fluxes

Флюс	Массовая доля элементов, %													
	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	1,40	0,010	0,33	0,011	0,004	0,050	0,45	0,07
2	1,30	7,35	33,64	44,87	4,77	5,44	1,52	0,210	0,34	0,009	0,080	0,050	2,09	0,28
3	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
4	1,12	7,58	32,26	45,15	5,56	5,63	1,34	0,022	0,35	0,010	0,004	0,040	1,45	0,24
5	1,05	7,12	33,05	46,03	7,03	5,15	1,45	0,035	0,33	0,012	0,006	0,020	1,86	0,21

Таблица 3

Химический состав шлаковых корок

Table 3. Chemical composition of slag crusts

Флюс	Массовая доля элементов, %													
	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	0,01	0,21	0,011	0,012	0,04	0,37	0,07
2	4,44	6,53	33,61	39,46	4,47	6,89	4,32	0,22	0,555	0,023	0,007	0,007	2,37	0,30
3	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	0,12
4	1,86	6,87	33,25	42,56	5,74	5,26	2,13	0,046	0,28	0,014	0,006	0,024	2,55	0,18
5	1,74	6,56	33,51	41,78	6,38	5,44	1,86	0,074	0,41	0,018	0,007	0,014	2,68	0,15

Таблица 4

Химический состав сварных образцов

Table 4. Chemical composition of welded samples

Флюс	Массовая доля элементов, %									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V	Mo	S	P
1	0,10	0,43	1,16	0,05	0,11	0,14	0,007	0,021	0,019	0,012
2	0,10	0,18	0,50	0,05	0,14	0,15	0,006	0,017	0,046	0,013
3	0,04	0,41	1,22	0,04	0,09	0,13	0,001	0,010	0,031	0,010
4	0,08	0,42	1,22	0,03	0,07	0,14	0,001	0,010	0,031	0,009
5	0,12	0,18	0,72	0,02	0,10	0,17	0,002	0,013	0,027	0,008

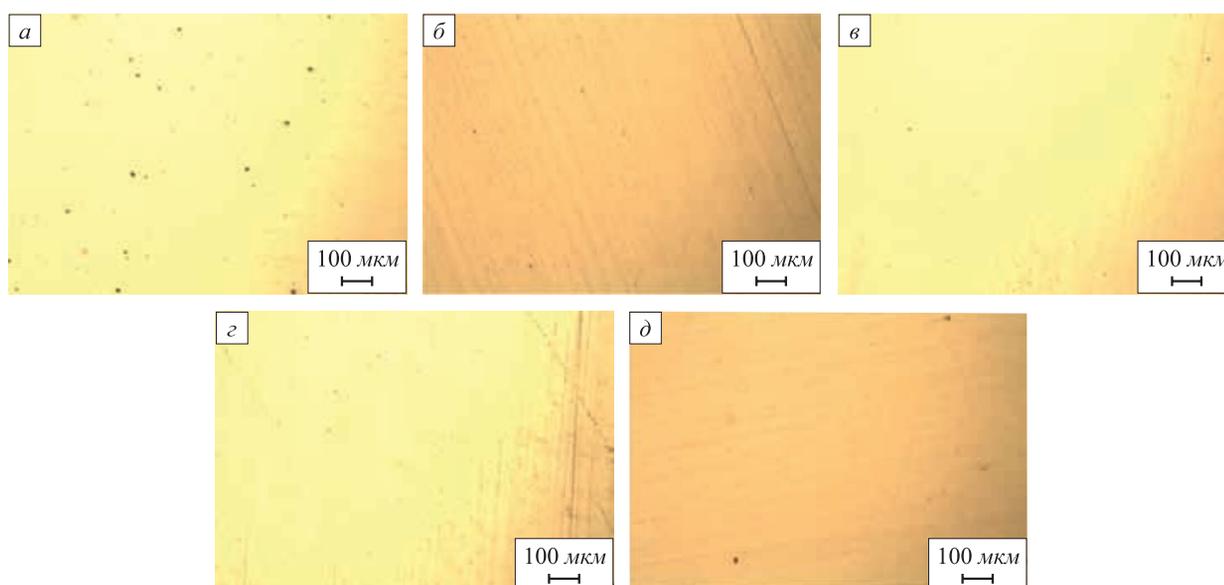


Рис. 1. Неметаллические включения в зоне сварных образцов 1 – 5 (а – д)

Fig. 1. Non-metallic inclusions in zone of welded samples 1 – 5 (a – d)

и определения ударной вязкости (KCV) при положительных и отрицательных температурах.

Металлографические исследования проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 на микрошлифах без травления при увеличении 100 (рис. 1).

Оценка неметаллических включений проведена согласно ГОСТ 1778 – 70, результаты приведены в табл. 5.

Исследования содержания общего кислорода и поверхностного проводили с помощью анализатора LECO TC-600 (табл. 6, рис. 2).

Т а б л и ц а 5

Неметаллические включения в металле сварных швов

Table 5. Non-metallic inclusions in the welds' metal

Флюс	Неметаллические включения, балл	
	силикаты недеформирующиеся	оксиды точечные
1	16, 26, 36	3а
2	16, 26	2а
3	16, 26	2а
4	16, редко 26	1а
5	16, 26	1а

При введении различных флюс-добавок в ковшевой электросталеплавильный шлак снижается концентрация кислорода в сварных швах.

Результаты исследования ударной вязкости (KCV) при положительных и отрицательных температурах представлены ниже и на рис. 3.

Образец	Ударная вязкость, Дж/см ²	
	KCV ^{+20 °C}	KCV ^{-20 °C}
0	49,0	16,3
1	65,7	27,3
2	65,7	27,0
3	65,7	29,3
4	74,3	27,7

При исследовании ударной вязкости сварных образцов было выявлено, что с использованием различных флюс-добавок возрастает ударная вязкость при положительных и отрицательных температурах.

Выводы

Проведенные исследования показали пригодность использования ковшевого электросталеплавильного шлака для сварки и наплавки легированного металла. При этом введение различных флюс-добавок снижает

Т а б л и ц а 6

Содержание кислорода и соединений в сварных швах

Table 6. Content of oxygen and compounds in welds

Образец	Содержание, %			
	Кислород общий и поверхностный	Силикаты	Алюминаты	Алюмосиликаты кальция, силикаты кальция, магниевые шпинели
1	0,10785	0,00122	0,12595	0,08074
2	0,04205	0,0042	0,01347	0,015135
3	0,0561	0,00294	0,003595	0,04803
4	0,0276	0,00205	0,009135	0,010175
5	0,042	0,00303	0,007175	0,029505

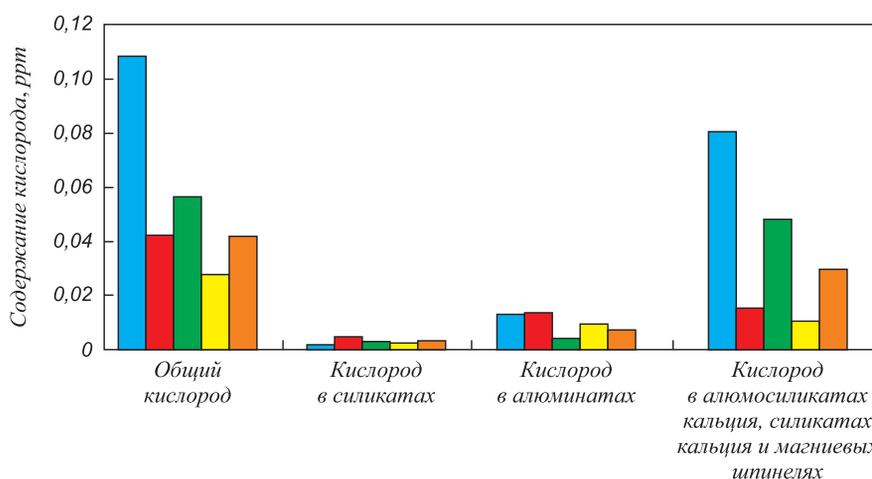


Рис. 2. Содержание кислорода в сварных швах:

■ – 1; ■ – 2; ■ – 3; ■ – 4; ■ – 5

Fig. 2. Oxygen content in welds:

■ – 1; ■ – 2; ■ – 3; ■ – 4; ■ – 5

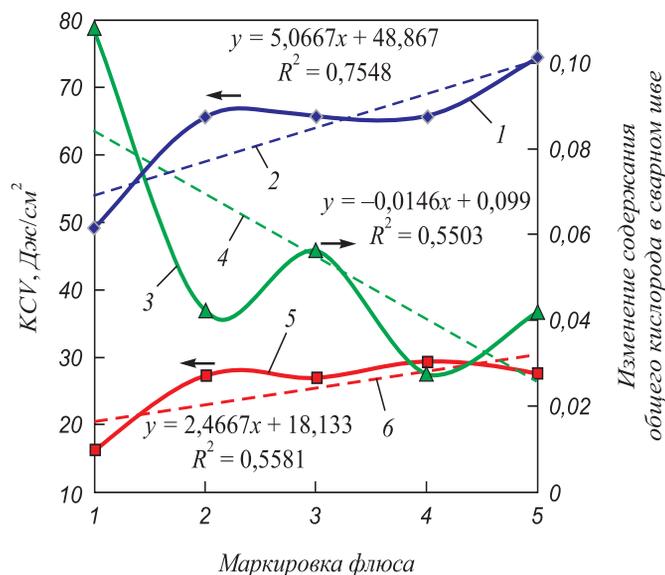


Рис. 3. Изменение ударной вязкости и содержания общего кислорода в металле сварного шва:

1 и 2 – изменение и линейное изменение ударной вязкости (KCV) при $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$; 3 и 4 – изменение и линейное изменение содержания общего кислорода; 5 и 6 – изменение и линейное изменение ударной вязкости (KCV) при $t = -20\text{ }^\circ\text{C}$

Fig. 3. Change in toughness and total oxygen content in a weld:
1 and 2 – change and linear change in impact strength (KCV) at $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$; 3 and 4 – change and linear change in the state of total oxygen; 5 and 6 – change and linear change in impact strength (KCV) at $t = -20\text{ }^\circ\text{C}$

концентрацию общего кислорода в сварных швах, что, в свою очередь, повышает ударную вязкость при положительных и отрицательных температурах. Определено, что наилучшими, с точки зрения концентрации кислорода в металле сварного шва и ударной вязкости является использование в качестве флюс-добавок шлака силикомарганца и углеродфторсодержащей добавки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуляев А.П. Металловедение. Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
2. Поволоцкий Д.Я., Рошин В.Е., Мальков Н.В. Электрометаллургия стали и ферросплавов: учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1995. – 592 с.
3. Титаренко В.И., Голякевич А.А., Орлов Л.Н., Мосыпан В.В., Бабенко М.А., Телюк Д.В., Тарасенко В.В. Восстановительная наплавка валков прокатных станов порошковой проволокой // Сварочное производство. 2013. № 7. С. 29 – 32.
4. Kondratiev I.A., Ryabtev I.A. Flux-cored wires for surfacing of steel rollers for hot rolling // The Paton Welding Journal. 2014. No. 6. P. 95 – 96.
5. Crespo A.C., Puchol R.Q., Gonzalez L.P. etc. Obtaining a submerged arc welding flux of the $\text{MnO-SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-CaF}_2$ system by fusion // Welding International. 2007. Vol. 21. No. 7. P. 502 – 511.
6. Наумов С.В., Канина А.Е., Игнатова А.М., Игнатов М.Н. О фракционном составе сварочных флюсов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 2. С. 126 – 169.

7. Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding // Welding International. 2011. Vol. 25. No. 11. P. 889 – 893.
8. Огарков Н.Н., Беляев А.И. Стойкость и качество прокатных валков. – Магнитогорск: изд. МГТУ, 2008. – 131 с.
9. Volobuev Yu.S., Surkov A.V., Volobuev O.S. etc. 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.
10. Рыбин В.В., Калинин В.Т., Брусницын Ю.Д. и др. Высококачественные компоненты сварочных материалов из минерального сырья Кольского полуострова и горнопромышленных отходов. – В кн.: Научные основы химии и технологии переработки комплексного сырья и синтеза на его основе функциональных материалов. Материалы научно-технической конференции. Т. 1. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2008. С. 22 – 23.
11. 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.
12. 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.
13. Шебаниц Э.Н., Омеляненко Н.И., Куракин Ю.Н., Матвиенко В.Н. Повышение трещиностойкости и сопротивления износу наплавленных рабочих валков горячей прокатки // Металлург. 2012. № 8. С. 72 – 75.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Potapov N.N., Feklistov S.I., Volobuev Yu.S., Potekhin V.P. A method of selecting fused fluxes in welding pearlitic-ferritic steel // Welding International. 2009. Vol. 23. No. 10. P. 800 – 803.
19. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Уманский А.А., Михно А.Р., Думова Л.В. Исследование и разработка сварочных флюсов с использованием ковшевого электросталеплавильного шлака и барий-стронциевого модификатора для наплавки прокатных валков // Изв. вуз. Черная металлургия. 2018. Т. 61. № 4. С. 274 – 279.
20. Козырев Н.А., Крюков Р.Е. Эффективное использование шлака силикомарганца при изготовлении сварочных флюсов. – В кн.: Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении: сборник трудов международной научно-практической конференции, 18-21 апреля 2017 г. – Кемерово: КузГТУ, 2017. С. 133 – 139.
21. Кислов А.И., Михно А.Р., Козырев Н.А. Исследование сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца и ковшевого электросталеплавильного шлака. – В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13-15 июня 2018 г. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. Вып. 22. Ч. 2: Естественные и технические науки. С. 208 – 210.

Поступила в редакцию 15 мая 2019 г.
После доработки 18 июня 2019 г.
Принята к публикации 20 июня 2019 г.

EFFECT OF ADDITIVES INTRODUCTION TO FLUXES MANUFACTURED FROM LADLE ELECTRIC STEEL SLAG

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

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Kemerovo Region, Russia

Abstract. Studies of welding and surfacing fluxes containing ladle slag of electric-steel production of rail steel of JSC “EVRAZ ZSMK” were carried out. Welding under the flux was performed on the samples of sheet steel 09G2S by Sv-08GA wire using the welding tractor ASAW1250 at exhaust modes. Chemical compositions of welding fluxes and slag crusts were determined. Also chemical composition of the studied welded samples was determined according to GOST 10543 – 98 by x-ray fluorescence method on XRF-1800 spectrometer and by atomic emission method on DFS-71 spectrometer. Metallographic studies were carried out with the use of an optical microscope OLYMPUS GX-51. The content of total oxygen and surface oxygen was studied using the LECO TC-600 analyzer. The possibility of using technogenic waste products of metallurgical production is shown for the production of welding fluxes. The following components were used for production of welding flux: ladle slag of electric steelmaking of rail steel from “EVRAZ ZSMK” JSC; BSK barium-strontium modifier produced under the terms of 1717-001-75073896 – 2005 by “NPK Metallotekhnoprom”; slag of silicomanganese production from “West Siberian steel plant”; electrostatic dust of aluminum production from “RUSAL” (carbon-fluor-containing supplement). The studies have shown the suitability of the use of ladle electric steel slag for welding and surfacing of alloyed metal. The introduction of various flux additives reduces the concentration of total oxygen in the weld metal, which in turn increases the toughness. From the point of oxygen concentration in weld metal and impact toughness, it is better to use silica-manganese slag and carbon-fluoride additive as flux additives.

Keywords: welding, surfacing, welding fluxes, industrial waste, ladle furnace slag, toughness, total oxygen.

DOI: 10.17073/0368-0797-2019-8-606-612

REFERENCES

- Gulyaev A.P. *Metallovedenie. Uchebnik dlya vuzov* [Metal science. Textbook for universities]. Moscow: Metallurgiya, 1986, 544 p. (In Russ.).
- Povolotskii D.Ya., Roshchin V.E., Mal'kov N.V. *Elektrometallurgiya stali i ferrosplavov: uchebnik dlya vuzov* [Electrometallurgy of steel and ferroalloys: Textbook for universities]. Moscow: Metallurgiya, 1995, 592 p. (In Russ.).
- Titarenko V.I., Golyakevich A.A., Orlov L.N., Mosypan V.V., Babenko M.A., Telyuk D.V., Tarasenko V.V. Restoration surfacing of rolling mills rolls with flux-cored wire. *Svarochnoe proizvodstvo*. 2013, no. 7, pp. 29–32. (In Russ.).
- Kondratiev I.A., Ryabtsev I.A. Flux-cored wires for surfacing of steel rollers for hot rolling. *The Paton Welding Journal*. 2014, no. 6, pp. 95–96.
- Crespo A.C., Puchol R.Q., Gonzalez L.P. etc. 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.
- Naumov S.V., Kanina A.E., Ignatova A.M., Ignatov M.N. On fractional composition of welding fluxes. *Nauchno-tehnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 2012, no. 2, pp. 126–169. (In Russ.).
- Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding. *Welding International*. 2011, vol. 25, no. 11, pp. 889–893.
- Ogarkov N.N., Belyaev A.I. *Stoikost' i kachestvo prokatnykh valkov* [Durability and quality of mill rolls]. Magnitogorsk: izd. MGТУ, 2008, 131 p. (In Russ.).
- Volobuev Yu.S., Surkov A.V., Volobuev O.S. etc. 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.
- Rybin V.V., Kalinnikov V.T., Brusnitsyn Yu.D. etc. High-quality components of welding materials from minerals of the Kolsky Peninsula and mining wastes. In: *Nauchnye osnovy khimii i tekhnologii pererabotki kompleksnogo syr'ya i sinteza na ego osnove funktsional'nykh materialov. Materialy nauchno-tehnicheskoi konferentsii. T. 1* [Scientific fundamentals of chemistry and processing technology of complex raw materials and synthesis of functional materials on its basis. Materials of the Sci. and Tech. Conf. Vol. 1]. Apatity: Izd-vo Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN, 2008, pp. 22–23. (In Russ.).
- 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.
- 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.
- Shebanits E.N., Omel'yanenko N.I., Kurakin Yu.N., Matvienko V.N., Leshchinskii L.K., Dubinskii B.E., Stepnov K.K. Improving the fracture toughness and wear resistance of hard-faced hot-rolling-mill rolls. *Metallurgist*. 2012, vol. 56, no. 7-8, pp. 613–617.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Potapov N.N., Feklistov S.I., Volobuev Yu.S., Potekhin V.P. A method of selecting fused fluxes in welding pearlitic-ferritic steel. *Welding International*. 2009, vol. 23, no. 10, pp. 800–803.
- Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Umanskii A.A., Mikhno A.R., Dumova L.V. Investigation and development of welding fluxes with the use of ladle electric-furnace slag and barium-strontium modifier for rolls surfacing. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2018, vol. 61, no. 4, pp. 274–279. (In Russ.).
- Kozyrev N.A., Kryukov R.E. Effective use of silicomanganese slag in welding fluxes production. In: *Innovatsii v toplivno-energeticheskoi komplekse i mashinostroenii: sbornik trudov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 18-21 aprelya 2017 g.* [Innovations in fuel and energy complex and engineering: Proceedings of Int. Sci.-Pract. Conf., April 18-21, 2017]. Kemerovo: KuzGTU, 2017, pp. 133–139. (In Russ.).
- Kislov A.I., Mikhno A.R., Kozyrev N.A. Investigation of welding fluxes on the basis of silicomanganese slag and ladle electric steel slag. In: *Nauka i molodezh': problemy, poiski, resheniya: trudy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii studentov, aspirantov i molo-*

dykh uchenykh, 13-15 iyunya 2018 g. Vyp. 22. Ch. 2: Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Science and youth: problems, searches, solutions: Papers of All-Russ. Sci. Conf. of Students, Graduate Students and Young Scientists, June 13-15, 2018. Vol. 22. Part 2: Natural and Technical Sciences]. Novokuznetsk: Izd. tsentr SibGIU, 2018, pp. 208–210. (In Russ.).

Information about the authors:

N.A. Kozyrev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair “Materials, Foundry and Welding Production”
(kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru)

A.R. Mikhno, MA Student of the Chair “Materials, Foundry and Welding Production” (mikno-mm131@mail.ru)

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

A.N. Kalinogorskii, Cand. Sci. (Eng.), Acting Head of the Chair of Ferrous Metallurgy (mchmsis@mail.ru)

L.P. Bashchenko, Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair “Thermal Power and Ecology” (luda.baschenko@gmail.com)

Received May 15, 2019

Revised June 18, 2019

Accepted June 20, 2019
